



# **DINAMIKA TINGKAH LAKU IKAN**

**Ady Jufri, Darmiyati Muksin,  
Mochamad Chasbi Lizarryadi, Mutmainnah,  
Aprelia Martina Tomaso, Irham,  
Fitri Indah Yani, Triayu Rahmadiyah**

**Editor  
Mohammad Faizal Ulkhaq  
Dian Novita Sari**

# DINAMIKA TINGKAH LAKU IKAN

## **Penulis**

Ady Jufri

Darmiyati Muksin

Mochamad Chasbi Lizarryadi

Mutmainnah

Aprelia Martina Tomaso

Irham

Fitri Indah Yani

Triayu Rahmadiyah

## **Editor**

Mohammad Faizal Ulkhaq

Dian Novita Sari



PENERBIT

**PT. KAMIYA JAYA AQUATIC**



# DINAMIKA TINGKAH LAKU IKAN

**Penulis :** Ady Jufri, Darmiyati Muksin, Mochamad Chasbi Lizarryadi,  
Mutmainnah, Aprelia Martina Tomaso, Irham, Fitri Indah  
Yani, Triayu Rahmadiyah

**Editor :** Mohammad Faizal Ulkhaq, Dian Novita Sari

**ISBN :** 978-634-7115-16-4

**Desain Sampul dan Tata Letak :** Dian Novita Sari

**Penerbit :**  
PT. Kamiya Jaya Aquatic

**Anggota IKAPI No. 001/MALUKUUTARA/2024**

**Redaksi :**  
RT 008 RW 003 Kelurahan Fitu, Kecamatan Ternate Selatan,  
Kota Ternate, Maluku Utara  
Telp. : 0812-2279-3284  
Email : kamiyajayaaquatic@gmail.com  
Website : <https://kjaquatic.com/>

**Distributor :**  
PT. Kamiya Jaya Aquatic

**Cetakan Pertama :** Januari 2025

**Hak Cipta dilindungi undang-undang**

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun dan dengan cara apapun, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya tanpa seizin tertulis dari penerbit.



## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu wa Ta'ala akhirnya buku yang berjudul "Dinamika Tingkah Laku Ikan" dapat kami selesaikan. Buku ini terdiri dari tujuh bab meliputi: Pendahuluan tentang Tingkah Laku Ikan, Anatomi dan Fisiologi Tingkah Laku Ikan, Pola Pergerakan dan Migrasi Ikan, Tingkah Laku Makan dan Strategi Predasi, Tingkah Laku Interaksi Antar Ikan, Adaptasi Perilaku terhadap Lingkungan, serta Perilaku Agresi dan Pertahanan Diri.

Kami berharap buku ini akan bermanfaat bagi para pembaca. Namun demikian, buku ini bukannya tanpa kekurangan. Oleh karena itu, kami menerima kritik dan saran demi perbaikan di cetakan berikutnya. Kami ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak berkontribusi dalam penyusunan buku ini.

Ternate, Januari 2025

Tim Penulis



# DAFTAR ISI

<b>PRAKATA</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>Bab 1. ANALISA TINGKAH LAKU IKAN</b>	
1.1 Pengertian dan Ruang Lingkup Studi Perilaku Ikan .....	1
1.2 Pentingnya Mempelajari Tingkah Laku Ikan dalam Ekologi dan Perikanan.....	3
1.3 Metode Studi dan Observasi Tingkah Laku Ikan .....	4
1.4 Istilah-Istilah dalam Tingkah Laku Ikan.....	6
1.5 Respon Ikan terhadap Alat Penangkapan Ikan .....	8
<b>Bab 2. ANATOMI DAN FISILOGI TINGKAH LAKU IKAN</b>	
2.1 Pendahuluan.....	12
2.2 Anatomi Ikan.....	14
2.3 Fisiologi Ikan.....	17
2.4 Tingkah Laku Ikan.....	20
<b>Bab 3. POLA PERGERAKAN DAN MIGRASI IKAN</b>	
3.1 Migrasi Ikan .....	24
3.2 Faktor yang Mempengaruhi Migrasi Ikan.....	28
3.3 Studi Kasus Pola Migrasi Ikan .....	30
3.4 Pentingnya Migrasi Ikan.....	36
<b>Bab 4. POLA PENCARIAN MAKAN DAN PREFERENSI MANGSA</b>	
4.1 Pendahuluan .....	38
4.2 Konsep Dasar dalam Ekologi Perilaku.....	39
<b>Bab 5. TINGKAH LAKU REPRODUKSI IKAN</b>	
5.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Tingkah Laku Reproduksi Ikan.....	50
5.2 Ritual dan Mekanisme Pemilihan Pasangan .....	57
5.3 Perilaku Kawin dan Startegi Reproduksi .....	59
5.4 Pola Perilaku Penjagaan Telur dan Anakan.....	63



<b>Bab 6. TINGKAH LAKU INTERAKSI ANTAR IKAN</b>	
6.1 Pendahuluan .....	70
6.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Perilaku Ikan.....	73
6.3 Jenis-Jenis Interaksi Antar Ikan.....	76
<b>Bab 7. ADAPTASI PERILAKU TERHADAP LINGKUNGAN</b>	
7.1 Respons terhadap Perubahan Suhu, Salinitas, dan Kondisi Lingkungan Lainnya .....	82
7.2 Dampak Polusi dan Aktivitas Manusia pada Perilaku Ikan.....	89
<b>Bab 8. PERILAKU AGRESIF DAN PERTAHANAN DIRI</b>	
8.1 Karakteristik Perilaku Agresif.....	94
8.2 Modulasi Endokrin pada Agresif Ikan.....	97
8.3 Komunikasi dan Agresivitas .....	98
8.4 Relevansi Agresivitas dalam Pemeliharaan Ikan.....	100
8.5 Komunikasi Secara Kimia.....	101
8.6 Tingkah Laku Pertahanan Diri pada Ikan .....	105
8.7 Dampak Kompensasi Pertumbuhan terhadap Tingkah Laku Ikan.....	106
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>112</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>135</b>



## DAFTAR GAMBAR

1.1	Operasi penangkapan ikan pada <i>Purse Seine</i> .....	10
1.2	Tampilan bawah kapal <i>Purse Seine</i> .....	10
3.1	Pola migrasi ikan antara perairan tawar dan perairan laut dalam tiga jenis migrasi diadromus.....	25
3.2	Digram pengaruh migrasi ikan.....	29
3.3	Siklus hidup ikan salmon .....	31
3.4	Pola migrasi pada Bulan Januari - Juni di WPP 713 .....	32
3.5	Pola migrasi pada bulan Juli - Desember di WPP 713 .....	33
3.6	Sebaran Ikan Sidat berdasarkan stadia hidup.....	35
4.1	Representasi skematis dari jaring makanan laut Arktik Kanada, dengan transisi dari pesisir ke ekosistem samudra (kiri ke kanan) .	38
4.2	Sistem pencernaan ikan .....	42
5.1	Mekanisme proses reproduksi ikan. <i>Gonadotropin-Releasing Hormone (GnRH); Follicle-stimulating hormone (FSH); Luteinizing hormone (LH); Prolactin (PRL); Growth hormone (GH); Kisspeptin (Kiss2); Gonadotropin inhibitory hormone (GnIH); Growth factors (IGF); Thyroid-stimulating hormone (TSH); Triiodothyronine (T3); Tetraiodothyronine (T4)</i> .....	51
5.2	Proses vitelogenin ikan betina diatur oleh hormon .....	54
5.3	Perkembangan metode pembuahan ikan pari dan kaitannya dengan bias dalam perawatan induk.....	65
5.4	Mengeram telur oleh induk betina <i>Astatotilapia burtoni</i> seluruh otak diambil dari betina 2 hari dimulai proses mengeram (B02), 14 hari setelah mengeram (B14), 2 hari setelah pelepasan benih (R02) dan 14 hari pasca pelepasan benih (R14).....	84
8.1	Skema representasi organisasi hierarkis sistem neuroendokrin pada ikan.....	98
8.2	Urutan pertemuan antara interaksi predator dan mangsa.....	101
8.3	Organ penciuman dari belut Eropa ( <i>Anguilla anguilla</i> L.). MR: <i>median raphe</i> ; RL: <i>Lamela radial</i> .....	104
8.4	Gambaran skematis mengenai dampak langsung dan tidak langsung dari pertumbuhan kompensasi terhadap perilaku ikan; di mana hiperfagia mencerminkan lonjakan dalam tingkat	



asupan makanan yang berkaitan dengan pertumbuhan kompensasi .....	107
8.5 Sejumlah ikan trout coklat sedang bertelur; Ikan betina menggunakan ekornya untuk membuat lubang di kerikil dengan cara mengibas-ibaskan .....	111
7.7 Konsumsi protein hewani penduduk Indonesia .....	93
8.1 Produk sampingan utama dari hasil perikanan. Nilai-nilai ini merupakan rata-rata dari berbagai spesies ikan (berdasarkan persentase berat tubuh) dan berdasarkan dasar kering.....	97
8.2 Produksi biodiesel dari berbagai sumber limbah organik .....	101
8.3 Reaksi transesterifikasi pembentukan biodiesel.....	102
8.4 Proses, jenis katalis, dan parameter produksi biodiesel berbasis transesterifikasi dari residu ikan .....	104
8.5 Mekanisme dan faktor-faktor yang mempengaruhi produksi biogas dari limbah ikan.....	107



# Bab 1

## ANALISA TINGKAH LAKU IKAN

### 1.1. Pengertian dan Ruang Lingkup Studi Perilaku Ikan

Dalam beberapa dekade terakhir, kita telah menyaksikan berbagai kemajuan teknologi yang berkaitan dengan perikanan berkelanjutan. Inovasi dalam teknologi penangkapan ikan, misalnya dalam alat tangkap, kapal, sistem propulsi, dan peralatan di atas kapal untuk menangani dan mengawetkan hasil panen, telah meningkatkan efisiensi penangkapan ikan global, serta daya tangkap dan kualitas ikan. Desain alat penangkapan dan teknologi penangkapan ikan sangat berkaitan dengan studi tingkah laku ikan dan terbukti meningkatkan efisiensi dan efektifitas dalam operasi penangkapan ikan (FAO, 2024).

Tingkah laku ikan atau *fish behaviour* adalah studi mengenai berbagai aktivitas dan respons ikan terhadap rangsangan internal maupun eksternal. Bidang ilmu yang mempelajari tentang tingkah laku ikan yaitu atau etologi ikan. Etologi adalah cabang ilmu zoologi yang mempelajari perilaku, mekanisme, dan faktor-faktor penyebab tingkah laku hewan termasuk ikan. Hal ini mencakup pola makan, reproduksi, pergerakan, interaksi sosial, serta respons terhadap perubahan lingkungan. Memahami tingkah laku ikan sangat penting dalam pengelolaan perikanan, konservasi, dan pengembangan teknologi penangkapan ikan yang berkelanjutan (Sulaiman *et al.*, 2006).

Perilaku ikan dipengaruhi oleh rangsangan internal dan eksternal. Rangsangan internal berasal dari dalam tubuh ikan, seperti kematangan gonad, pertumbuhan, dan hormon reproduksi. Sementara itu, rangsangan eksternal berasal dari lingkungan sekitar, termasuk curah hujan, suhu, sinar matahari, keberadaan tumbuhan, ikan jantan, oksigen, dan salinitas (Suhendra & Utami, 2017). Untuk mendeteksi rangsangan tersebut, ikan memanfaatkan organ sensorik seperti mata, telinga, gurat



sisi, lubang hidung, dan organ pengecap. Organ sensorik yang merespons rangsangan dari dalam tubuh disebut intero reseptor, sedangkan organ yang bereaksi terhadap perubahan di lingkungan luar dikenal sebagai eksteroreseptor.

Adapun ruang lingkup studi tingkah laku ikan meliputi:

1. **Perilaku makan (*feeding behavior*):** Mempelajari bagaimana ikan mencari, memilih, dan menangkap makanan, termasuk preferensi makanan dan strategi berburu.
2. **Perilaku reproduksi (*reproductive behavior*):** Menganalisis pola pemijahan, pemilihan pasangan, dan perilaku parental dalam merawat keturunan.
3. **Perilaku sosial (*social behavior*):** Meneliti interaksi antar individu dalam kelompok, seperti pembentukan hierarki, *schooling* (berkumpul dalam gerombolan), dan *territoriality* (pembagian wilayah).
4. **Perilaku migrasi (*migration behavior*):** Mengamati pola perpindahan ikan antara habitat yang berbeda, misalnya antara area makan dan area pemijahan.
5. **Respons terhadap lingkungan (*environmental response*):** Mempelajari bagaimana ikan bereaksi terhadap perubahan lingkungan, seperti fluktuasi suhu, kualitas air, dan keberadaan predator atau sumber cahaya (Sulaiman *et al.*, 2006).
6. **Respon terhadap alat tangkap ikan (*fishing gear response*):** Respon ikan terhadap alat penangkapan sangat dipengaruhi oleh perilaku alami mereka, yang sering dimanfaatkan dalam desain dan pengoperasian alat tangkap seperti respon terhadap struktur fisik alat tangkap, respon terhadap suara dan getaran serta respon terhadap umpan/aroma. Pemahaman mendalam tentang respon ikan terhadap berbagai rangsangan ini sangat penting dalam desain dan pengoperasian alat penangkapan yang efektif dan ramah lingkungan. Dengan memanfaatkan perilaku alami ikan, alat tangkap dapat dirancang untuk meningkatkan efisiensi penangkapan sekaligus meminimalkan dampak negatif terhadap ekosistem perairan (Sulaiman *et al.*, 2006).



Studi tingkah laku ikan memberikan informasi dasar yang penting untuk berbagai penelitian di bidang perikanan, termasuk pengembangan metode penangkapan yang ramah lingkungan dan pengelolaan sumber daya ikan secara berkelanjutan.

## 1.2 Pentingnya Mempelajari Tingkah Laku Ikan dalam Ekologi dan Perikanan

Tingkah laku ikan memiliki hubungan yang erat dengan ekologi dan perikanan karena memengaruhi dinamika populasi ikan, interaksi ekosistem, dan efisiensi penangkapan ikan. Dalam ekologi, tingkah laku ikan mencakup pola aktivitas, migrasi, reproduksi, dan interaksi dengan spesies lain. Hal ini penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem akuatik. Dalam bidang perikanan, pemahaman tentang tingkah laku ikan sangat penting untuk mengelola dan meningkatkan efisiensi perikanan, sekaligus mencegah eksploitasi berlebihan.

Dampak pada keberlanjutan ekosistem dan perikanan berkaitan dengan tingkah laku ikan meliputi *overfishing*, perubahan iklim dan restorasi ekosistem. *Overfishing* yaitu eksploitasi ikan tanpa mempertimbangkan tingkah lakunya yang dapat menyebabkan penurunan stok ikan secara drastis, mengganggu ekosistem. Perubahan iklim mengakibatkan gangguan tingkah laku ikan akibat perubahan suhu atau asidifikasi laut dan mempengaruhi migrasi dan pemijahan, yang pada akhirnya mempengaruhi sektor perikanan secara umum. Adapun restorasi ekosistem yaitu pemahaman tentang tingkah laku ikan dapat membantu program restorasi, seperti memperbaiki jalur migrasi untuk ikan anadromous seperti salmon.

Mempelajari tingkah laku ikan memiliki peran penting dalam ekologi dan perikanan, dengan manfaat sebagai berikut :

1. **Pengembangan teknik penangkapan yang efektif:** pemahaman mengenai tingkah laku renang ikan, seperti kecepatan dan daya tahan, membantu dalam merancang alat tangkap yang sesuai dan meningkatkan efisiensi penangkapan.
2. **Penentuan waktu dan lokasi penangkapan:** mengetahui pola makan dan waktu pemijahan ikan memungkinkan nelayan menentukan waktu dan lokasi penangkapan yang optimal, sehingga hasil tangkapan dapat ditingkatkan.



3. **Pengelolaan sumber daya perikanan yang berkelanjutan:** Informasi tentang perilaku reproduksi dan migrasi ikan penting untuk menetapkan kebijakan pengelolaan yang menjaga kelestarian populasi ikan dan mencegah *overfishing* (Simbolon, 2011).
4. **Pengembangan teknologi penangkapan yang ramah lingkungan:** Studi tentang respons ikan terhadap rangsangan eksternal, seperti cahaya, dapat digunakan untuk merancang metode penangkapan yang lebih selektif dan mengurangi tangkapan sampingan.
5. **Peningkatan efisiensi budidaya ikan:** Pemahaman tentang tingkah laku ikan dalam berbagai kondisi lingkungan membantu dalam merancang sistem budidaya yang optimal, termasuk pengaturan kepadatan dan kualitas air yang sesuai.

Dengan demikian, mempelajari tingkah laku ikan memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk pengelolaan ekosistem perairan dan praktik perikanan yang berkelanjutan. Selain itu, dengan melakukan studi tingkah laku ikan, maka akan melahirkan inovasi dan modifikasi alat penangkapan ikan yang sesuai dengan tingkah laku ikan. Inovasi alat tangkap ikan dari seluruh dunia dibagikan setiap tahun oleh para ilmuwan dari Kelompok Kerja Teknologi Penangkapan Ikan dan Perilaku Ikan, yang didukung oleh *The International Council for the Exploration of the Sea* (ICES) (ICES FAO, 2023).

### 1.3 Metode Studi dan Observasi Tingkah Laku Ikan

Dalam mempelajari tingkah laku ikan memerlukan berbagai metode observasi dan teknik pengumpulan data yang disesuaikan dengan tujuan penelitian. Metode dan teknik yang digunakan akan mempermudah dalam menganalisis dan memahami tingkah laku ikan. Beberapa metode yang umum digunakan untuk mengobservasi perilaku ikan antara lain:

1. **Observasi langsung (*direct observation*):** Peneliti mengamati perilaku ikan secara langsung di habitat alami atau dalam kondisi laboratorium. Metode ini memungkinkan pencatatan perilaku secara *real-time*, seperti interaksi sosial, pola makan, dan respons terhadap rangsangan.
2. **Penggunaan kamera bawah air (*underwater cameras*):** Kamera ditempatkan di lingkungan perairan untuk merekam aktivitas



ikan tanpa mengganggu perilaku alami mereka. Teknik ini efektif untuk studi jangka panjang dan di lokasi yang sulit dijangkau oleh peneliti (Pratiwi *et al.*, 2023).

3. **Pendekatan akustik (*acoustic methods*):** Metode ini memanfaatkan gelombang suara untuk mendeteksi dan memantau pergerakan serta distribusi ikan. Teknik ini berguna dalam mengamati perilaku ikan di area yang luas atau di perairan dengan visibilitas rendah (Suhendra & Utami, 2017).
4. **Eksperimen laboratorium (*laboratory experiments*):** Ikan ditempatkan dalam kondisi terkontrol untuk mengamati respons terhadap variabel tertentu, seperti perubahan suhu, cahaya, atau keberadaan predator. Metode ini membantu dalam memahami mekanisme perilaku spesifik.
5. **Penggunaan sensor dan telemetri (*sensors and telemetry*):** Alat seperti sensor gerak atau perangkat telemetri dipasang pada ikan untuk memantau pergerakan, kedalaman, dan parameter lingkungan secara kontinu. Teknologi ini memberikan data rinci tentang pola migrasi dan penggunaan habitat.
6. **Analisis histologi dan fisiologi (*histological and physiological analysis*):** Studi struktur jaringan dan fungsi fisiologis ikan dapat memberikan wawasan tentang perilaku tertentu, misalnya, analisis retina untuk memahami respons terhadap cahaya. Dengan kata lain histologi yaitu usaha untuk mengamati, mempelajari, dan meneliti jaringan tertentu dari suatu organisme, salah satu langkah yang dapat dilakukan adalah melalui persiapan spesimen histologi (Citra *et al.*, 2015).

Untuk analisis histologi dan fisiologi dikenal juga dengan mikroteknik tingkah laku ikan. Mikroteknik adalah ilmu atau seni mempersiapkan organ, jaringan, atau bagian jaringan untuk diamati dan ditelaah di bawah mikroskop. Dalam konteks tingkah laku ikan, mikroteknik digunakan untuk mempelajari struktur anatomi dan histologi organ-organ yang berperan dalam perilaku ikan, seperti otak, sistem saraf, dan organ sensorik. Dengan memahami struktur mikroskopis organ-organ ini, peneliti dapat mengaitkannya dengan fungsi dan respons perilaku ikan terhadap rangsangan lingkungan.



Pemilihan metode yang tepat bergantung pada pertanyaan penelitian, spesies ikan yang dipelajari, dan lingkungan studi. Kombinasi beberapa metode sering digunakan untuk mendapatkan pemahaman yang komprehensif tentang tingkah laku ikan (Haruna, 2010).

Selain itu, observasi tingkah laku ikan dapat dilakukan dengan alat bantu cahaya. Ikan memiliki sensitivitas terhadap cahaya yang bervariasi tergantung pada spesies, habitat, dan kondisi lingkungannya. Secara umum, respons ikan terhadap cahaya dipengaruhi oleh faktor spektrum cahaya. Beberapa ikan lebih tertarik pada cahaya biru atau hijau, karena panjang gelombang ini menembus air lebih dalam dibanding cahaya merah. Selain itu, ikan pelagis kecil, seperti ikan teri, sering tertarik pada cahaya terang. Namun, intensitas yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penghindaran beberapa spesies. Respons ikan terhadap cahaya biasanya lebih signifikan pada malam hari ketika tingkat pencahayaan alami rendah (Berlianmasthan *et al.*, 2019).

#### **1.4 Istilah-Istilah dalam Tingkah Laku Ikan**

Dalam studi tingkah laku ikan, terdapat berbagai istilah teknis yang sering digunakan untuk mendeskripsikan berbagai aspek perilaku, mekanisme, dan interaksi. Berikut adalah beberapa istilah utama beserta penjelasannya:

- 1. *Schooling***

Perilaku ikan yang berenang bersama dalam kelompok yang terkoordinasi untuk perlindungan, efisiensi energi, atau mencari makanan.

- 2. *Shoaling***

Berkumpulnya ikan dalam kelompok tanpa koordinasi pola pergerakan, biasanya untuk meningkatkan peluang bertahan hidup.

- 3. *Territoriality***

Perilaku ikan dalam mempertahankan wilayah tertentu dari individu lain, terutama untuk melindungi sumber daya seperti makanan atau tempat berkembang biak.

- 4. *Migration***

Pergerakan ikan secara periodik dari satu tempat ke tempat lain,



seperti migrasi antara air tawar dan air laut, yang terdiri dari anadromi dan katadromi.

5. *Anadromous*

Perilaku migrasi ikan dari laut ke air tawar untuk berkembang biak, misalnya: salmon.

6. *Catadromous*

Perilaku migrasi ikan dari air tawar ke laut untuk berkembang biak, contohnya: belut.

7. *Feeding behavior*

Perilaku terkait pola makan ikan, meliputi cara ikan mencari, memilih, dan menangkap makanan.

8. *Reproductive behavior*

Pola perilaku yang terkait dengan aktivitas pemijahan, pemilihan pasangan, dan pengasuhan keturunan.

9. *Parental care*

Perilaku ikan dalam merawat telur atau larva, seperti menjaga sarang, membersihkan telur, atau melindungi keturunan dari predator.

10. *Predation*

Perilaku ikan sebagai pemangsa untuk menangkap dan mengonsumsi mangsa.

11. *Escape behavior*

Respon ikan untuk menghindari predator, seperti meloncat keluar dari air atau bersembunyi di substrat.

12. *Agonistic behavior*

Interaksi yang melibatkan persaingan atau agresi, misalnya dalam memperebutkan pasangan atau wilayah.

13. *Ethogram*

Daftar atau katalog sistematis dari berbagai perilaku yang diamati pada spesies tertentu.

14. *Habituation*

Penurunan respons ikan terhadap stimulus yang berulang dan tidak membahayakan.

15. *Imprinting*

Proses di mana ikan mengingat atau mengenali aspek tertentu dari lingkungannya, seperti lokasi pemijahan.



**16. *Phototaxis***

Respon pergerakan ikan terhadap cahaya, baik mendekati (positif) maupun menjauhi (negatif) sumber cahaya.

**17. *Chemotaxis***

Respon pergerakan ikan terhadap stimulus kimia, seperti feromon atau aroma makanan.

**18. *Nocturnal behavior***

Perilaku aktif ikan yang terjadi pada malam hari.

**19. *Diurnal behavior***

Perilaku aktif ikan yang terjadi pada siang hari.

**20. *Circadian rhythm***

Pola aktivitas ikan yang mengikuti siklus 24 jam, termasuk aktivitas makan dan reproduksi.

**21. *Histology***

Cabang ilmu biologi yang mempelajari struktur mikroskopis jaringan pada organisme. Kata "histologi" berasal dari bahasa Yunani histos (jaringan) dan logos (ilmu). Tujuan utama histologi adalah untuk memahami susunan, fungsi, dan interaksi antarjaringan dalam tubuh

**22. *Fisiology***

Cabang ilmu biologi yang mempelajari fungsi dan mekanisme kerja organ dan sistem tubuh organisme hidup. Kata "fisiologi" berasal dari bahasa Yunani physis (alam) dan logos (ilmu). Ilmu ini berfokus pada proses kehidupan, mulai dari tingkat molekuler hingga interaksi antarorganisme dengan lingkungannya.

Istilah-istilah tersebut digunakan dalam berbagai penelitian, seperti studi migrasi, manajemen perikanan, konservasi, dan budidaya ikan. Penguasaan istilah ini sangat penting untuk memahami literatur ilmiah dan berkomunikasi dengan pakar dalam bidang ekologi dan perikanan.

**1.5 Respon Ikan terhadap Alat Penangkapan Ikan**

Tingkah laku ikan terhadap alat tangkap adalah upaya ikan untuk menghindari atau meloloskan diri dari alat tangkap. Tingkah laku ikan terhadap alat tangkap dapat dipelajari untuk mengetahui bagaimana ikan



merespon alat tangkap. Hal ini penting untuk mengetahui apakah ikan mudah tertangkap atau tidak. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkah laku ikan terhadap alat tangkap, antara lain: Faktor lingkungan, seperti arus, suhu, kecerahan, gelombang, dan topografi dasar perairan, dan faktor ikan, seperti jenis dan ukuran ikan. Beberapa hal yang dapat diamati dari tingkah laku ikan terhadap alat tangkap, antara lain: Apakah ikan melarikan diri atau tidak, Kapan ikan melarikan diri, Ke arah mana ikan melarikan diri, Seberapa cepat ikan melarikan diri, Seberapa jauh ikan melarikan diri.

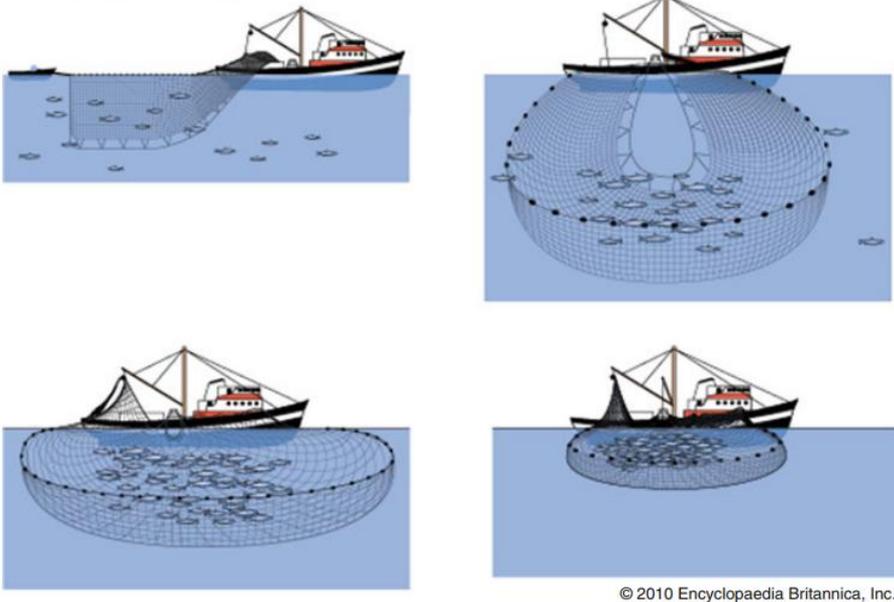
Respon ikan terhadap alat penangkapan sangat dipengaruhi oleh sifat biologis dan perilaku alami ikan. Pemahaman mengenai respon ini penting untuk meningkatkan efisiensi alat tangkap sekaligus mengurangi dampak negatif pada ekosistem. Pada beberapa jenis alat penangkapan ikan, terdapat momen atau waktu dimana ikan bisa meloloskan diri sehingga bisa keluar dari jaring. Pada **Gambar 1.1** dalam pengoperasian *purse seine*, sebelum tali jaring menyatu merupakan momen dimana ikan bisa meloloskan diri. Mempelajari tingkah laku ikan dapat mengurangi risiko ikan bisa meloloskan diri dari jaring/pancing sehingga proses penangkapan ikan berjalan dengan maksimal.

Ikan dapat lolos dari penangkapan menggunakan *purse seine* karena beberapa faktor yang berkaitan dengan perilaku ikan, desain alat tangkap, dan kondisi operasional. **Gambar 1.2** terlihat gerombolan ikan yang meloloskan diri dari jaring. Untuk mencegah ikan lolos selama penangkapan menggunakan *purse seine*, beberapa strategi dapat diterapkan, yang mencakup perbaikan desain alat tangkap, optimalisasi operasional, dan pemahaman perilaku ikan.

Hal lain yang bisa dilakukan yaitu dengan menggabungkan perbaikan desain alat tangkap, optimalisasi operasional, dan pemanfaatan teknologi modern dapat secara signifikan mengurangi kemungkinan ikan lolos dari *purse seine*. Pendekatan ini juga membantu meningkatkan efisiensi penangkapan dan mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem.



**Setting and hauling a purse seine**



**Gambar 1.1** Operasi penangkapan ikan pada *Purse Seine*  
(Sumber: Marçalo *et al.*, 2018)



**Gambar 1.2** Tampilan Bawah Kapal *Purse Seine*  
(Sumber: Marçalo *et al.*, 2018)

Terkait dengan respon ikan terhadap alat tangkap, berikut adalah beberapa respon ikan terhadap alat tangkap (Sudirman *et al.*, 2013):

**1. Respon terhadap Cahaya**  
**Fototaksis Positif:**

Banyak spesies ikan tertarik pada cahaya (fototaksis positif), yang dimanfaatkan dalam alat tangkap seperti bagan perahu. Cahaya digunakan untuk mengumpulkan ikan di sekitar alat sebelum dilakukan penangkapan.

**Panjang Gelombang Tertentu:**

Ikan menunjukkan preferensi terhadap panjang gelombang cahaya tertentu. Misalnya, cahaya LED hijau sering digunakan karena lebih menarik bagi banyak spesies ikan.

**2. Respon terhadap Struktur Fisik**

**Perilaku Terjebak di Jaring:**

Ikan sering kali tidak menyadari keberadaan jaring hingga mereka tersangkut, terutama di malam hari atau di perairan dengan visibilitas rendah.

**Perangkap Lingkaran:**

Alat seperti *purse seine* memanfaatkan perilaku ikan yang cenderung bergerak ke area terbuka saat merasa terancam.

**3. Respon terhadap Suara dan Getaran**

**Sensitivitas Akustik:**

Ikan mampu mendeteksi suara dan getaran di lingkungan sekitarnya. Beberapa alat tangkap menggunakan suara untuk menggiring ikan ke perangkap.

**4. Respon terhadap Umpan dan Aroma**

**Daya Tarik Umpan:**

Ikan tertarik pada makanan yang menyerupai sumber alami mereka. Umpan digunakan pada alat seperti bubu dan pancing untuk menarik perhatian ikan.

**5. Respon terhadap Stimulus Lingkungan**

**Penghindaran Alat Tangkap:**

Dalam beberapa kasus, ikan menunjukkan perilaku menghindar terhadap alat tangkap yang terlalu mencolok atau sering digunakan di area tersebut.

Pemahaman mendalam tentang bagaimana ikan merespon alat tangkap ini membantu dalam merancang teknik penangkapan yang lebih efisien dan selektif. Hal ini juga berkontribusi pada pengelolaan perikanan yang berkelanjutan.



# Bab 2

## ANATOMI DAN FISILOGI TINGKAH LAKU IKAN

### 2.1 Pendahuluan

Ikan adalah kelompok hewan yang hidup di lingkungan air dan dikenal sebagai vertebrata berdarah dingin dengan ciri utama berupa adanya sirip, insang, dan tubuh yang ditutupi sisik pada sebagian besar jenisnya. Ikan merupakan bagian dari kelas Pisces dan terbagi dalam ribuan spesies yang menghuni berbagai ekosistem air tawar, air payau, dan air laut di seluruh dunia. Keanekaragaman ikan sangat luar biasa, mencakup spesies dengan berbagai ukuran, bentuk, dan adaptasi unik terhadap habitat. Misalnya, ikan paus terbesar seperti hiu paus (*Rhincodon typus*) dapat mencapai panjang lebih dari 12 meter, sedangkan ikan terkecil seperti *Paedocypris progenetica* hanya berukuran beberapa milimeter. Keanekaragaman ini mencerminkan adaptasi ikan terhadap lingkungan hidupnya yang berbeda-beda, mulai dari sungai pegunungan yang dingin hingga lautan tropis yang hangat.

Dalam ekosistem, ikan memainkan peran penting sebagai komponen utama rantai makanan. Sebagai predator, ikan membantu mengendalikan populasi organisme lain seperti plankton, krustasea, dan ikan kecil, sehingga menjaga keseimbangan ekosistem. Selain itu, ikan juga menjadi mangsa bagi banyak spesies lain, termasuk burung, mamalia laut, dan manusia, sehingga menjadi penghubung vital dalam jaringan makanan. Beberapa ikan, seperti spesies herbivora, membantu menjaga kesehatan terumbu karang dengan memakan alga yang dapat mendominasi ekosistem jika tidak terkendali. Sementara itu, ikan pemakan bangkai berperan dalam daur ulang bahan organik, memastikan bahwa nutrisi kembali ke lingkungan. Di ekosistem sungai,



ikan migrasi seperti salmon bahkan membantu menyuplai nutrisi dari laut ke ekosistem daratan melalui proses pemijahannya.

Memahami anatomi dan fisiologi ikan merupakan hal yang sangat penting untuk mengenali perilaku dan interaksi dengan lingkungan. Anatomi ikan meliputi struktur tubuh seperti insang yang berfungsi untuk pernapasan, sirip untuk berenang, serta sisik yang melindungi tubuh dari ancaman eksternal. Insang merupakan salah satu adaptasi luar biasa yang memungkinkan ikan mengekstrak oksigen dari air, yang jauh lebih rendah kandungannya dibandingkan udara. Mekanisme pernapasan ini juga berkaitan erat dengan kemampuan ikan untuk bertahan di berbagai lingkungan, termasuk perairan dengan kadar oksigen rendah (Helfman *et al.*, 2009).

Selain insang, anatomi bagian dalam seperti sistem saraf dan organ sensorik juga memainkan peran penting dalam perilaku ikan. Misalnya, garis lateral, struktur sensorik unik pada ikan, memungkinkan mendeteksi getaran dan perubahan tekanan di sekitarnya. Fungsi ini sangat penting bagi ikan untuk menghindari predator, mencari mangsa, dan berkoordinasi dalam kawanan. Sistem saraf ikan juga terhubung dengan mata yang memiliki kemampuan adaptasi khusus terhadap kondisi pencahayaan di bawah air, seperti pada ikan laut dalam yang dapat melihat di kegelapan. Dari segi fisiologi, metabolisme ikan sangat dipengaruhi oleh suhu lingkungan, mengingat adalah hewan berdarah dingin. Kondisi ini membuat ikan bergantung pada suhu air untuk mengatur aktivitasnya, termasuk reproduksi, migrasi, dan pola makan. Misalnya, banyak ikan tropis yang sangat aktif karena suhu perairan hangat mendukung metabolisme yang lebih tinggi, sedangkan ikan di perairan dingin memiliki laju metabolisme yang lebih lambat. Pemahaman tentang fisiologi ini penting dalam mengelola perikanan, akuakultur, dan konservasi, terutama dalam menghadapi perubahan iklim yang dapat memengaruhi suhu dan kualitas air.

Perilaku ikan juga sangat bergantung pada kebutuhan fisiologis. Proses reproduksi, misalnya, melibatkan perilaku kompleks seperti migrasi dan pemilihan pasangan. Beberapa spesies ikan, seperti ikan badut, menunjukkan perilaku yang sangat terorganisir dalam menjaga telurnya, yang mencerminkan keterkaitan antara fisiologi reproduksi dan strategi bertahan hidup. Selain itu, fisiologi juga memengaruhi



kemampuan ikan untuk beradaptasi terhadap tantangan lingkungan, seperti polusi atau perubahan habitat. Sebagai contoh, ikan yang hidup di lingkungan dengan kadar oksigen rendah sering mengembangkan adaptasi khusus, seperti peningkatan efisiensi insang atau kemampuan untuk bernapas udara langsung di permukaan. Dalam konteks konservasi, memahami anatomi dan fisiologi ikan membantu para ilmuwan dan praktisi merancang strategi yang efektif untuk melindungi populasi ikan dari ancaman seperti overfishing, polusi, dan degradasi habitat. Misalnya, dengan mengetahui siklus hidup dan kebutuhan reproduksi ikan, kita dapat menentukan area pemijahan yang harus dilindungi. Pemahaman ini juga penting dalam akuakultur, di mana peternak ikan dapat menciptakan kondisi optimal bagi pertumbuhan dan kesehatan ikan peliharaan (Jobling, 1995).

## **2.2 Anatomi Ikan**

Ikan adalah organisme akuatik yang memiliki anatomi unik yang dirancang untuk mendukung kehidupan di air. Tubuh ikan dibentuk sedemikian rupa agar dapat bergerak dengan efisien melalui medium air yang lebih padat dibandingkan udara. Struktur tubuh ikan terdiri dari tiga bagian utama, yaitu kepala, badan, dan ekor. Kepala ikan meliputi bagian-bagian penting seperti mulut, mata, insang, dan lubang hidung. Mulut ikan, yang terletak di ujung kepala atau di bagian bawah tergantung pada spesiesnya, berfungsi untuk menangkap makanan. Insang, yang terletak di kedua sisi kepala, memungkinkan ikan untuk bernapas dengan menyerap oksigen dari air. Mata ikan yang tidak memiliki kelopak mata tetap basah karena lingkungannya yang berair, sedangkan lubang hidung berperan dalam mendeteksi bau untuk membantu menemukan makanan atau mendeteksi bahaya. Badan ikan adalah bagian terbesar dari tubuh yang mendukung fungsi vital dan pergerakan. Bagian ini dilapisi oleh sisik yang tersusun rapi dan berfungsi sebagai pelindung dari gesekan air, serangan predator, atau infeksi. Di bawah lapisan sisik, terdapat kulit yang mengandung kelenjar lendir untuk membantu mengurangi gesekan saat ikan berenang. Selain itu, badan ikan dilengkapi dengan sirip punggung, sirip dada, sirip perut, dan sirip dubur yang berfungsi menjaga keseimbangan, mengarahkan gerakan, dan mempercepat pergerakan saat berenang. Otot-otot pada



badan ikan bekerja secara aktif untuk menggerakkan sirip dan ekor, memungkinkan ikan melakukan berbagai manuver, seperti menyelam, meloncat, atau menghindari predator.

Bagian ekor ikan berperan sebagai penggerak utama dalam berenang. Ekor ikan terdiri dari sirip ekor yang memiliki bentuk dan ukuran yang bervariasi tergantung pada spesiesnya. Ekor ini bekerja dengan cara mengayun dari sisi ke sisi, menciptakan dorongan yang memungkinkan ikan bergerak maju. Spesies ikan yang bergerak cepat, seperti tuna dan hiu, memiliki sirip ekor berbentuk bulan sabit yang dirancang untuk kecepatan tinggi. Di sisi lain, ikan yang hidup di dasar laut cenderung memiliki ekor yang lebih kecil karena pergerakan mereka lebih lambat. Sirip ekor juga membantu ikan menjaga arah dan stabilitas saat berenang. Sistem pernapasan ikan adalah salah satu aspek anatomi yang sangat penting. Ikan bernapas melalui insang yang berfungsi untuk menyaring oksigen dari air. Insang terdiri dari filamen insang yang tipis dan memiliki banyak pembuluh darah untuk memaksimalkan penyerapan oksigen. Saat air masuk melalui mulut, ikan memompa air ke insang, di mana oksigen diserap dan karbon dioksida dilepaskan. Proses ini memungkinkan ikan bertahan hidup bahkan di lingkungan air yang kadar oksigennya rendah. Beberapa ikan, seperti ikan lele, memiliki adaptasi tambahan berupa kemampuan bernapas melalui kulit atau organ khusus yang memungkinkan mereka bertahan di air berlumpur atau saat kondisi oksigen menurun drastis.

Sistem pencernaan ikan dirancang untuk mencerna berbagai jenis makanan, dari plankton hingga hewan yang lebih besar, tergantung pada spesiesnya. Mulut ikan berfungsi menangkap makanan, kemudian makanan tersebut masuk ke kerongkongan yang mengarah ke lambung. Di lambung, makanan dicerna dengan bantuan enzim dan asam lambung. Setelah itu, makanan yang telah dicerna sebagian masuk ke usus untuk penyerapan nutrisi. Ikan karnivora umumnya memiliki saluran pencernaan yang lebih pendek karena makanan mereka lebih mudah dicerna, sedangkan ikan herbivora memiliki saluran pencernaan yang lebih panjang untuk memproses material tanaman yang berserat. Sementara itu, insang pada ikan memungkinkan pertukaran gas berlangsung di dalam air. Fungsi pernapasan ini sangat penting untuk menjaga fungsi metabolisme sel-sel tubuh (Campbell & Reece, 2005).



Sistem peredaran darah ikan juga memainkan peran penting dalam mendistribusikan oksigen dan nutrisi ke seluruh tubuh. Jantung ikan terdiri dari dua ruang, yaitu atrium dan ventrikel, yang bekerja memompa darah ke insang untuk mengambil oksigen. Darah yang mengandung oksigen kemudian didistribusikan ke seluruh tubuh melalui pembuluh darah. Sistem peredaran darah ikan bersifat tertutup, artinya darah mengalir melalui pembuluh darah tanpa bercampur dengan cairan tubuh lainnya. Hal ini memastikan efisiensi dalam pengangkutan oksigen, yang sangat penting bagi ikan yang bergerak aktif. Selain itu, ikan memiliki sistem ekskresi yang dirancang untuk menjaga keseimbangan cairan tubuh. Ginjal ikan berperan penting dalam menyaring limbah nitrogen dari darah dan mengeluarkannya dalam bentuk urine. Ikan air tawar cenderung mengeluarkan banyak urine karena mereka menyerap air dari lingkungannya melalui osmosis, sedangkan ikan air laut memiliki mekanisme untuk mengeluarkan kelebihan garam dari tubuh mereka. Sistem ekskresi ini membantu ikan beradaptasi dengan lingkungan tempat mereka hidup.

Sistem saraf ikan terdiri dari otak, sumsum tulang belakang, dan saraf-saraf yang bercabang ke seluruh tubuh. Otak ikan berukuran relatif kecil dibandingkan tubuhnya, tetapi cukup untuk mengatur berbagai fungsi vital dan perilaku. Bagian otak yang disebut lobus olfaktorius bertanggung jawab atas penciuman, sedangkan lobus optik mengatur penglihatan. Selain itu, ikan memiliki garis lateral, yaitu organ sensorik khusus yang memungkinkan mereka mendeteksi getaran dan pergerakan di air. Garis lateral ini sangat berguna untuk menghindari predator, menemukan mangsa, dan berenang dalam kelompok. Sistem reproduksi ikan bervariasi tergantung pada spesiesnya. Sebagian besar ikan berkembang biak dengan bertelur, tetapi ada juga yang melahirkan. Ikan betina menghasilkan telur yang dibuahi oleh sperma ikan jantan di luar tubuh, meskipun beberapa spesies, seperti hiu, melakukan pembuahan internal. Telur-telur ikan biasanya dilindungi oleh cangkang gelatin atau disembunyikan di tempat yang aman untuk melindunginya dari predator. Pada beberapa spesies, induk ikan menjaga telur mereka sampai menetas, sementara yang lain membiarkan telur berkembang tanpa pengawasan. Ikan juga memiliki adaptasi tambahan yang membantu mereka bertahan di lingkungan tertentu. Contohnya, ikan



yang hidup di perairan gelap atau dalam memiliki organ khusus yang disebut fotofor untuk menghasilkan cahaya. Cahaya ini digunakan untuk menarik mangsa atau berkomunikasi dengan sesama spesies. Beberapa ikan juga memiliki kemampuan mengubah warna tubuh mereka untuk berkamuflase atau menandakan bahaya. Adaptasi ini membuat ikan sangat tangguh dalam menghadapi tantangan lingkungan (Nelson, 2006).

### **2.3 Fisiologi Ikan**

Ikan merupakan makhluk hidup yang memiliki adaptasi fisiologis unik untuk bertahan hidup di lingkungan akuatik. Fisiologi ikan mencakup berbagai sistem tubuh yang dirancang untuk mendukung proses kehidupan seperti pernafasan, sirkulasi darah, pencernaan, reproduksi, osmoregulasi, serta respons terhadap lingkungan. Pemahaman tentang fisiologi ikan sangat penting karena mempengaruhi cara ikan berinteraksi dengan lingkungannya, baik di air tawar maupun air asin. Salah satu aspek fisiologi ikan yang paling menonjol adalah sistem pernafasannya. Ikan bernafas menggunakan insang, struktur yang dirancang untuk menangkap oksigen dari air. Insang ikan terdiri dari filamen insang yang memiliki lamela-lamela tipis, tempat pertukaran gas berlangsung. Proses ini melibatkan difusi oksigen dari air ke dalam darah ikan, sementara karbon dioksida dikeluarkan. Efisiensi pernafasan ikan didukung oleh aliran air yang terus-menerus melalui insang, yang diatur oleh gerakan mulut dan operkulum. Sistem ini dikenal sebagai mekanisme aliran lawan (*counter-current flow*), di mana aliran darah dan air bergerak dalam arah berlawanan untuk memaksimalkan penyerapan oksigen.

Fisiologi sistem sirkulasi ikan juga memiliki peran penting dalam mendistribusikan oksigen ke seluruh tubuh. Ikan memiliki sistem sirkulasi tertutup dengan jantung yang terdiri dari dua ruang utama: atrium dan ventrikel. Jantung ikan memompa darah yang kaya karbon dioksida ke insang untuk ditukar dengan oksigen. Darah yang sudah teroksigenasi kemudian dialirkan ke seluruh tubuh untuk mendukung fungsi organ dan jaringan. Sistem sirkulasi ini sangat efisien untuk kehidupan di lingkungan air yang seringkali memiliki kadar oksigen lebih rendah dibandingkan udara. Selain pernapasan dan sirkulasi, sistem pencernaan ikan dirancang untuk mencerna makanan dan



menyerap nutrisi yang diperlukan. Struktur dan fungsi sistem pencernaan ikan bervariasi tergantung pada jenis makanannya. Ikan karnivora memiliki saluran pencernaan yang relatif pendek karena daging lebih mudah dicerna, sementara ikan herbivora memiliki saluran pencernaan yang lebih panjang untuk mengolah bahan tumbuhan yang lebih sulit dipecah. Proses pencernaan dimulai dari mulut, di mana makanan ditangkap dan dipecah secara mekanis. Setelah itu, makanan melewati esofagus menuju lambung untuk dicerna secara kimiawi dengan bantuan enzim. Nutrisi dari makanan kemudian diserap di usus sebelum sisa makanan dibuang melalui anus (Moyle & Cech, 2004).

Fisiologi ikan juga mencakup mekanisme osmoregulasi, yaitu proses yang memungkinkan ikan mengatur keseimbangan air dan ion di dalam tubuhnya. Ikan yang hidup di air tawar dan laut menghadapi tantangan osmoregulasi yang berbeda. Ikan air tawar, misalnya, harus mengatasi kecenderungan air untuk masuk ke tubuh secara osmosis. Untuk mencegah kelebihan air, mengeluarkan urin dalam jumlah besar yang encer, sambil menyerap ion dari air melalui insang dan ginjal. Sebaliknya, ikan air laut menghadapi risiko kehilangan air karena osmosis. Untuk mengatasi hal ini, minum air laut secara aktif dan mengeluarkan kelebihan garam melalui insang dan urin yang sangat pekat. Proses osmoregulasi ini dikendalikan oleh hormon yang bekerja untuk menjaga keseimbangan internal tubuh ikan.

Sistem reproduksi ikan juga merupakan bagian penting dari fisiologi. Ikan memiliki berbagai strategi reproduksi, mulai dari fertilisasi eksternal hingga fertilisasi internal. Pada ikan dengan fertilisasi eksternal, betina akan melepaskan telur ke air, dan jantan akan membuahi telur tersebut di luar tubuh betina. Strategi ini umum ditemukan pada ikan-ikan yang hidup di perairan terbuka seperti ikan mas dan ikan nila. Sementara itu, pada ikan dengan fertilisasi internal, seperti hiu dan beberapa jenis pari, pembuahan terjadi di dalam tubuh betina, dan beberapa spesies bahkan melahirkan anak secara hidup (vivipar). Reproduksi ikan sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, cahaya, dan ketersediaan makanan.

Adaptasi fisiologi ikan terhadap lingkungan juga terlihat dari sistem saraf dan indera yang dimiliki. Sistem saraf ikan, yang terdiri dari otak, sumsum tulang belakang, dan saraf perifer, memungkinkan ikan



untuk merespons rangsangan dari lingkungan. Indera ikan, seperti mata, telinga, dan sistem garis lateral, dirancang untuk mendeteksi perubahan di lingkungannya. Mata ikan memiliki kemampuan untuk melihat dalam air, meskipun tingkat penglihatannya bervariasi tergantung pada kedalaman dan jenis habitatnya. Sementara itu, telinga ikan tidak hanya berfungsi untuk mendengar tetapi juga membantu menjaga keseimbangan tubuh. Sistem garis lateral, yang terdiri dari serangkaian reseptor sensorik di sepanjang tubuh ikan, memungkinkan mendeteksi getaran dan perubahan tekanan di air. Fitur ini sangat berguna untuk berburu mangsa dan menghindari predator (Helfman *et al.*, 2009)

Selain itu, adaptasi fisiologis ikan terhadap suhu lingkungan juga patut diperhatikan. Sebagian besar ikan adalah hewan ektotermik, yang berarti suhu tubuh bergantung pada suhu lingkungan. Namun, beberapa spesies ikan memiliki kemampuan untuk mempertahankan suhu tubuh yang lebih tinggi dari air sekitarnya, seperti ikan tuna dan hiu putih besar. Kemampuan ini disebut endotermia parsial dan memungkinkan bergerak cepat di lingkungan dingin. Adaptasi ini terjadi karena adanya sistem sirkulasi khusus yang dikenal sebagai *rete mirabile*, yang mempertahankan panas di otot-otot tubuh utama. Respons ikan terhadap perubahan lingkungan juga melibatkan sistem hormonal. Hormon memainkan peran penting dalam mengatur berbagai proses fisiologis, termasuk pertumbuhan, metabolisme, dan reproduksi. Misalnya, hormon tiroksin mempengaruhi metabolisme ikan dan membantu beradaptasi terhadap perubahan suhu. Hormon lain, seperti kortisol, terlibat dalam respons stres dan membantu ikan menghadapi tantangan lingkungan seperti perubahan kadar oksigen atau salinitas. Pada ikan migrasi seperti salmon, hormon juga berperan dalam mengkoordinasikan transisi dari air tawar ke air laut selama perjalanannya.

Fisiologi ikan tidak hanya penting untuk kelangsungan hidup di alam tetapi juga memiliki implikasi dalam budidaya ikan dan konservasi. Dalam akuakultur, memahami kebutuhan fisiologis ikan, seperti kebutuhan oksigen, pH air, dan keseimbangan nutrisi, sangat penting untuk memastikan pertumbuhan yang optimal dan kesehatan ikan. Misalnya, pemberian pakan yang seimbang dengan kandungan protein, lemak, dan karbohidrat yang tepat dapat meningkatkan efisiensi pertumbuhan dan reproduksi ikan. Di sisi lain, dalam upaya konservasi,



pemahaman fisiologi ikan dapat membantu mengembangkan strategi untuk melindungi spesies yang terancam punah, seperti menjaga kualitas habitat dan mengurangi dampak aktivitas manusia (Wedemeyer, 1996).

## **2.4 Tingkah Laku Ikan**

Tingkah laku ikan mencerminkan adaptasi terhadap lingkungan akuatik, baik untuk bertahan hidup, berkembang biak, maupun berinteraksi dengan individu lain. Tingkah laku ini dipengaruhi oleh faktor internal seperti genetika dan hormon, serta faktor eksternal seperti suhu, cahaya, dan keberadaan predator. Dengan tingkah laku yang beragam, ikan mampu menyesuaikan diri dengan berbagai tantangan di lingkungan perairan, mulai dari mencari makan hingga menjaga keberlanjutan spesies. Salah satu tingkah laku ikan yang paling menarik adalah cara mencari makan. Ikan menggunakan berbagai strategi berburu sesuai dengan jenis makanan yang dikonsumsi. Ikan karnivora, seperti ikan kakap, biasanya memanfaatkan penglihatan tajam untuk mengidentifikasi mangsa, kemudian mengejar dan menangkapnya dengan kecepatan yang luar biasa. Beberapa spesies ikan predator bahkan menggunakan kamuflase untuk mendekati mangsa tanpa terdeteksi. Sebaliknya, ikan herbivora seperti ikan bandeng memakan ganggang atau tumbuhan air dengan cara menggerogoti atau menyedotnya dari substrat. Tingkah laku makan ini tidak hanya dipengaruhi oleh kebutuhan energi tetapi juga oleh kondisi lingkungan, seperti ketersediaan makanan di habitat.

Tingkah laku ikan dalam mempertahankan diri dari predator juga sangat beragam dan menarik untuk dipelajari. Banyak ikan mengandalkan warna tubuh untuk berkamuflase di lingkungan sekitar, menyatu dengan substrat atau tumbuhan air untuk menghindari perhatian predator. Beberapa ikan, seperti ikan buntal, memiliki kemampuan untuk menggembungkan tubuhnya sebagai bentuk pertahanan fisik yang membuat sulit ditelan predator. Tingkah laku defensif lainnya termasuk berenang dalam kelompok besar atau sekolah ikan, yang menciptakan efek visual yang membingungkan predator dan meningkatkan peluang ikan individu untuk selamat. Pada saat bahaya mengancam, beberapa ikan juga dapat menghasilkan suara atau



menggunakan sirip untuk menimbulkan getaran yang dapat memperingatkan ikan lain (Helfman *et al.*, 2009).

Interaksi sosial juga merupakan bagian penting dari tingkah laku ikan. Banyak spesies ikan hidup dalam kelompok atau kawanan, yang memberikan keuntungan dalam hal perlindungan, efisiensi mencari makanan, dan reproduksi. Dalam sebuah kawanan, ikan menunjukkan koordinasi gerakan yang luar biasa, yang memungkinkan bergerak sebagai satu kesatuan. Koordinasi ini melibatkan sistem sensorik yang sangat peka, termasuk sistem garis lateral, yang memungkinkan ikan mendeteksi perubahan tekanan air yang dihasilkan oleh gerakan ikan lain di sekitarnya. Tingkah laku sosial ini tidak hanya melibatkan hubungan antara individu dalam satu spesies tetapi juga interaksi dengan spesies lain. Misalnya, beberapa ikan karang memiliki hubungan simbiosis dengan udang pembersih, di mana ikan mendapatkan manfaat dari pembersihan parasit, sementara udang mendapatkan makanan.

Tingkah laku reproduksi ikan juga sangat bervariasi dan mencerminkan strategi untuk memastikan kelangsungan hidup keturunan. Beberapa ikan menunjukkan perilaku kawin yang kompleks, seperti ikan cupang jantan yang membangun sarang dari gelembung udara untuk melindungi telurnya. Sementara itu, ikan lain, seperti salmon, melakukan migrasi jarak jauh dari laut ke sungai untuk mencari tempat bertelur yang aman. Proses ini melibatkan navigasi yang sangat akurat, di mana ikan menggunakan isyarat kimia dan medan magnet bumi untuk menemukan lokasi kelahirannya. Setelah bertelur, sebagian ikan meninggalkan telurnya begitu saja, tetapi ada juga yang menunjukkan perilaku parental care, seperti ikan cichlid, yang menjaga dan melindungi telur serta larva dari predator.

Migrasi merupakan tingkah laku lain yang sangat penting dalam kehidupan ikan. Ikan bermigrasi untuk berbagai alasan, termasuk mencari makanan, berkembang biak, atau menghindari kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Migrasi ikan dapat terjadi secara horizontal, seperti pergerakan dari laut ke sungai pada ikan anadrom seperti salmon, atau dari sungai ke laut pada ikan katadrom seperti belut. Selain itu, ada juga migrasi vertikal, seperti yang dilakukan oleh ikan di perairan laut dalam, di mana naik ke permukaan pada malam hari untuk mencari makanan dan kembali ke kedalaman pada siang hari untuk



menghindari predator. Tingkah laku migrasi ini menunjukkan kemampuan ikan untuk merespons perubahan musiman dan kondisi lingkungan secara adaptif (Wootton, 1998).

Selain perilaku yang berorientasi pada kebutuhan dasar, ikan juga menunjukkan tingkah laku eksplorasi dan pembelajaran. Banyak penelitian menunjukkan bahwa ikan memiliki kemampuan untuk mengenali dan mengingat lingkungannya, termasuk lokasi sumber makanan dan tempat perlindungan. Tingkah laku ini didukung oleh kemampuan kognitif yang lebih kompleks dari yang sering diasumsikan. Misalnya, beberapa spesies ikan dapat belajar melalui observasi, seperti ikan yang menyaksikan rekan membuka kerang dan kemudian meniru cara tersebut. Proses pembelajaran ini penting bagi ikan untuk beradaptasi dengan lingkungan yang berubah-ubah, terutama di perairan yang mengalami tekanan akibat aktivitas manusia.

Respons ikan terhadap lingkungan juga menjadi bagian dari tingkah laku. Misalnya, ikan menunjukkan pola aktivitas harian yang dipengaruhi oleh siklus cahaya. Beberapa ikan, seperti ikan predator, aktif pada malam hari (nokturnal) untuk menghindari persaingan atau meningkatkan peluang berburu. Sebaliknya, ikan herbivora cenderung aktif di siang hari (diurnal) untuk memanfaatkan cahaya matahari yang mendukung pertumbuhan tumbuhan air. Respons terhadap suhu juga memengaruhi tingkah laku ikan. Pada suhu rendah, ikan sering kali menunjukkan aktivitas yang lebih lambat karena metabolisme melambat, sementara pada suhu yang lebih tinggi, aktivitas cenderung meningkat.

Selain itu, ikan juga menunjukkan tingkah laku agresif, terutama dalam mempertahankan wilayah atau sumber daya. Beberapa spesies ikan jantan bersikap agresif terhadap individu lain untuk mempertahankan wilayah kawin atau tempat tinggal. Perilaku agresif ini sering kali melibatkan tampilan visual, seperti mengembangkan sirip atau mengubah warna tubuh untuk mengintimidasi lawan. Namun, agresivitas tidak selalu berakhir dengan perkelahian fisik; banyak ikan menggunakan tampilan ini untuk menyelesaikan konflik tanpa kontak langsung. Tingkah laku ini menunjukkan efisiensi energi dalam menyelesaikan konflik dan mempertahankan sumber daya. Pengaruh manusia juga memengaruhi tingkah laku ikan. Polusi, perubahan habitat, dan penangkapan ikan secara berlebihan mengubah cara ikan



berinteraksi dengan lingkungannya. Beberapa ikan menunjukkan perilaku menghindar terhadap area yang tercemar, sementara yang lain mungkin mengalami perubahan dalam pola reproduksi akibat perubahan suhu air. Tingkah laku ikan dalam merespons aktivitas manusia memberikan wawasan penting tentang dampak lingkungan dan kebutuhan akan konservasi (Magnuson & Krasny, 1982).



# BAB 3

## POLA PERGERAKAN DAN MIGRASI IKAN

### 3.1 Migrasi Ikan

Tingkah laku ikan dalam sebuah ekosistem perairan baik itu sungai maupun laut mencerminkan sebuah kompleksitas adaptasi yang selalu berkembang. Salah satu aspek mendasar dari tingkah laku ikan yaitu pada pola pergerakan dan migrasinya. Migrasi pada ikan merupakan suatu cara penyesuaian dalam merespon berbagai stimulus baik internal maupun eksternal dalam rangka mempertahankan eksistensi hidup dan keturunannya melalui sebuah pergerakan atau perpindahan yang bersifat periodik.

Terdapat berbagai pola pergerakan ikan yang mencakup berbagai aktivitas mulai dari pergerakan harian dalam mencari makan, pergerakan dalam menghindari predator, pergerakan untuk bereproduksi, hingga pergerakan untuk mencari tempat berlindung. Menurut Fahmi, (2010) terdapat tiga tujuan habitat yang akan dituju oleh ikan yang bermigrasi yaitu habitat untuk berproduksi, habitat untuk mencari makan, dan habitat untuk berlindung. Migrasi menuju tempat reproduksi atau tempat untuk memijah, umumnya akan terjadi ketika musim pemijahan, Namun migrasi ikan yang dilakukan dengan tujuan mencari makan, bisa dilakukan secara berulang sampai memasuki musim pemijahan.

#### 3.1.1 Jenis Jenis Migrasi Ikan

Migrasi ikan dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis migrasi yaitu berdasarkan habitat perpindahannya, berdasarkan waktu, dan berdasarkan arah.

##### 1. Migrasi Berdasarkan Habitat Perpindahan

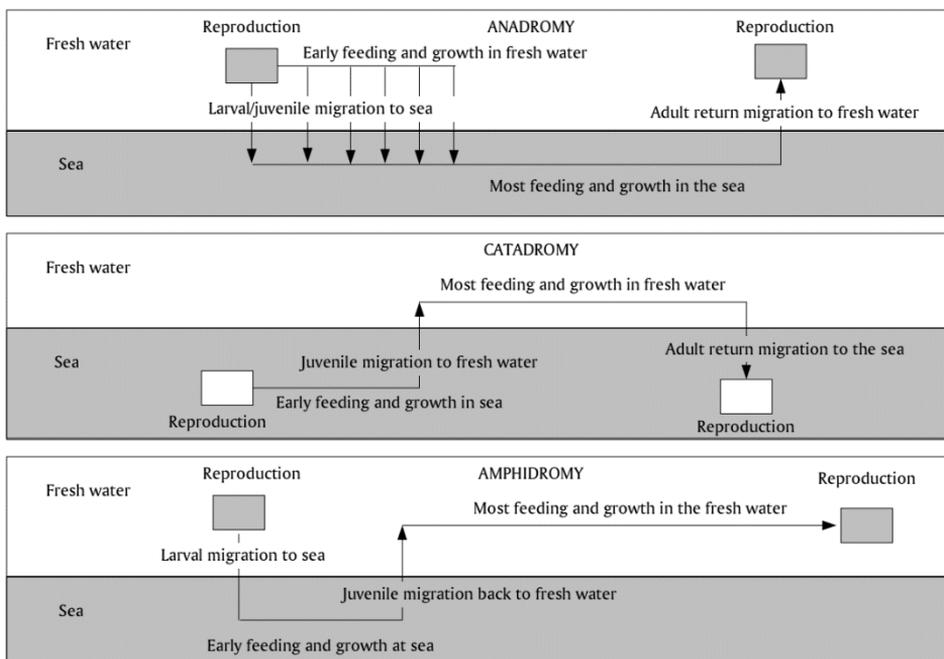
Ikan dapat bermigrasi diluar dari habitat aslinya seperti dari perairan tawar ke perairan laut ataupun sebaliknya. Pola migrasi seperti



itu yang disebut sebagai jenis migrasi berdasarkan habitat perpindahan yang di klasifikasikan menjadi pola migrasi Diadromus, Potadromus dan Oceanodromus.

### A. Migrasi Diadromus

Migrasi diadromus merupakan pola perpindahan atau pergerakan ikan antara perairan tawar dan laut yang terjadi pada fase tertentu dalam siklus hidupnya. Menurut McDowall, (1997), migrasi diadromus dapat dibagi dalam tiga jenis dengan pola migrasi pada **Gambar 3.1** dibawah ini.



**Gambar 3.1** Pola migrasi ikan antara perairan tawar dan perairan laut dalam tiga jenis migrasi diadromus (Sumber: McDowall, 1997)

### B. Migrasi Anadromus

Merupakan pola migrasi dimana ikan bergerak dari habitatnya yaitu perairan laut menuju ke perairan tawar untuk berkembang biak atau memijah. Jenis migrasi ini biasanya dilakukan oleh ikan salmon. Pada migrasi anadromus, ikan dewasa akan berenang melawan arus sungai dengan menempuh jarak hingga ratusan kilometer untuk mencapai lokasi memijah yang sesuai. Ikan salmon yang melakukan



pemijahan di air tawar, larva yang dihasilkan akan beruaya ke laut untuk mencari makan dan bertumbuh, selanjutnya ikan salmon akan beruaya kembali untuk berkembang biak atau memijah.

### **C. Migrasi Katadromus**

Migrasi katadromus terjadi dimana ikan yang menghabiskan sebagian besar hidupnya di perairan tawar nantinya akan melakukan migrasi menuju perairan laut untuk berkembang biak atau melakukan pemijahan. Ikan yang melakukan pergerakan ini umumnya dilakukan oleh ikan sidat atau belut. Pada pola migrasi ini, ikan dewasa akan berenang ke laut untuk memijah kemudian larva yang dihasilkan akan kembali ke perairan tawar tempat habitat aslinya. Menurut Fahmi, (2010), *Leptocephalus* atau larva ikan sidat yang baru menetas akan berenang secara diurnal dan bergerak ke arah permukaan laut, kemudian nantinya bermetamorfosis menjadi benih sidat atau *glass eel* dengan ciri-ciri mulai terbentuknya sirip dan ukuran panjang tubuhnya yang memendek, kemudian benih sidat akan bergerak menuju perairan tawar.

### **D. Migrasi Amphidromus**

Pola migrasi ini terjadi antara perairan tawar dan laut. Pada pola migrasi amphidromus, ikan akan berpindah beberapa kali dalam setahun tergantung pada kondisi lingkungan, Ikan akan melakukan pemijahan di perairan tawar, selanjutnya larva segera bermigrasi menuju air laut dan kembali ke air tawar untuk pertumbuhan dan mencari makan. Adapun ikan yang melakukan migrasi anadromus salah satunya adalah ikan bandeng.

### **E. Migrasi Potadromus**

Ikan yang bermigrasi secara potadromus melakukan perpindahan atau pergerakan sepenuhnya pada habitat aslinya yaitu perairan tawar baik itu sungai maupun danau. Perpindahan pada pola migrasi ini bisa terjadi ke hulu ataupun ke hilir sungai. Spesies ikan yang melakukan perpindahan secara potadromus yaitu ikan mas dan ikan nila.



## F. Migrasi Oceanodromus

Berbeda dengan migrasi potadromus, migrasi ini terjadi sepenuhnya di lingkungan laut. Perpindahan pada migrasi ini dipicu oleh perubahan suhu air. Sama halnya pergerakan potadromus, tujuan migrasi ini untuk mencari lokasi pemijahan yang sesuai baik itu suhu maupun ketersediaan makanan. Ikan yang bermigrasi secara oceanodromus adalah ikan tuna, makarel dan ikan sarden. Pola migrasi ini dibagi menjadi migrasi horizontal dan vertical.

Migrasi horizontal merupakan pergerakan ikan mengikuti arus laut atau mencari daerah yang kaya makanan contohnya ikan tuna (*Thunnus*), ikan makarel (*Scomber*), dan ikan sarden (*Sardinella*). Sedangkan migrasi vertical bergerak secara vertical dalam kolom air yaitu terkait dengan siklus harian (diurnal), mencari mangsa, menghindari predator dan mengikuti pergerakan plankton.

## 2. Migrasi Berdasarkan Waktu

Migrasi ikan juga bisa dibedakan berdasarkan waktu yaitu migrasi harian, musiman, dan ontogenetic. Migrasi harian atau *diurnal migration* umumnya berupa pergerakan vertical dalam kolom air yang terjadi dalam siklus harian 24 jam. Pergerakan ini dipengaruhi oleh adanya ketersediaan makanan dan intensitas cahaya. Pada saat siang hari ikan agar bergerak ke perairan yang lebih dalam dimana suhunya cenderung lebih dingin. Sedangkan malam hari ikan akan naik ke permukaan atau perairan yang lebih dangkal mengingat suhu permukaan cenderung lebih hangat. Spesies ikan yang melakukan migrasi diurnal adalah ikan lantern (*Myctophidae*) dan ikan haring (*Clupeidae*)

Migrasi musiman atau *seasonal migration* merupakan pergerakan ikan yang melibatkan perpindahan jarak jauh yang dipengaruhi oleh perubahan parameter lingkungan. Pergerakan ini terkait dengan perubahan musim berupa suhu air, makanan, dan kondisi pemijahan.

Migrasi ontogenetic yaitu pergerakan ikan berkaitan dengan perubahan tahap perkembangan dalam siklus hidupnya. Pergerakan ontogenetic mencakup perubahan habitat yang disesuaikan dengan kebutuhan ikan pada setiap fase pertumbuhan. Sehingga karakteristik dari migrasi jenis ini yaitu bersifat sekuensial.



### 3. Migrasi Berdasarkan Arah Pergerakan

Migrasi ikan berdasarkan arah pergerakan dibagi menjadi migrasi horizontal, vertikal dan diagonal. Migrasi horizontal yaitu pergerakan ikan secara sejajar dengan permukaan air yang umumnya terkait dengan pencarian makanan dan pemijahan. Migrasi vertikal yaitu migrasi dengan pergerakan naik turun dalam kolom air dan terjadi dalam siklus harian, musiman maupun ontogenetic.

#### 3.2 Faktor yang Mempengaruhi Migrasi Ikan

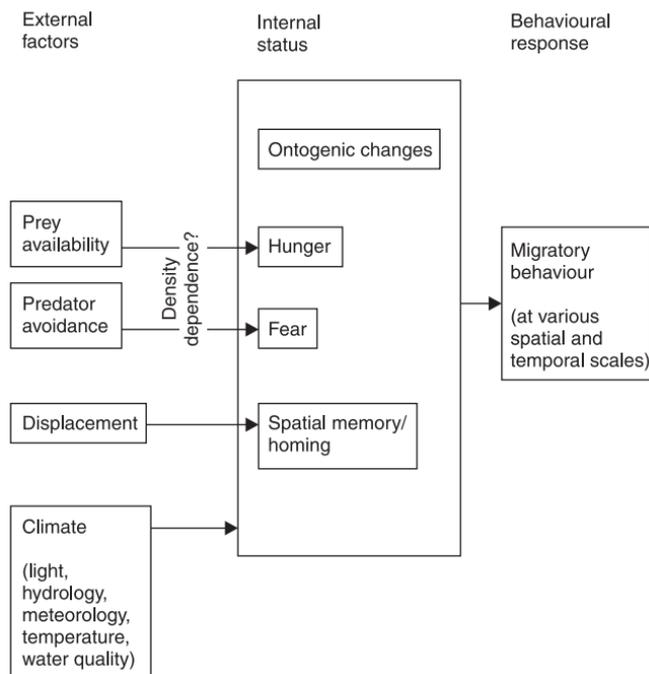
Pola migrasi ikan bisa berasal dari dalam ikan itu sendiri maupun karena kondisi lingkungan. Faktor dari dalam dapat berupa naluri ikan untuk bertelur, bertumbuh, memijah, dan mencari makan, sedangkan faktor dari luar yaitu adanya predator, ketersediaan makanan, dan kondisi lingkungan. Menurut Lucas *et al.*, (2001), pola migrasi ikan merupakan suatu bentuk respon fisiologis terhadap stimulus internal dan eksternal. Stimulus tersebut yang nantinya akan menghasilkan respon pada perubahan tingkah laku dan bentuk morfologinya. Sehingga peran hormon menjadi penentu bagaimana ikan merespon sebuah rangsangan. Hal itu dikarenakan respon akan berbeda meskipun rangsangan yang diterima oleh ikan sama. Dalam bukunya, juga ditunjukkan diagram berupa faktor-faktor yang menjadi dasar ikan untuk bermigrasi (**Gambar 3.2**).

Diagram pada **Gambar 3.2** menggambarkan bagaimana faktor eksternal dan faktor internal mempengaruhi ikan untuk bermigrasi. Adanya predator dan perubahan iklim yang merupakan faktor eksternal akan berpengaruh terhadap populasi ikan membuat naluri atau insting ikan untuk berlindung, berpindah, dan menyesuaikan diri muncul dengan respon berupa melakukan migrasi. Menurut Findra *et al.*, (2016), ontogenetic habitat atau perkembangan perilaku ikan selama hidupnya mulai dari menetas hingga mati dilakukan untuk meningkatkan pertumbuhan, mengurangi tingkat kematian akibat predator serta sebagai proses berkembang biak atau ber-reproduksi.

Perubahan ontogenetik akan memberikan respon berupa insting dan fisiologis ikan untuk bermigrasi ke area yang ketersediaan makanannya banyak atau *feeding ground* bagi ikan kecil dan memberikan insting untuk bermigrasi menuju area pemijahan atau *spawning ground*



bagi ikan dewasa. Kemudian yaitu faktor *homing* atau kemampuan untuk kembali ke habitat asalnya. Tingkat *homing* dari berbagai jenis ikan berbeda, seperti halnya pada ikan salmon. Ikan salmon mempunyai tingkat *homing* yang tinggi, sehingga ketika dewasa akan kembali ke perairan tawar tempat asalnya untuk memijah.



**Gambar 3.1.** Digram pengaruh migrasi ikan  
(Sumber: Lucas *et al.*, 2001)

Menurut Gunawan & Wibowo, (2024), Salah satu kondisi lingkungan yaitu termoklin atau lapisan perubahan suhu pada kolom perairan mempunyai pengaruh terhadap pola migrasi dan distribusi ikan pelagis. Di Laut Jawa, keberadaan ikan pelagis kecil seperti *sardinella*, meningkat akibat termoklin yang dangkal selama musim hujan, sementara termoklin yang lebih dalam selama musim kemarau menyebabkan meningkatnya ikan pelagis besar seperti tuna di Laut Banda.

Variabilitas termoklin di suatu perairan berpengaruh terhadap pola migrasi ikan karena adanya termoklin berdampak pada distribusi



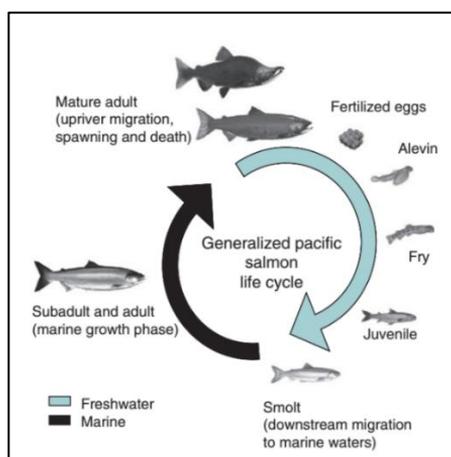
nutrient. Gunawan & Wibowo, (2024), menjelaskan bahwa termoklin yang lebih dangkal dan terjadi selama musim hujan dapat meningkatkan proses *upwelling nutrient* dari lapisan bawah menuju ke permukaan. Sehingga produktivitas dari plankton semakin meningkat, dan sebaliknya.

Menurut Muhammad *et al.*, (2019), menjelaskan bahwa ikan akan melakukan migrasi atau perpindahan untuk penyesuaian diri terhadap suhu tubuhnya. Perubahan suhu di perairan dapat menyebabkan kondisi lingkungan disekitarnya berpengaruh pada kelarutan gas-gas di perairan dan berpengaruh terhadap tekanan osmosis. Sehingga ikan akan bermigrasi untuk mencari habitat yang mendukung kondisi tubuhnya.

### 3.3 Studi Kasus Pola Migrasi Ikan

#### 3.3.1 Migrasi Ikan Salmon (*Oncorhynchus spp*)

Ikan salmon dikenal sebagai ikan yang melakukan migrasi dari perairan laut menuju ke perairan tawar untuk melakukan pemijahan atau dikenal sebagai migrasi secara anadromus. Ikan salmon mempunyai skala migrasi yang besar hingga ratusan kilometer menuju ke perairan tawar tempat dimana dia menetas kemudian menuju perairan laut untuk tumbuh dan berkembang menjadi salmon dewasa. Gambar 3.3 berikut merupakan siklus hidup ikan salmon berdasarkan penelitian dari Cooke *et al.*, (2011).



**Gambar 3.2.** Siklus hidup ikan salmon  
(Sumber: Cooke *et al.*, 2011)



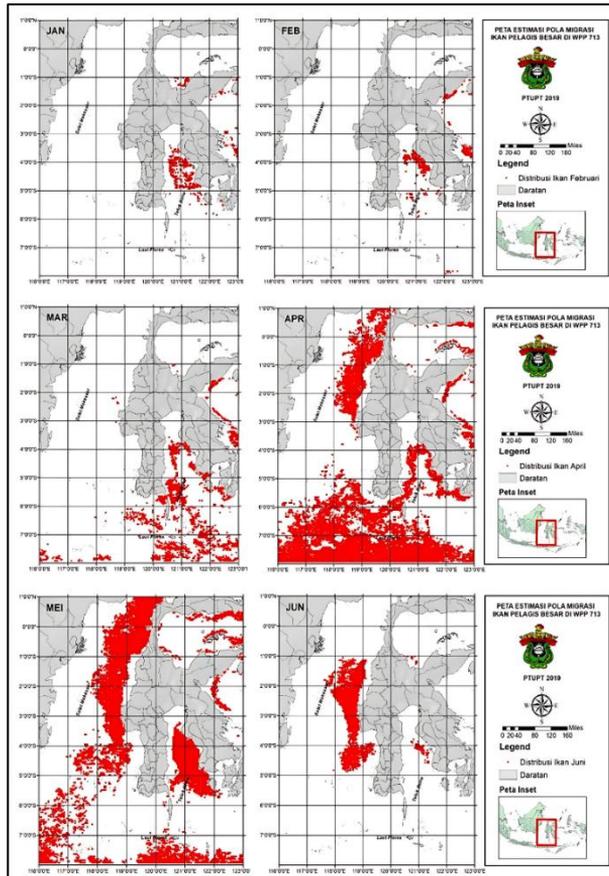
Menurut Cooke *et al.*, (2011), karakteristik luar biasa dari siklus hidup ikan salmon adalah kematian salmon dewasa ketika selesai memijah, namun peristiwa tersebut sebagian besar terjadi pada ikan salmon pasifik dan tidak untuk ikan salmon atlantik yang bisa melakukan pola migrasi untuk memijah lebih dari 1 kali.

Telur ikan yang sudah terbuahi, selanjutnya menetas menjadi *alevin* atau larva dengan kantong kuning telur yang masih menempel sebagai cadangan nutrisi. Setelah kantong kuning telur habis, selanjutnya larva aktif berenang ke permukaan untuk mencari makan berupa plankton dan serangga kecil tahap ini disebut sebagai tahap *fry* atau ikan muda yang selanjutnya berkembang menjadi *juvenile* dan tahap *smolt*. Pada tahap *smolt*, ikan salmon yang berukuran 13-20 cm mengalami perubahan pada fisiknya yang berguna untuk adaptasi dengan air laut, pada tahap ini ikan mulai untuk bermigrasi ke laut. Di laut ikan akan bertumbuh menjadi ikan salmon dewasa, dan ketika memasuki proses untuk memijah, maka ikan salmon akan berenang untuk kembali ke perairan tawar untuk memijah. Pada tahap ini ikan salmon dewasa akan berhenti makan dan menggunakan cadangan lemak tubuh sebagai energinya.

### 3.3.2 Migrasi Ikan Pelagis Besar

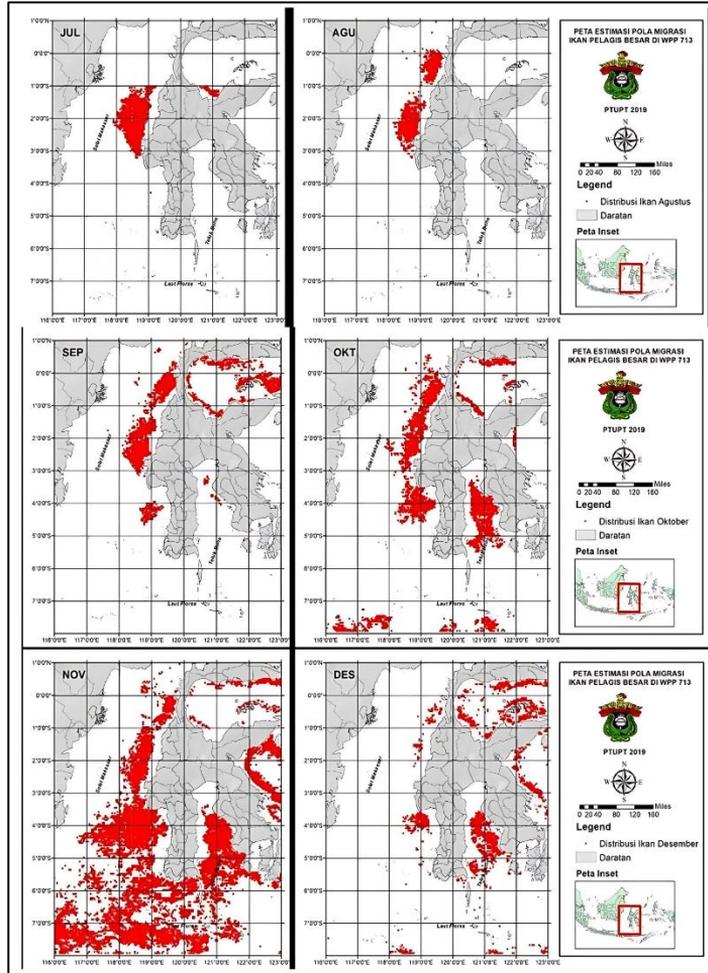
Ikan pelagis besar merupakan kelompok ikan dengan pergerakan cepat dan berpindah mengikuti perubahan lingkungan perairan, sehingga menjadikan kepadatannya juga bervariasi dan akan mencari kondisi lingkungan yang ideal dan optimal untuk kelangsungan hidupnya. Menurut Safruddin *et al.*, (2020), ikan tuna dan ikan cakalang mempunyai sifat bergerombol dimana gerombolan tersebut akan terbentuk besar ketika banyaknya ikan pelagis kecil sebagai makanannya dan sebaliknya, serta akan beruaya atau berpindah baik secara temporal atau waktu maupun secara spasial. Pernyataan tersebut didukung oleh hasil penelitiannya yang dilakukan di WPP 713, dimana teknik pengolahan data dengan menggunakan teknik SIG yang dapat dilihat pada **Gambar 3.4** dan **3.5** dibawah ini.





**Gambar 3.3.** Pola migrasi pada Bulan Januari - Juni di WPP 713  
(Sumber: Safruddin *et al.*, 2020)

**Gambar 3.4** menjelaskan bahwa pada bulan Januari memiliki kemiripan dengan kondisi dibulan Februari, dimana ikan terlihat di bagian selatan Teluk Bone yaitu pada perairan Kolaka dan Bombana. Selanjutnya pada bulan Maret ikan berpindah ke arah selatan dan berkembang di hampir seluruh wilayah Laut Flores pada bulan April. Kondisi tersebut masih ditemukan pada bulan Mei yaitu pada perairan Kolaka, Bombana, Muna dan Buton.

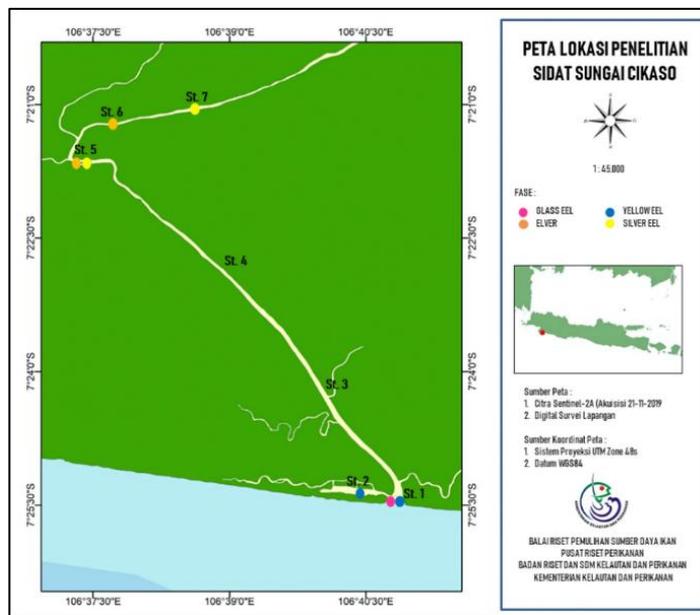


**Gambar 3.4.** Pola migrasi pada bulan Juli - Desember di WPP 713  
(Sumber: Safruddin *et al.*, 2020)

Namun pada bulan Juni s.d September, ikan pelagis besar hanya terlihat di Selat Makassar dan tidak ditemukan di WPP 713 (**Gambar 3.5**). Selanjutnya ikan pelagis besar bergerak di Bulan Oktober, dimana disepanjang perairan Selat Makassar banyak ditemukan ikan pelagis besar, dan puncaknya melimpah pada bulan November di hampir seluruh Wilayah Pengelolaan Perikanan 713 yaitu Sulawesi Sleatan, barat dan tenggara, namun berbeda pada bulan Desember yang hanya ditemukan di perairan Kabupaten Barru dan Teluk Bone bagian tengah dan selatan.

### 3.3.3. Pola Migrasi Ikan Sidat

Ikan sidat merupakan jenis ikan yang beruaya secara katadromous yaitu ikan akan memijah di laut kemudian nantinya bermigrasi ke perairan tawar untuk pertumbuhan dan mencari makan, selanjutnya ketika dewasa akan kembali ke laut untuk berkembang biak atau memijah. Menurut Romadhi *et al.*, (2022), ikan sidat mempunyai lima stadia dalam siklus hidupnya, meliputi stadia larva (*leptocephalus*), stadia benih (*glass eel*), sidat berpigmen (*elver*), stadia sidat muda (*yellow eel*) dan terakhir adalah stadia sidat dewasa (*silver eel*). Pada saat stadia larva, ikan akan berenang menuju pantai dengan mengikuti arus kemudian berkembang menjadi benih sidat dan akan melakukan pergerakan ke hulu sungai sebagai sidat berpigmen. Pada fase inilah sidat akan tumbuh dan berkembang menjadi sidat muda yang selanjutnya akan mengalami pematangan gonad sebagai sidat dewasa, saat dewasa inilah sidat akan bermigrasi kembali ke hilir untuk berkembang biak di laut.



**Gambar 3.5.** Sebaran Ikan Sidat berdasarkan stadia hidup  
(Sumber: Sugianti *et al.*, 2020)

Menurut Sugianti *et al.*, (2020), memaparkan bahwa pergerakan atau migrasi benih sidat (*glass eel*) diawali dari bagian muara sungai,

selanjutnya benih akan bermigrasi lebih lanjut ke arah hulu sampai ke bagian sungai dengan kadar salinitas 0 ppt atau tawar. Berdasarkan **Gambar 3.6**, fase benih ditandai dengan titik berwarna merah muda yang bermigrasi dari muara sungai (stasiun 1) menuju ke stasiun 5 dengan jarak sejauh  $\pm 9,4$  km. Selanjutnya, di stasiun 5 dan 6 ikan sidat yang ditemukan yaitu ikan sidat dengan fase ikan sidat berpigmen. Di stasiun 5 dan stasiun 7 yang ditandai dengan titik berwarna kuning merupakan lokasi sidat dewasa, dimana sidat dewasa jenis *Anguilla bicolor* ditemukan di stasiun 5 sedangkan untuk Stasiun 7 merupakan ikan sidat *Anguilla marmorata*. Untuk titik biru yang ada di stasiun 2 dan stasiun 1 merupakan titik dimana ikan sidat muda di temukan yaitu di daerah yang berdekatan dengan muara Sungai Cikaso.

Perbedaan fase dan spesies dari ikan sidat yang ditemukan ditentukan juga oleh kondisi kualitas perairan yang ada di sepanjang aliran sungai tersebut. Menurut Sugianti *et al.*, (2020), salinitas merupakan salah satu parameter kualitas air utama yang menjadi kunci dari keberlangsungan hidup ikan sidat dan mempengaruhi jenis dari ikan sidat.

### **3.4 Pentingnya Migrasi Ikan**

Migrasi ikan berdampak signifikan terhadap ekosistem perairan baik laut maupun tawar serta berdampak pada aspek ekonomi dan pengelolaan sumber daya.

#### **3.4.1 Aspek Ekologis**

Secara ekologis, migrasi ikan mendukung adanya keseimbangan ekosistem perairan. Pergerakan ikan dari perairan tawar ke laut, pergerakan secara horizontal maupun vertikal, membantu distribusi nutrisi yang penting bagi organisme perairan. Saat ikan bermigrasi, ikan akan mengeluarkan zat sisa seperti nitrogen dan fosfor yang menjadi nutrisi penting untuk fitoplankton. Selain itu, adanya migrasi ikan akan mempengaruhi predator dan mangsa disepanjang rute, sehingga ketidakseimbangan migrasi dapat mengubah dinamika populasi di habitat tertentu.

Selain itu, migrasi ikan bisa menjadi indikator kesehatan lingkungan. Sesuai dengan tujuan migrasi ikan untuk bertumbuh dan



berkembangbiak, maka adanya migrasi ikan menandakan bahwa lingkungan tersebut kaya akan nutrisi. Penelitian Belinda *et al.*, (2022), menjelaskan bahwa tingginya nilai *edge density* akan berpengaruh pada rendahnya kelimpahan ikan *Scaridae*, hal itu dikarenakan semakin rapatnya terumbu karang, maka jumlah makroalga atau tanaman laut didalam ekosistem tersebut semakin rendah sehingga ikan akan bermigrasi ke tempat dengan ketersediaan makanan yang melimpah.

### **3.4.2 Aspek Ekonomis**

Migrasi ikan berpengaruh terhadap aspek ekonomis, dimana spesies pelagis seperti tuna, cakalang dan sarden memiliki nilai ekonomi yang tinggi, sehingga nelayan bergantung pada pola migrasi ikan tersebut, jika pola ini terganggu seperti halnya akibat pemanasan global atau perubahan iklim lainnya maka hasil tangkapan bisa mengalami penurunan drastis. Mengetahui pola migrasi ikan menjadi penting bagi nelayan untuk meningkatkan efisiensi penangkapan baik itu waktu, tenaga, biaya, dan hasil tangkapan.

### **3.4.3 Aspek Sosial dan Konservasi**

Migrasi ikan yang terganggu juga dapat berpengaruh terhadap aspek social dan konservasi. Konservasi pola migrasi seperti perlindungan habitat Kawasan pemijahan dan jalur migrasi menjadi sangat penting untuk menjaga keseimbangan social dan ekologi.

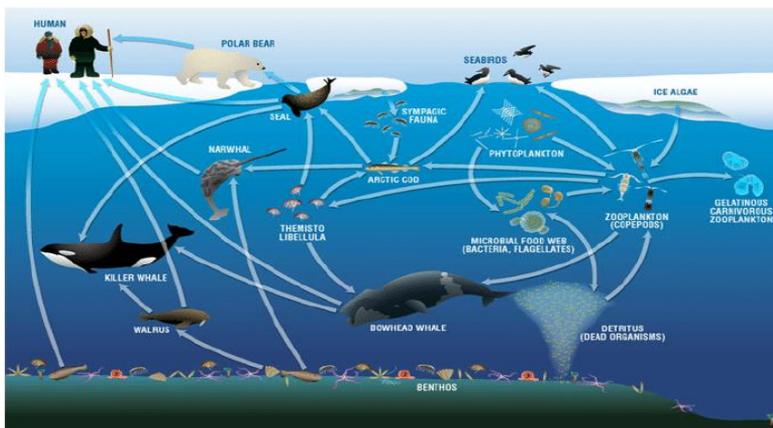


# Bab 4

## POLA PENCARIAN MAKAN DAN PREFERENSI MANGSA

### 4.1 Pendahuluan

Lautan, dengan segala misterinya, menyimpan kisah-kisah epik tentang perjuangan hidup dan kematian. Salah satu drama paling menegangkan yang terjadi di bawah permukaan adalah interaksi antara predator dan mangsa dalam jaring makanan (**Gambar 4.1**). Setiap organisme, dari ikan kecil hingga paus raksasa, terlibat dalam perlombaan tanpa henti untuk bertahan hidup. Memahami dinamika predasi-mangsa tidak hanya memuaskan rasa ingin tahu kita, tetapi juga sangat penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem perairan yang semakin terancam oleh perubahan iklim dan aktivitas manusia.



**Gambar 4.1.** Representasi skematis dari jaring makanan laut Arktik Kanada, dengan transisi dari pesisir ke ekosistem samudra (kiri ke kanan)

(Sumber : Darnis *et.al.*, 2012)

Interaksi predator-mangsa ini membentuk struktur komunitas, mengatur dinamika populasi, dan mendorong evolusi adaptasi yang menakjubkan. Ikan, sebagai kelompok vertebrata yang paling beragam di planet ini, memainkan peran sentral dalam dinamika ini (Krebs, 1994). Tingkah laku makan dan strategi predasi pada ikan sangat beragam dan kompleks, dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti morfologi tubuh, fisiologi, lingkungan, dan sejarah evolusi. Memahami mekanisme di balik perilaku-perilaku memiliki implikasi penting bagi pengelolaan perikanan, konservasi keanekaragaman hayati, dan pemahaman kita tentang ekosistem perairan secara keseluruhan

## **4.2 Konsep Dasar dalam Ekologi Perilaku**

Dalam ekologi perilaku ikan, perlu dipahami istilah-istilah dibawah ini :

### **4.2.1 Adaptasi**

Adaptasi merupakan hasil dari evolusi yang memungkinkan organisme untuk bertahan hidup dan bereproduksi dalam lingkungannya. Adaptasi ini bisa berupa perubahan fisik, fisiologis, atau perilaku. Dalam hal perilaku makan dan strategi predasi pada ikan, adaptasi memiliki peran yang sangat penting. Misalnya, bentuk tubuh yang aerodinamis membantu ikan bergerak cepat untuk mengejar mangsa, sedangkan gigi yang tajam dan kuat memudahkan proses pemangsaan.

### **4.2.2 Seleksi Alam**

Seleksi alam merupakan mekanisme utama yang memicu terjadinya adaptasi. Individu yang memiliki sifat-sifat menguntungkan dalam lingkungan tertentu cenderung lebih berhasil dalam bertahan hidup dan bereproduksi. Akibatnya, frekuensi sifat-sifat menguntungkan ini akan meningkat dari generasi ke generasi. Contoh: ikan yang memiliki kemampuan berkamuflase yang baik akan lebih sulit terlihat oleh predator, sehingga memiliki peluang hidup yang lebih besar. Akibatnya, sifat kamuflase akan semakin sering ditemukan dalam populasi ikan tersebut.



### 4.2.3 Optimalisasi Energi

Organisme, termasuk ikan, berusaha untuk memaksimalkan keuntungan energi sambil meminimalkan pengeluaran energi yang besar. Prinsip optimalisasi energi ini mendasari banyak perilaku hewan, termasuk pemilihan makanan dan strategi berburu. Ikan akan memilih makanan yang memberikan nilai nutrisi tertinggi dengan biaya energi yang paling rendah.

### 4.2.4 Etologi

Etologi adalah cabang biologi yang mempelajari perilaku hewan dalam lingkungan alaminya. Para etolog mempelajari berbagai aspek perilaku hewan, termasuk pola makan, komunikasi, reproduksi, dan interaksi sosial. Dengan memahami etologi ikan, kita dapat memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang tingkah laku makan dan strategi predasi.

Contoh studi kasus pada etologi yaitu hubungan antara ikan badut dan anemon laut. Ikan badut membentuk hubungan mutualisme dengan anemon laut. Ikan badut memperoleh perlindungan dari predator dengan hidup di antara tentakel anemon yang menyengat, sementara anemon laut mendapatkan perlindungan dari predator ikan lain yang takut pada sengatan anemon. Hubungan simbiosis ini merupakan contoh adaptasi perilaku yang kompleks.

### 4.2.5. Pola Pencarian Makan pada Ikan

Salah satu aspek penting yang mempengaruhi dinamika populasi adalah pola makan ikan, yang mencakup cara ikan mencari makan, jenis makanan yang dipilih, dan faktor-faktor yang memengaruhi pilihan makanan tersebut. Pola makan yang unik dan kompleks pada setiap spesies ikan tidak hanya mencerminkan adaptasi evolusioner terhadap lingkungan, tetapi juga memiliki implikasi yang signifikan terhadap struktur komunitas dan fungsi ekosistem perairan.

Pola Makan Ikan sangat penting untuk diketahui dengan tujuan untuk mengetahui:

- a. **Dinamika populasi:** Pola makan yang efisien memungkinkan ikan tumbuh dan berkembang biak dengan baik, sehingga mempengaruhi pertumbuhan populasi. Sebaliknya, keterbatasan



makanan dapat menghambat pertumbuhan dan reproduksi, bahkan menyebabkan kematian.

- b. **Interaksi antar spesies:** Persaingan untuk mendapatkan makanan dapat memicu kompetisi antar spesies, sementara predator dan mangsa terikat dalam hubungan yang kompleks.
- c. **Struktur komunitas:** Pola makan yang beragam dapat menciptakan struktur komunitas yang kompleks, dengan berbagai spesies yang menempati relung ekologi yang berbeda.
- d. **Produktivitas ekosistem:** Transfer energi melalui rantai makanan sangat dipengaruhi oleh efisiensi pemanfaatan makanan oleh setiap tingkat trofik.

Sebagai organisme heterotrof, mencari makan merupakan aktifitas rutin semua jenis ikan dan hampir semua waktu hidupnya digunakan untuk hal tersebut. Dalam melakukan aktifitas ini, ikan memerlukan protein, karbohidrat, lemak, mineral serta vitamin dalam jumlah yang besar dan cukup sebagai nutrisi dan energi ikan (Clements, *et.al*, 2017).

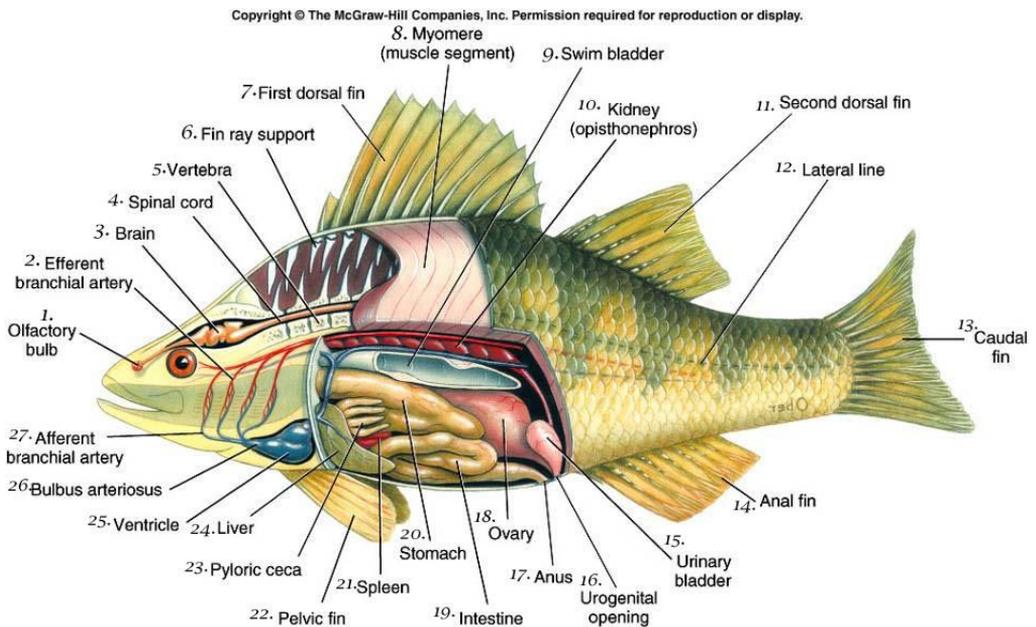
Saat mencari makan, pencernaan ikan yang berbentuk saluran beserta organ lainnya mendukung proses hancurnya makanan serta proses terserapnya makanan dalam sistem organ yang disebut sistem pencernaan. Sebelum nutrisi digunakan untuk memenuhi kebutuhan biologis ikan, makanan yang dimakan ikan akan diproses melalui sistem pencernaan. Enzim-enzim pencernaan berperan dalam proses pencernaan ini. Laju metabolisme ikan biasanya terkait dengan kecepatan pencernaan makanan. Suhu air harus tepat untuk meningkatkan metabolisme ikan. Peningkatan metabolisme ini harus seimbang dengan asupan makanan yang tersedia di sekitar kita. Peningkatan suhu media dapat meningkatkan metabolisme ikan dan meningkatkan konsumsi makanan mereka, yang pada gilirannya dapat mempercepat pertumbuhan ikan (Pratama, 2019).

Organ pencernaan pada ikan terdiri dari dua bagian yaitu kelenjar pencernaan dan saluran pencernaan. Saluran pencernaan adalah organ yang melakukan tugas pencernaan langsung dan menyerap makanan. Di sisi lain, kelenjar pencernaan adalah organ yang memproduksi enzim yang diperlukan untuk proses pencernaan.



Suatu proses melumat dan menghancurkan makanan menjadi nutrisi dan energi melalui mekanisme kimia dan fisis dalam tubuh sehingga dapat didistribusikan dan diserap dengan baik dan mudah merupakan suatu sistem gastrointestinal atau sistem pencernaan. Pada proses ini makanan yang diperoleh diubah menjadi energi dan nutrisi serta zat-zat yang tidak dibutuhkan oleh tubuh dikeluarkan kembali.

Seperti hewan lainnya, ikan memiliki sistem pencernaan (**Gambar 4.2**). Namun, terdapat banyak jenis ikan dengan perbedaan terutama pada jenis makanan yang mereka konsumsi. Bagian utama dari saluran pencernaan ikan meliputi mulut, rongga mulut, tenggorokan, kerongkongan, lambung, pilorus, usus, rektum, dan anus. Sementara itu, pancreas, hati dan kantung empedu termasuk dalam kelenjar pencernaan (Saikia *et.al.*, 2015).



**Gambar 4.2.** Sistem pencernaan ikan

(Sumber : <https://www.perumperindo.co.id/sistem-pencernaan-ikan/>)

#### 4.2.6 Adaptasi Morfologi dan Fisiologi terkait Pola Makan

Ikan telah berevolusi dengan berbagai adaptasi morfologi dan fisiologi untuk mendukung pola makan spesifik mereka. Adapun adaptasi morfologi yang dimaksud yaitu :

- a. **Bentuk mulut:** Mulut yang lebar dan bergigi tajam untuk karnivora, mulut yang kecil dan bergigi halus untuk herbivora, atau mulut yang berbentuk tabung untuk menghisap plankton.
- b. **Sistem pencernaan:** Panjang usus, jenis enzim pencernaan, dan ukuran lambung bervariasi sesuai dengan jenis makanan utama.
- c. **Indera:** Indra penglihatan, penciuman, dan pendengaran yang tajam membantu ikan menemukan mangsa.
- d. **Fisiologi pencernaan:** Kemampuan mencerna berbagai jenis makanan, seperti tumbuhan, hewan, atau detritus.

#### 4.2.7 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pola Makan

Banyak faktor yang dapat memengaruhi pola makan ikan, antara lain:

- a. **Ukuran tubuh:** Ikan yang lebih besar umumnya memakan mangsa yang lebih besar pula.
- b. **Tahap hidup:** Pola makan ikan muda sering berbeda dengan ikan dewasa.
- c. **Musim:** Ketersediaan mangsa yang bervariasi sepanjang tahun dapat menyebabkan perubahan pola makan.
- d. **Habitat:** Jenis habitat (air tawar, laut, terumbu karang) sangat memengaruhi jenis makanan yang tersedia.
- e. **Kompetisi:** Persaingan dengan spesies lain dapat memaksa ikan untuk mengubah pola makannya.

#### 4.2.8 Strategi Pencarian Makan

Ikan memiliki berbagai strategi pencarian makan (Helfman *et.al.*, 2009), yaitu ikan yang aktif mencari mangsa dengan berenang dan memburu serta ikan yang pasif menunggu mangsa datang, kemudian menyergapnya. Adapula jenis ikan yang dalam mencari ikan bersifat soliter (mencari makan sendiri-sendiri), dan adapula yang berkelompok (untuk meningkatkan eksistensi dan mengurangi resiko predator).

Predator aktif biasanya memiliki tubuh yang ramping dan lincah, serta dilengkapi dengan indera yang tajam untuk mendeteksi mangsa dari jarak jauh. Menggunakan teknik berburu dengan pengejaran predator mengejar mangsa dengan kecepatan tinggi, contoh: ikan tuna, marlin. Adapula dengan teknik penyergapan dimana predator



bersembunyi dan kemudian menyerang mangsa secara tiba-tiba, contoh: ikan gabus. Adaptasi morfologi dan fisiologi yang dimiliki yaitu gigi yang tajam yang dapat memudahkan untuk menangkap dan merobek mangsa, mulut yang besar yang dapat memungkinkan menelan mangsa yang berukuran lebih besar serta sistem pernapasan yang efisien untuk mendukung aktivitas berburu yang membutuhkan banyak energi.

Beberapa karakteristik yang dimiliki oleh predator antara lain bersifat pasif, seringkali memiliki tubuh yang kamuflase dan sabar menunggu mangsa datang, predator menyamarkan diri dengan lingkungan sekitar, contoh: ikan batu. Predator lain juga dapat menciptakan struktur untuk menjebak mangsa, contohnya: ikan lele.

Faktor yang memengaruhi pilihan habitat makan antara lain :

- a. **Ketersediaan mangsa**, ikan cenderung memilih habitat dengan kepadatan mangsa yang tinggi.
- b. **Kualitas air**: Suhu, salinitas, dan kandungan oksigen yang sesuai dengan kebutuhan fisiologis ikan.
- c. **Perlindungan dari predator**: Habitat yang menyediakan tempat persembunyian.
- d. **Kompetisi**: Adanya spesies lain yang bersaing untuk mendapatkan makanan.

Dalam kelompok ikan, seringkali terdapat hierarki sosial yang memengaruhi pilihan mangsa. Hirarki sosial yang terbentuk yaitu :

- a. **Ukuran mangsa**: Ikan biasanya memilih mangsa yang ukurannya sesuai dengan ukuran mulut dan kemampuan mencernanya.
- b. **Jenis mangsa**: Preferensi terhadap jenis mangsa tertentu dapat dipengaruhi oleh nilai nutrisi, ketersediaan, dan kemudahan menangkap mangsa.
- c. **Nilai nutrisi**: Ikan cenderung memilih mangsa yang kaya akan protein dan energi.
- d. **Ketersediaan mangsa**: Ketersediaan mangsa di lingkungan sekitar sangat memengaruhi pilihan makanan.

Mutmainnah *et al.*, (2024), menyatakan Jumlah ikan dalam suatu perairan terutama dipengaruhi oleh ketersediaan makanan. Makanan pertama semua ikan di awal hidup biasanya adalah plankton bersel tunggal dan berukuran kecil. Jika ikan pertama kali menemukan



makanan yang cukup besar untuk mulutnya, dia mungkin dapat bertahan hidup.

Secara alami, lingkungan tempat ikan hidup mempengaruhi kebiasaan makanan dan cara memakannya. Kebiasaan makanan ikan terdiri dari jumlah dan kualitas makanan yang dimakan ikan, dan kebiasaan memakan terdiri dari waktu, tempat, dan cara ikan mendapatkan makanannya. Tujuan dari studi kebiasaan makanan ikan adalah untuk mengetahui apa yang dimakan oleh setiap jenis ikan. Pengelompokan ikan juga dapat dilihat dari jenis-jenis makanan ikan (pemakan plankton, pemakan tumbuhan dasar, pemakan detritus, ikan buas dan Ikan pemakan campuran tumbuhan dan hewan). Sedangkan menurut Effendie (1997), berdasarkan jumlah variasi dari macam-macam makanan tersebut, ikan terbagi menjadi tiga kategori: **euryphagic**, yang memakan berbagai jenis makanan; **stenophage**, yang memakan makanan yang sedikit atau sempit; dan **monophagic**, yang memakan hanya satu jenis makanan.

Kebiasaan cara memakan pada ikan dapat bervariasi secara signifikan antara spesies ikan yang berbeda. Berikut adalah beberapa kebiasaan umum dalam cara memakan ikan:

- a. **Pemangsa aktif:** Beberapa ikan, seperti hiu, tuna, atau ikan pedang, dikenal sebagai pemangsa aktif. Mereka cenderung berburu mangsa dengan cara mengejar, menyerang, dan menangkap mangsa mereka. Pemangsa aktif sering memiliki kecepatan dan ketangkasan yang tinggi untuk menangkap mangsa mereka.
- b. **Pemangsa *ambush* atau serangan mendadak:** Beberapa ikan, seperti ikan lele atau ikan kadal, memiliki kebiasaan memangsa dengan cara bersembunyi dan menunggu mangsa datang ke dekat mereka sebelum mereka menyerang dengan cepat dalam serangan mendadak.
- c. **Pemakan detritus atau *filter feeder*:** Ada ikan yang tidak memangsa secara langsung, melainkan memakan detritus, organisme mikroskopis, plankton, atau bahan organik kecil dari air. Contohnya adalah ikan plankton atau ikan saring.



- d. **Herbivora atau pemakan tumbuhan:** Beberapa spesies ikan, seperti ikan parrotfish, terutama memakan alga, rumput laut, atau material tumbuhan lainnya yang ada di lingkungan mereka.
- e. **Kombinasi pemakan:** Banyak ikan memiliki diet yang bervariasi tergantung pada tahap kehidupan, lingkungan, dan ketersediaan makanan. Sebagai contoh, ikan yang awalnya herbivora dalam tahap muda dapat berubah menjadi pemangsa ketika tumbuh dewasa.

Mutmainnah *et.al*, (2024), menyebutkan untuk mencari makanan, ikan biasanya menggunakan persentuhan, mata, dan pembauan. Berdasarkan pada kebiasaan hidup pada lingkungannya, letak mulut ikan berbeda-beda. Beberapa contoh letak mulut pada ikan berdasarkan cara mereka pengambilan makanan:

1. **Mulut terminal:** Ikan dengan mulut yang terletak di ujung kepala disebut memiliki mulut terminal. Biasanya, ikan-ikan ini memakan makanan dari permukaan air atau dari dekat permukaan air. Contohnya termasuk ikan cupang (*betta fish*) dan ikan mas koki.
2. **Mulut superior:** Ikan dengan mulut yang terletak di bagian atas kepala disebut memiliki mulut superior. Mereka cenderung memakan makanan yang berada di atas, seperti serangga yang jatuh ke air. Contohnya adalah ikan nila.
3. **Mulut inferior:** Ikan dengan mulut yang terletak di bagian bawah kepala disebut memiliki mulut inferior. Mereka cenderung memakan makanan yang terletak di dasar perairan atau di dekat dasar, seperti detritus atau organisme kecil yang hidup di sana. Ikan *catfish* adalah contoh ikan dengan mulut inferior.
4. **Mulut protrusible:** Beberapa ikan memiliki mulut yang dapat menjulur ke depan dengan cepat untuk menangkap mangsanya. Contoh ikan yang memiliki mulut yang dapat menjulur adalah ikan hiu dan ikan kakap.

Terdapat berbagai adaptasi unik pada ikan dalam cara mereka mengambil makanan sesuai dengan lingkungan hidup mereka beserta cara menghindari predator (Mutmainnah *et al.*, 2024). Berikut beberapa contohnya:



1. **Mimikri:** Beberapa spesies ikan memiliki kemampuan untuk meniru warna, pola, atau perilaku mangsanya. Misalnya, ikan *anglerfish* memiliki panjang tubuh yang pendek dengan duri yang menyerupai umpan. Mereka menggunakan umpan ini untuk menarik mangsa yang berusaha memangsa umpan palsu tersebut.
2. **Sistem penglihatan yang adaptif:** Beberapa ikan telah berkembang dengan sistem penglihatan yang sangat adaptif. Misalnya, ikan di lingkungan dengan cahaya yang rendah dapat memiliki mata yang sangat peka terhadap cahaya. Sebaliknya, ikan yang hidup di perairan jernih dan terang dapat memiliki adaptasi mata yang berbeda untuk melihat dengan jelas di bawah sinar matahari yang terang.
3. **Mekanisme pemangsa cepat:** Beberapa ikan, seperti ikan kakap, hiu, atau ikan todak, memiliki mulut yang dapat dilontarkan ke depan dengan cepat untuk menangkap mangsa. Ini memberi mereka keuntungan untuk menangkap ikan atau hewan lain dengan cepat.
4. **Organ sensorik yang spesifik:** Ikan juga memiliki organ sensorik yang dapat membantu dalam mencari makanan. Misalnya, ikan pari memiliki *ampullae of Lorenzini*, organ khusus yang membantu mereka mendeteksi medan listrik yang dihasilkan oleh mangsa potensial.
5. **Sistem penciuman yang unik:** Beberapa ikan, seperti salmon, memiliki kemampuan untuk mendeteksi bau atau feromon yang sangat halus. Mereka menggunakan sistem penciuman mereka untuk menemukan jalan kembali ke tempat lahir mereka saat bermigrasi atau untuk menemukan sumber makanan.
6. **Adaptasi mulut khusus:** Beberapa ikan memiliki mulut yang sangat khusus sesuai dengan jenis makanan yang mereka konsumsi. Misalnya, ikan *parrotfish* memiliki gigi yang kuat dan tergolong unik yang mereka gunakan untuk mengunyah karang dan mencerna alga yang terdapat di dalamnya. Ikan yang memakan zooplankton biasanya memiliki mulut yang lebih lebar dengan struktur filter yang memungkinkan mereka menyaring makanan dari air. Ikan yang memakan invertebrata



yang hidup di dasar perairan mungkin memiliki mulut yang mampu menggali atau menghisap.

Semua adaptasi ini memungkinkan ikan untuk bertahan hidup di lingkungan yang berbeda dan memperoleh makanan dengan lebih efisien.

Terdapat periodisitas pemberian makanan, yang didefinisikan sebagai periode di mana ikan aktif mencari makanan selama satu hari. Hal ini terkait dengan cara ikan mencari makanan. Periode makan ikan buas dapat mencapai lebih dari satu hari. Untuk ikan nocturnal (yang aktif di malam hari), ini dimulai saat matahari terbenam dan berlanjut hingga pagi hari. Untuk ikan diurnal, ini dimulai pada siang hari. Periode pemberian makanan berhubungan dengan pasokan makanan dan musim. Jika cuaca tidak baik, periode pemberian makanan dapat berubah atau bahkan terhenti.

Makanan yang dikonsumsi ikan dapat diketahui dengan mengambil contoh makanan pada lambungnya dilengkapi dengan daftar diet harian yang diambil ikan berbagai umur dan ukuran. Bentuk tubuh ikan sering kali terkait erat dengan kebiasaan makan mereka. Berikut beberapa *feeding habits* (kebiasaan makan) ikan yang berkaitan dengan bentuk tubuh:

- a. **Pemakan plankton:** Ikan dengan tubuh yang ramping, seperti ikan sardine atau ikan teri, cenderung menjadi pemakan plankton. Tubuh ramping ini memungkinkan mereka untuk dengan mudah berenang di antara plankton kecil dan menangkap mereka.
- b. **Pemakan predator atau pemangsa aktif:** Ikan dengan tubuh yang aerodinamis, panjang, dan ramping, seperti ikan hiu, tuna, atau ikan pedang, cenderung menjadi predator aktif. Tubuh yang aerodinamis membantu mereka bergerak cepat dan mengejar mangsa dengan efisien di perairan terbuka.
- c. **Pemakan detritivora atau pembersih:** Ikan dengan bentuk tubuh yang cenderung datar atau bulat, seperti ikan loach, sering kali menjadi pemakan detritus atau pemakan sisa-sisa organik di dasar perairan. Bentuk tubuh datar mereka memungkinkan mereka untuk mengakses dan mengambil makanan dari dasar perairan dengan mudah.



- d. **Pemakan alga:** Beberapa ikan memiliki bentuk tubuh yang memungkinkan mereka untuk memakan alga dari permukaan batu atau permukaan benda lain di dalam air. Contohnya adalah ikan kepalang (*Plecostomus*) yang memiliki bentuk tubuh yang cocok untuk menyedot alga dari permukaan benda-benda di akuarium.
- e. **Pemakan parasit:** Beberapa ikan memiliki bentuk tubuh yang memungkinkan mereka untuk hidup sebagai parasit di tubuh ikan lain. Contoh termasuk ikan remora yang memiliki cakar yang dapat menempel pada tubuh hewan laut lainnya, menggunakan mereka sebagai sarana transportasi dan makanan.

Selain bentuk tubuh pada ikan, terdapat pembeda secara histologi pada usus ikan. Panjang usus ikan dapat bervariasi sesuai dengan jenis makanan yang dikonsumsi. Pemakan herbivora atau pemakan tumbuhan biasanya memiliki usus yang lebih panjang. Ini disebabkan karena pemecahan selulosa dan serat tumbuhan membutuhkan waktu lebih lama untuk dicerna dan diserap nutrisinya. Sebagai contoh, ikan herbivora seperti ikan *parrotfish* memiliki usus yang relatif panjang. Pemakan karnivora atau predator cenderung memiliki usus yang lebih pendek tetapi lebih besar, yang memungkinkan mereka untuk mencerna dan menyerap nutrisi dari protein hewani dengan lebih efisien. Sebagai contoh, ikan predator seperti hiu atau ikan pedang memiliki usus yang lebih pendek tetapi lebih besar (Mutmainnah *et.al.*, 2024)



# Bab 5

## TINGKAH LAKU REPRODUKSI IKAN

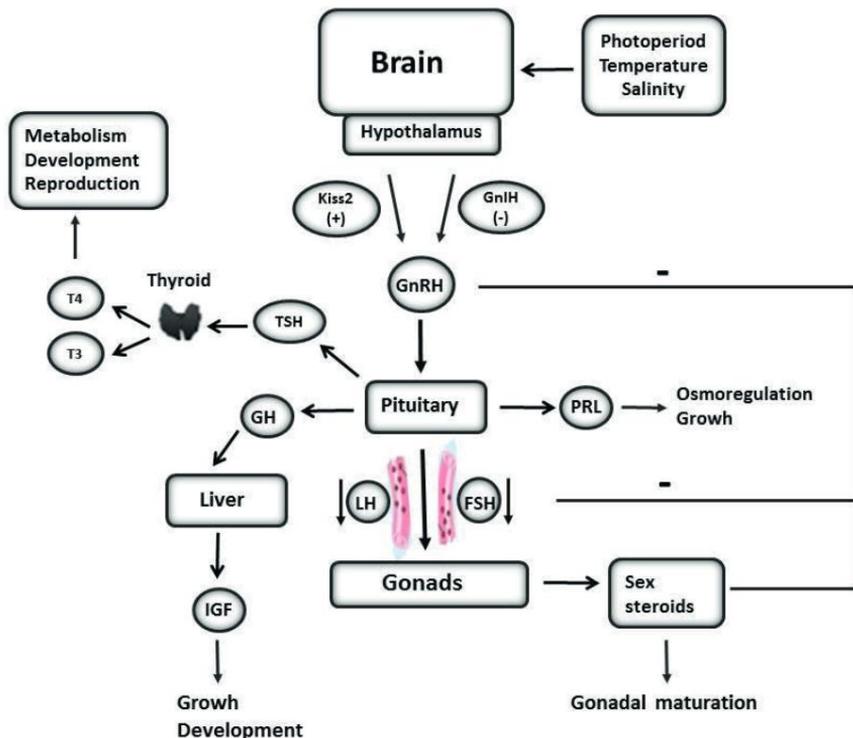
### 5.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Tingkah Laku Reproduksi Ikan

Berbagai perilaku dan teknik reproduksi yang ditunjukkan ikan dipengaruhi oleh pengaruh lingkungan, genetik dan hormonal. Perilaku ini yang sangat bervariasi antar spesies dan keadaan ekologis dan sangat penting bagi kelangsungan hidup dan kemampuan bereproduksi spesies ikan. Beberapa faktor yang mempengaruhi tingkah laku reproduksi ikan yaitu;

#### 1. Regulasi Hormonal

Reproduksi ikan merupakan proses kompleks yang melibatkan faktor lingkungan, sosial, neurologi, endokrin dan metabolisme. Hormon memiliki peran dalam mengatur reproduksi (Biran & Levavi-Sivan, 2018; Ma *et al.*, 2020). Sumbu HPG (*Hypothalamic-Pituitary-Gonads*) menentukan mekanisme yang berperan dalam proses reproduksi (Hatef & Unniappan, 2019; Levavi-Sivan *et al.*, 2010) pada (**Gambar 5.1**).





**Gambar 5.1** Mekanisme proses reproduksi ikan. *Gonadotropin-Releasing Hormone (GnRH); Follicle-stimulating hormone (FSH); Luteinizing hormone (LH); Prolactin (PRL); Growth hormone (GH); Kisspeptin (Kiss2); Gonadotropin inhibitory hormone (GnIH); Growth factors (IGF); Thyroid-stimulating hormone (TSH); Triiodothyronine (T3); Tetraiodothyronine (T4)* (Sumber: Gabilondo *et al.*, 2021)

Bagian saraf di otak terutama hipotalamus memproduksi hormon dan neuropeptida. Melalui efeknya terhadap hormon pelepas gonadotropin (GnRH), hormon ini dapat secara langsung atau tidak langsung membatasi dan meningkatkan pelepasan gonadotropin (GtH) ke dalam aliran darah (Biran & Levavi-Sivan, 2018; Weltzien *et al.*, 2004). Produksi hormon pelepas gonadotropin (GnRH) dan aktivasi reseptor GtH di gonad terjadi secara bersamaan selama proses kematangan awal seksual pada ikan (Cueto, 2016; Jalabert, 2005; Okuzawa, 2002; Taranger *et al.*, 2010).

**Gambar 5.1** menunjukkan LH dan FSH dilepaskan oleh populasi sel gonadotropik hipofisis yang dipengaruhi oleh sekresi GnRH.



Selanjutnya, kelenjar pituitari memproduksi, menyimpan dan melepaskan GH, TSH dan PRL itu dianggap sebagai transduser yang mengontrol proses endokrin seperti; pertumbuhan, metabolisme, osmoregulasi dan reproduksi melalui sekresinya. Faktor pertumbuhan dan hormon seks, efektor perkembangan gonad dan pembentukan sel germinal semuanya dirangsang oleh aktivasi reseptor (Biran & Levavi-Sivan, 2018; Mylonas *et al.*, 2010; Schulz *et al.*, 2010). Berbagai hormon termasuk LH, FSH, GH, PRL dan TSH dilepaskan pada tingkat kelenjar pituitari; hormon-hormon ini mempengaruhi osmoregulasi ikan, pertumbuhan, sintesis steroid gonad, awal pubertas dan perilaku reproduksi (Aizen *et al.*, 2007; Mancera & Cormick, 2007; Mylonas *et al.*, 2010; Riley *et al.*, 2002; Weltzien *et al.*, 2004). Selain itu sejumlah neuropeptida hipotalamus dan variabel neuroendokrin yang mengontrol makanan, perilaku dan energi keseimbangan telah ditemukan. Sepanjang tahap reproduksi, proses fisiologis dan metabolisme menjamin kelangsungan hidup dan pertumbuhan (Hatef & Unniappan, 2019).

Neuropeptida ini terdiri dari; dopamin, neuropeptida-Y (NPY), asam gamma-aminobutyric (GABA), neurokinin B (NKB), polipeptida pengaktif adenilat siklase hipofisis (PACAP), somatostatin (SS), hormon pelepas tirotropin (TRH), hormon pelepas GH (GHRH), dan hormon penghambat gonadotropin (GnIH) (Albaa *et al.*, 2019; London & Volkoff, 2019; Muñoz-Cueto *et al.*, 2020). Pengatur sintesis dan pelepasan GnRH dan Kisspeptin (Kiss) juga termasuk dalam kelompok neuropeptida ini (Chang *et al.*, 2012; Pinilla *et al.*, 2012; Parhar *et al.*, 2019). Phoenixin (PNX) adalah jenis neuropeptida lain yang sangat unik memiliki peran untuk mengontrol fungsi fisiologis seperti diferensiasi sel, proliferasi dan asupan makanan (Rajeswari *et al.*, 2020; Schalla & Stengel, 2018). Selain itu karena mengatur ekspresi gen di hipofisis dan otak, PNX terbukti berdampak pada fungsi reproduksi (Wang *et al.*, 2019). Sistem neurologis pusat dan perifer memiliki kadar phoenixin yang tinggi, yang mungkin menunjukkan bahwa peptida berfungsi sebagai molekul pemberi sinyal yang diarahkan ke banyak organ target (Prinz *et al.*, 2017; Yuan *et al.*, 2017).

Variabel otak ini umumnya mengontrol sistem fisiologis lain dan berperan dalam sekresi hormon hipofisis, meskipun variabel tersebut mempunyai dampak signifikan terhadap reproduksi (Aizen *et al.*, 2007;

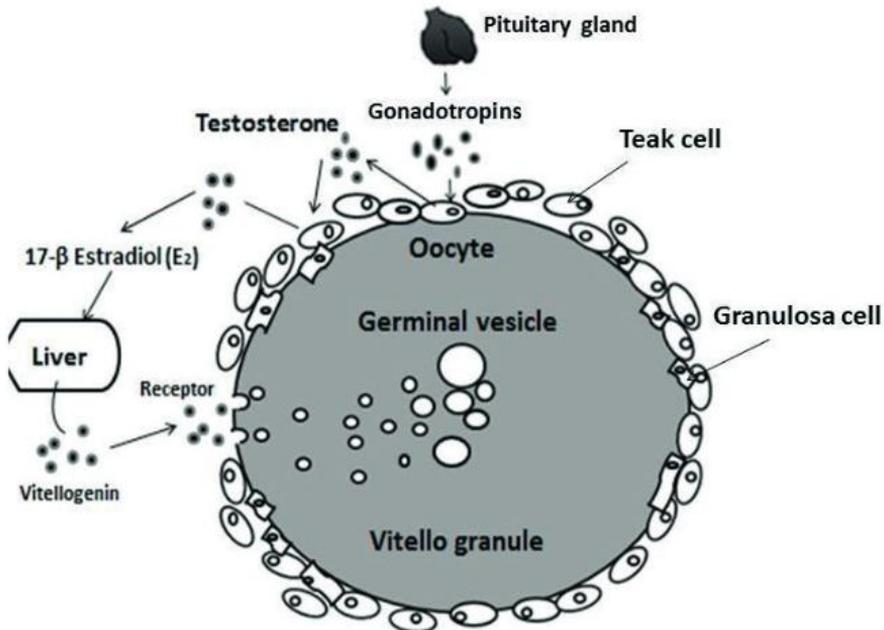


Muñoz-Cueto *et al.*, 2020; Mylonas *et al.*, 2010; Yaron *et al.*, 2003). Banyak faktor yang mempengaruhi sejumlah kecil sel target di setiap tingkat sepanjang sumbu HPG. Dampak keseluruhan dari mediator ini pada elemen transduksi sinyal intraseluler merupakan respons seluler tertinggi (Kim *et al.*, 2011). Steroid seks (androgen dan estrogen), disekresikan oleh kelenjar gonad yang matang dan memiliki efek menekan produksi hormon hipofisis dan hipotalamus. Keseimbangan sistem reproduksi dipertahankan melalui mekanisme loop tertutup ini (Mylonas *et al.*, 2010). Secara umum, LH memiliki fungsi mempercepat maturasi dan FSH memiliki fungsi meningkatkan vitellogenin berdasarkan perannya dalam siklus reproduksi (Falcone, 2013; Luckenbach *et al.*, 2008; Tomaso *et al.*, 2015; Zanuy *et al.*, 2009).

Vitellogenesis adalah salah satu langkah terpenting untuk pematangan oosit. Peran utamanya termasuk menyerap lipoprotein densitas sangat rendah dan mengemas serta menyerap vitellogenin (Vtg) (Babin *et al.*, 2007; Nagahama *et al.*, 1994). Vtg unik pada betina dewasa dan diproduksi di hati (Devlin & Nagahama, 2002). Hal ini secara spesifik diasingkan oleh folikel ovarium yang sedang berkembang melalui reseptor tertentu (VtgRs) yang menghasilkan pembentukan vesikel berlapis Vtg (Hiramatsu *et al.*, 2006). Badan multivesikular (MVB) terbentuk ketika vesikel bergabung dengan lisosom. Gonadotropin meningkatkan produksi testosteron (T) oleh sel teka selama vitellogenesis dan sel granulosa folikel ovarium kemudian mengaromatisasinya menjadi estradiol-17 $\beta$  (E2). Kadar E2 plasma meningkat sebagai respons terhadap rangsangan ini, yang pada gilirannya menyebabkan hati memproduksi lebih banyak Vtg (Tomaso, 2015). VtgR mengenali hal ini dan oosit menggabungkannya melalui mikropinositosis (**Gambar 5.2**) (Schulz *et al.*, 2010; Zohar & Mylonas, 2001). Kadar E2 turun seiring dengan meningkatnya kadar LH plasma pada akhir vitellogenesis. Hal ini menyebabkan peningkatan singkat kadar T dan steroid penginduksi maturasi (MIS) dalam plasma yang memicu maturasi akhir oosit1 dengan bertindak pada tingkat lapisan folikular. Soranganba & Singh (2019) menguraikan ovulasi adalah proses pelepasan oosit setelah pecahnya folikel. Sel-sel folikel berubah secara morfologis selama ovulasi yang menyebabkan keluarnya progesteron (P) dan E2 (Stocco *et al.*, 2007).



Secara umum, vitellogenesis dan pematangan akhir oosit merupakan proses penting dalam fisiologi reproduksi ikan betina.



**Gambar 5.2** Proses vitelogenin ikan betina diatur oleh hormon  
(Sumber: Gabilondo *et al.*, 2021)

## 2. Strategi Genetik dan Perilaku

Ikan menunjukkan berbagai strategi reproduksi dan sistem perkawinan genetik, termasuk cuckoldry, pembajakan sarang, perkawinan ganda dan parasitisme induk. Perilaku ini dipengaruhi oleh faktor ekologi dan evolusi dan sering kali diukur menggunakan penanda genetik (Avisé *et al.*, 2002). Karena kebiasaan reproduksi yang bervariasi, spesies ikan berguna untuk menguji teori tentang sistem perkawinan genetik dan strategi reproduksi. Pola perkawinan ganda oleh kedua jenis kelamin, cuckoldry yang sering dan jarang dilakukan oleh induk jantan dan betina pada spesies yang memelihara sarang, mimikri telur oleh jantan yang merawat sarang, parasitisme induk oleh jantan pembantu dalam peternak kooperatif, percampuran kopleng pada induk oral, kekerabatan pada benih yang bersekolah. pemijahan yang tersebar, penyimpanan sperma oleh bendungan pada spesies betina yang hamil,

pembalikan peran jenis kelamin, poliandri, dan seleksi seksual yang kuat pada betina di beberapa spesies. Spesies jantan hamil merupakan salah satu fenomena perilaku yang dapat diukur dengan penanda genetik pada berbagai spesies. Pada ikan, kanibalisme anak, ukuran populasi lokal dan mutasi berkelompok merupakan fenomena tambahan yang diperiksa melalui penyelidikan asal usul genetik. Setiap hasil diperiksa berdasarkan teori evolusi dan perilaku yang relevan.

### **3. Pengaruh Lingkungan dan Sirkadian**

Agar semua spesies hewan dapat bertahan hidup dan bereproduksi, ritme perilaku sehari-hari dan sinkronisasi mereka dalam situasi sosial yang bersangkutan sangatlah penting. Contoh ikan tahunan di Amerika Selatan hidup beradaptasi atau cocok untuk kondisi lingkungan yang ekstrim dengan kondisi lingkungan perairan yang mengering seiring berjalannya waktu saat aktivitas reproduksi dilakukan mulai dari pematangan gonad sampai mati, spesies-spesies ini adalah model yang bagus untuk diteliti bagaimana ritme biologis terwujud di alam karena siklus lingkungan yang terus berubah yang mereka alami (Olivera *et al.*, 2024). Menurut Olivera *et al.* (2024) dalam penelitian yang dilakukan untuk pertama kalinya bahwa ikan tahunan Uruguay (*Garcialebias reicherti*) menunjukkan ritme harian baik dalam aktivitas lokomotor maupun reproduksinya. Spesies ini menunjukkan pola perilaku diurnal dengan hubungan fase antara siklus terang/gelap dan aktivitas yang tidak terpengaruh oleh jenis kelamin atau lingkungan reproduksi. Meskipun demikian lingkungan reproduksi menambah ritme perilaku kedua ikan ini pada peristiwa reproduksi, mengatur tingkat aktivitas lokomotor dan menyebabkan sinkronisasi antar anggota. Konteks reproduksi menjadi modulator utama perilaku ritmis, menyebabkan ritme sirkadian disinkronkan dengan zeitgeber lingkungan dan menjelaskan hubungan kompleks antara perilaku dan fisiologi.

Osilasi jam sirkadian endogen menyebabkan siklus harian dalam fisiologi dan perilaku makhluk hidup. Siklus terang/gelap adalah zeitgeber (isyarat lingkungan yang mempengaruhi ritme sirkadian makhluk hidup termasuk ikan) dan siklus lingkungan yang paling umum kemudian disinkronkan dengan jam-jam tersebut (Ashton *et al.*, 2022). Alokasi energi yang lebih baik, prediksi perubahan lingkungan dan koordinasi kegiatan sosial semuanya dimungkinkan melalui sinkronisasi.



Oleh karena itu menurut (Nikhil & Sharma, 2017) ritme biologis dapat meningkatkan kebugaran dengan mengoordinasikan proses metabolisme (nilai adaptif intrinsik) dan mengoordinasikan perilaku dan fisiologi dengan siklus lingkungan (nilai adaptif ekstrinsik). Sebagai hasil yang mencerminkan sinkronisasi keadaan fisiologis dan perilaku, aktivitas lokomotor berfungsi sebagai referensi standar untuk mengevaluasi ritme sirkadian di berbagai spesies (Starnes & Jones, 2023). Menurut waktu dalam sehari (fase siklus terang/gelap) saat spesies memusatkan persentase terbesar pergerakan hariannya, hewan dikategorikan sebagai hewan nokturnal, diurnal atau krepuskular (Schulz & Leuchtenberger, 2006). Namun perbedaan terkait siklus musiman (Tomotani *et al.*, 2012), ontogeni (Krylov *et al.*, 2021) atau variasi individu dalam satu spesies (Phillips *et al.*, 2019) semuanya dapat menyanggah klasifikasi ini. Selain itu siklus yang diketahui dapat berubah akibat kondisi lingkungan yang tidak terduga (Amichai & Kronfeld-Schor, 2019).

Menurut Gascue *et al.* (2020), kontak sosial juga berdampak pada pola aktivitas sehari-hari, menekankan pentingnya elemen kontekstual dalam analisis perilaku. Keberadaan individu sejenis dapat mengubah nilai mereka karena kelangsungan hidup bergantung pada penguasaan relung temporal dan geografis yang efektif (Mildner & Roches, 2017). Selain itu pola kebiasaan nokturnal atau diurnal pada teleost diubah oleh pembentukan kelompok. Untuk mempengaruhi keberhasilan reproduksi selama musim reproduksi, sinkronisasi fisiologis dan perilaku sangat penting (Rad *et al.*, 2006). Sinkronisasi sosial dapat berubah ketika hewan mengalami perubahan hormonal yang dapat mempengaruhi ritme sirkadian dengan memodifikasi sensitivitas mereka terhadap rangsangan sosial (Campos-Mendoza *et al.*, 2004).

#### **4. Konteks Evolusi dan Ekologi**

Sebagai hasil persaingan untuk meningkatkan keberhasilan reproduksi, ikan salmon Atlantik (*Salmo salar*, Salmonidae) menunjukkan beragam riwayat hidup, perilaku dan adaptasi fisik untuk reproduksi. Seleksi alam sebagian besar telah mengembangkan kualitas reproduksi betina untuk menghasilkan dan menjaga kelangsungan hidup anaknya, sedangkan seleksi seksual telah membentuk sifat reproduksi jantan untuk melakukan pemijahan. Dibandingkan dengan jantan, ikan salmon Atlantik betina menghabiskan energi sekitar 6 kali



lebih banyak untuk meningkatkan pertumbuhan dan pematangan gonad, sampai menghasilkan telur dan harus melakukan pertukaran penting antara kuantitas dan ukuran telur yang dihasilkan untuk mengoptimalkan jumlah benih yang bertahan hidup. Konstruksi sarang dan waktu memijah tampaknya disesuaikan untuk meningkatkan kelangsungan hidup keturunannya. Ukuran tubuh (berat dan panjang tubuh) betina adalah faktor paling penting dan sangat signifikan mempengaruhi keberhasilan reproduksi (Fleming, 1996).

Rasio jenis kelamin operasional yang bias terhadap jantan disebabkan oleh pemijahan betina yang tidak sinkron dan kemampuan pejantan untuk memijah dengan cepat dan sering, sehingga meningkatkan persaingan pejantan untuk mendapatkan pasangan. Perkembangan ciri-ciri seksual sekunder jantan yang kompleks terkait dengan perkawinan dan pemberian status mungkin disebabkan oleh hal ini. Selain itu, dua fenotipe perkembangbiakan pejantan yang berbeda telah muncul sebagai hasil seleksi yang bergantung pada frekuensi: (1) pejantan besar dan anadromous dan (2) parr jantan kecil dan dewasa. Di tempat pemijahan, pejantan anadromous terlibat dalam banyak aktivitas perilaku, merayu dan memperebutkan pasangan, dan ukuran tubuh merupakan faktor kunci dalam menentukan seberapa baik mereka memijah. Karena jantan anadromous memiliki tingkat kelangsungan hidup yang jauh lebih rendah dibandingkan betina, aktivitas perilaku ini memerlukan biaya yang tinggi. Sebaliknya, parr jantan dewasa mencoba "menyelinap" untuk kawin dan memberi lebih banyak secara proporsional pada testisnya untuk persaingan sperma. Parr jantan lebih mungkin bereproduksi lagi dibandingkan jantan anadromous, baik sebelum atau sesudah migrasi laut, meskipun perilaku ini juga berdampak pada pertumbuhan dan kelangsungan hidup di waktu yang akan datang (Fleming, 1996).

## 5.2 Ritual dan Mekanisme Pemilihan Pasangan

Ikan menggunakan berbagai metode dan teknik dalam pemilihan pasangan, yang dipengaruhi oleh variabel-variabel seperti genetik dan lingkungan. Informasi penting mengenai seleksi seksual dan taktik reproduksi yang dilakukan oleh spesies ikan yang berbeda dapat diperoleh dari penelitian tentang pilihan pasangan. Rumitnya pemilihan



pasangan dan konsekuensinya terhadap pemuliaan dan konservasi ikan memerlukan riset-riset lebih lanjut. Secara umum seleksi lebih mengutamakan pilihan pasangan betina dan persaingan antar jantan untuk menarik perhatian betina. Namun, seleksi juga harus mendukung pilihan pasangan jantan jika kualitas betina berbeda dan jumlah betina yang dapat dikawinkan terbatas pada jantan, contoh pada dua spesies ikan dengan sistem perkawinan yang berbeda ikan salmon coho yang diasuh oleh induk betina dan ikan threespine stickleback yang diasuh oleh induk jantan. Upaya kawin jantan berkorelasi langsung dengan kualitas betina pada kedua spesies.

### **1. Pemilihan Pasangan Jantan**

Pilihan pasangan sangat penting dalam seleksi seksual. Perkembangan kualitas yang menarik seperti pacaran, diyakini didorong oleh pilihan pasangan, yang juga dapat menimbulkan persaingan untuk mendapatkan pasangan lawan jenis (Schlupp, 2018). Menurut Lehtonen *et al.* (2016), sudah diketahui bahwa jenis kelamin menjadi kunci penilaian lebih besar untuk menghasilkan keturunan akan menjadi lebih selektif. Pada sebagian besar spesies, betina mengeluarkan banyak kekuatan dan energi untuk bertelur sedangkan jantan hanya mengeluarkan sedikit sperma. Seleksi seksual dan mekanisme Darwin biasanya, betina memilih pasangan dan jantan bersaing untuk mendapatkan peluang reproduksi. Namun, pola ini tidak terlalu tepat pada sebagian besar spesies dan satu pertanyaan yang muncul dari pemilihan jantan yaitu apakah hal ini dapat menyebabkan berkembangnya pemilihan jantan (Edward & Chapman 2011). Keseimbangan antara membatasi kelamin dan membatasi seks dapat dibalikkan oleh stokastisitas lingkungan selain penilai jantan. Misalnya ketika stok ikan jantan menjadi sangat terbatas di lingkungan atau populasi (Heubel *et al.*, 2009), hal ini dapat meningkatkan tingkat pemilihan jantan. Jantan harus memutuskan apakah akan merayu betina dalam kelompok campuran yang mungkin berbeda dalam hal penerimaan, risiko persaingan sperma dan ukuran tubuh (tanda kesuburan). Dalam siklus bulanan separuh betina menyimpan sperma dan memijah (Greven, 2010). Untuk memaksimalkan keberhasilan perkawinan penggunaan sperma yang disimpan dan atau keberhasilan pembuahan, pejantan dapat mengambil manfaat dengan memfokuskan



tindakan merayu betina sepanjang siklus induk ketika mereka lebih responsif (Schlupp, 2018).

## 2. Lingkungan Penangkaran

Dampak seleksi seksual pada generasi berikutnya dapat dipengaruhi melalui penangkaran. Pembenihan ikan adalah salah satu tempat di mana hal ini penting dilakukan. Proses pemijahan sengaja diatur dibanyak tempat pembenihan ikan salmon dan anaknya dibesarkan di penangkaran sebelum dilepaskan ke alam liar. Meskipun ada penelitian telah menunjukkan bahwa ikan hasil pembenihan dan ikan asal alami mungkin memilih pasangan secara berbeda, masih belum diketahui bagaimana ikan pembenihan mungkin berbeda secara genetik dari ikan yang berasal dari alam dalam hal ini. Auld *et al.* (2021) menemukan polimorfisme nukleotida tunggal (SNP) terkait dengan varian pasangan-pasangan dari lingkungan alami termasuk salmon coho (*Oncorhynchus kisutch*) dari tempat pembenihan dan di alam menggunakan genotipe demi pengurutan. Kami menemukan bahwa terdapat lebih banyak SNP dengan keragaman negatif dibandingkan dengan keragaman positif pada pasangan pembenihan dan pasangan asal alami. Namun terdapat perbedaan dalam signal pemijahan antara salmon liar dan salmon yang dipelihara di hatchery, karena hanya 3% dari SNP jenis negatif dan 1% dari SNP jenis positif yang dimiliki oleh kedua kelompok pemijahan. Hasil-hasil ini memberikan wawasan mengenai pemilihan pasangan secara umum dan dapat mempunyai dampak yang signifikan terhadap pengelolaan konservasi spesies dan peningkatan situasi penangkaran lainnya. Dari hasil ini kita dapat mengeksplorasi bagaimana perkembangan genomik populasi saat ini dapat digunakan untuk menciptakan teknik pembenihan baru yang dapat meningkatkan kinerja keturunan pembenihan dan mengurangi kesenjangan serta dampak yang diakibatkannya terhadap stok liar. Pemahaman dan pengurangan risiko terhadap populasi ikan liar sangat bergantung pada perilaku ikan, yang bisa mendukung strategi pengelolaan seperti kawasan lindung dan perencanaan tata ruang (Cooke *et al.*, 2022).

### 5.3 Perilaku Kawin dan Strategi Reproduksi

Salah satu aspek terpenting dari siklus hidup hewan yang terjadi selama reproduksi seksual adalah perilaku seksual. Kedua jenis kelamin



terlibat dalam tindakan unik untuk melepaskan dan memadukan gamet mereka ketika gametogenesis selesai, yang pada akhirnya menghasilkan keturunan. Mirip dengan vertebrata lainnya, ikan teleost terlibat dalam serangkaian aktivitas selama pelepasan gamet yang mencakup berbagai tindakan berbeda. Berbagai sebutan, antara lain merayu, mengejar, menggenggam, kawin, pemijahan, pelepasan telur, pelepasan sperma, oviposisi, ejakulasi, dan lain-lain, digunakan untuk menggambarkan tindakan dan perilaku tersebut berdasarkan pola gerakannya. Perilaku ini secara kolektif disebut sebagai "perilaku seks", "perilaku seksual", atau "perilaku reproduksi". Teleost yang gametnya dibuahi di lingkungan luar sering disebut terlibat dalam "perilaku pemijahan".

### **1. Monogami dan Perawatan Biparental**

Karena kedua jenis kelamin memberikan pengasuhan yang diperlukan pada spesies ikan biparental, monogami genetik jarang terjadi, sehingga pemilihan pasangan menjadi menarik (Schaedelin *et al.*, 2015). Kebugaran pada semua hewan yang bereproduksi secara seksual dipengaruhi oleh pilihan pasangan. Seleksi seksual dengan intensitas berbeda dihasilkan dari perbedaan individu dalam keberhasilan perkawinan memberikan kerangka teoritis untuk meneliti hubungan antara hubungan induk dan pilihan pasangan. Seleksi seksual sangat berpengaruh pada hewan yang pejantannya tidak peduli terhadap induknya karena keberhasilan perkawinan pejantan sangat tidak merata, seperti pada burung lek di mana hanya satu atau beberapa pejantan yang kawin dengan beberapa betina. Sebaliknya, pada hewan yang secara genetis monogami, di mana pejantan berpasangan dengan seekor betina dan biasanya memberikan pengasuhan yang penting sehingga seleksi seksual lebih sedikit. Gaya pengasuhan jantan monogami mendukung perilaku selektif baik pada jantan maupun betina (Jones Hunter 1993). Perkawinan assortatif berdasarkan kriteria kualitas individu tertentu biasanya merupakan hasil dari saling memilih pasangan untuk mendapatkan pasangan dengan kualitas lebih tinggi, yang sering kali disertai dengan persaingan intraseksual (Harari *et al.*, 1999). Karena hanya satu betina yang dapat kawin dengan jantan yang paling kuat dalam suatu populasi, monogami membatasi pilihan yang tersedia bagi betina (Gowaty & Bridges, 1991). Ketidakmampuan pejantan untuk membuahi banyak betina karena monogami juga mengakibatkan taktik



perkawinan campuran, di mana jantan mencoba membuahi pasangan pejantan lain yang kemudian membesarkan anak-anak yang tidak berkerabat.

Dampak kehilangan jantan maupun keuntungan kebugaran dari membuahi banyak betina terlihat jelas dari jantan biparental. Ini akan mengakibatkan strategi jaminan paternitas telah lama menarik perhatian, khususnya penjagaan pasangan (*mate guarding*), yang mana pejantan memantau secara ketat pasangan suburnya untuk mencegah perkawinan ekstrapasangan. Perkawinan ekstrapasangan mungkin juga dibatasi oleh risiko yang lebih tinggi terhadap desersi induk dalam situasi dimana jantan kurang dikonfirmasi (Gowaty 1996). Sebagai alternatif, perkembangbiakan asinkron dapat membatasi pembuahan ekstrapasangan (EPF) dengan mencegah kemungkinan pasangan ekstrapasangan di dekatnya (Stutchbury & Morton, 1995). Sebaliknya, setelah kawin dengan beberapa pejantan, betina biasanya tidak menghasilkan benih lagi. Akibatnya diyakini secara luas bahwa betina yang bertelur di dekat jantan sneaker tidak berusaha mendapatkan EPF. Reichard *et al.* (2007) menunjukkan bahwa betina dari setidaknya tiga spesies ikan berbeda yang melakukan pembuahan secara eksternal pada kenyataannya lebih memilih untuk kawin ketika ada pejantan sneaker di sekitar mereka. Untuk mencegah perkawinan sedarah (Blomqvist *et al.*, 2002) atau meningkatkan variabilitas genetik pada keturunannya (Olsson *et al.* 2003; Thuman & Griffith 2005), betina dapat menerima manfaat genetik dari EPF, seperti “gen baik” dari pejantan. Kualitas yang lebih tinggi dibandingkan pasangan sosialnya (Hunter *et al.*, 1993), atau dengan memperoleh pembuahan dari pejantan ekstrapasangan yang secara genetik lebih berbeda dari mereka dibandingkan pasangannya. Menurut Mank *et al.* (2005), pengasuhan biparental adalah jenis pengasuhan orang tua yang paling jarang ditemukan pada ikan, hanya beberapa penelitian mengenai asal usul spesies yang telah dipublikasikan (Coleman & Jones 2011; Takahashi *et al.*, 2012; Langen *et al.*, 2013) dengan mengamati EPF.

## **2. Pemijahan Berpasangan dengan Rotasi Jantan**

Untuk meningkatkan jumlah benih dari pasangan yang terpilih, program pemuliaan selektif menggunakan taktik ini. Penyuntikkan hormon perangsang digunakan untuk mendorong reproduksi ikan dan merotasi ikan jantan untuk menghasilkan banyak keturunan (Duncan *et*



*al.*, 2018). Telah dilakukan untuk mendukung program pemijahan selektif, injeksi agonis hormon pelepas gonadotropin (GnRH $\alpha$ ) digunakan untuk menginduksi pemijahan pada pasangan jantan dan betina (*Argyrosomus regius*) dengan rotasi mingguan jantan untuk menghasilkan benih dalam jumlah yang banyak. Dari 859 ton pada tahun 2004 menjadi 11.770 ton pada tahun 2014, produksi akuakultur ikan (*A. regius*, Sciaenidae) telah meningkat secara signifikan selama 10 tahun terakhir. Karena ikan sangat sedikit mengalami pematangan gonad secara alami, ovulasi dan pemijahan di wadah budidaya, peningkatan ini sebagian besar disebabkan oleh program metode induksi pemijahan yang efektif (Mylonas *et al.*, 2016). Induksi maturasi dan pemijahan berulang pada betina telah terbukti berhasil dengan penyuntikkan dan sistem pengiriman pelepasan terkontrol yang melepaskan agonis hormon pelepas gonadotropin (GnRH $\alpha$ ) untuk durasi yang lebih lama (Duncan *et al.*, 2013). Penyuntikkan GnRH $\alpha$  menghasilkan hasil pemijahan yang lebih konsisten dan kontrol produksi telur yang lebih baik dibandingkan implan GnRH $\alpha$ , berdasarkan perbedaan kinetika pemijahan dan karakteristik produksi. Metode ini menawarkan keuntungan yang signifikan dalam mengendalikan reproduksi produksi akuakultur secara komersial dan berkelanjutan (Mylonas *et al.*, 2015, Mylonas *et al.*, 2016).

### **3. Pemilihan Pasangan Ekstra Pasangan (EPF)**

Pada ikan kardinal *Sphaeramia nematoptera* yang monogami, perkawinan ekstra-pasangan memungkinkan kedua jenis kelamin meningkatkan keberhasilan reproduksi seumur hidup dengan memanfaatkan peluang untuk berinteraksi dengan individu dari luar (Rueger *et al.*, 2019). Dibandingkan dengan ikan laut lainnya, monogami sosial lebih umum terjadi pada ikan terumbu karang (Whiteman & Côté 2004). Karakteristik ini ditemukan pada 14 famili ikan terumbu karang yang paling banyak ditemui dan sebagian besar spesies ini berukuran kecil dan terkait erat dengan lingkungan karang. Ketika jantan dan betina membentuk pasangan abadi, perkawinan tampaknya bersifat monogami di banyak sistem ini, dan tidak ada perkawinan pasangan ekstra yang terlihat. Namun demikian, masih jarang dilakukan studi molekuler pada induk spesies ikan karang yang monogami secara sosial untuk memverifikasi monogami genetik atau mengungkap perkawinan ekstra-



pasangan. Jika seekor jantan atau betina menghasilkan anakan di luar pasangan yang dikawinkan, hal ini disebut perkawinan ekstra-pasangan.

Peluang ikan monogami untuk kawin ekstra-pasangan mungkin dipengaruhi oleh cara induknya memberikan pengasuhan. Pengasuhan dari jantan sering kali ditunjukkan oleh ikan monogami, seperti ikan pipa dan kuda laut yang mengeram, membawa embrio yang sedang tumbuh di tubuhnya atau melindunginya di substrat. Pengeluaran energi dapat membatasi kemampuan pejantan untuk mengasingkan beberapa pasangan pada spesies yang melakukan pengasuhan dari jantan, sehingga meningkatkan keuntungan mendapatkan pasangan tunggal yang berkualitas tinggi (Whiteman & Côté 2004). Pada ikan yang melakukan pembuahan secara eksternal, dimana terdapat kemungkinan besar bahwa pejantan memiliki hubungan genetik dengan keturunan yang mereka pelihara, pengasuhan dari jantan dihipotesiskan berkaitan dengan kepercayaan kepada induk jantan.

Namun hal ini hanya akan relevan jika kecil kemungkinan pejantan lain telah membuahi sel telur yang dipelihara pejantan lain. Peluang untuk melakukan perkawinan ekstra-pasangan mungkin terbatas ketika jantan melakukan semua tanggung jawab pengasuhan induk. Betina lebih cenderung melakukan perkawinan ekstra-pasangan ketika mereka mampu menghasilkan lebih banyak telur daripada yang mampu dipelihara oleh satu jantan (Clutton-Brock, 2009). Ikan dengan sistem perkawinan yang beragam, seperti ikan nyamuk *Gambusia holbrooki*, cichlid *Pseudotropheus zebra* (Parker & Kornfield, 1996), *Protomelas spilopterus* (Kellogg *et al.* 1998) dan *Variabilichromis moorii* (Sefc *et al.* 2008) ditemukan memiliki banyak tetua jantan. Namun di terumbu karang yang secara sosial monogami dan bersifat paternalistik, proporsi perkawinan ganda antara jantan dan betina.

#### **5.4 Pola Perilaku Penjagaan Telur dan Anakan**

Telur dan anakan ikan perlu dilakukan berbagai perilaku penjagaan yang dipengaruhi oleh sejumlah variabel termasuk jenis kelamin, cara pembuahan dan keadaan lingkungan. Perubahan perilaku penjagaan sering kali disesuaikan dengan tahap perkembangan ikan muda dan faktor stres dari luar, sehingga menunjukkan adanya adaptasi



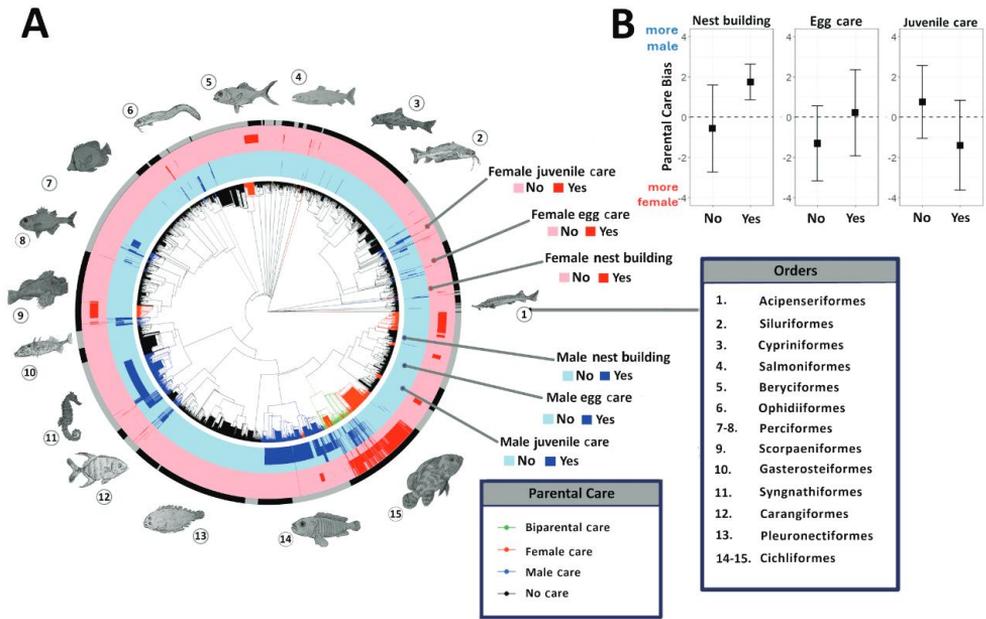
evolusioner yang kompleks untuk meningkatkan kelangsungan hidup keturunannya.

## 1. Pola Perilaku Penjagaan Telur

### ❖ Jenis Perawatan

Ikan menunjukkan banyak bentuk perawatan, seperti perawatan dari kedua induknya, induk betina saja atau induk jantan saja. Metode pembuahan seperti pembuahan internal atau eksternal mempengaruhi frekuensi transisi antara berbagai bentuk perawatan (Vági *et al.*, 2024). Vági *et al.* (2024) menambahkan ikan-ikan bersirip (contoh ikan pari) memperlihatkan keanekaragaman dalam melakukan pengasuhan induk dengan melakukan perawatan telur yang dilakukan pada kedua induk seperti membuat sarang dilakukan induk jantan dan merawat benih ikan dilakukan induk betina. Di antara hewan vertebrata, pengasuhan induk sangat bervariasi dengan perbedaan yang mencolok dalam kompleksitas, bentuk fungsional dan jenis kelamin pemberi pengasuhan (Furness & Capellini, 2019). Pengasuhan induk lebih umum terjadi pada garis keturunan yang bereproduksi di darat karena hal ini penting bagi kolonisasi vertebrata di habitat darat (Vági *et al.*, 2019). Contoh seperti burung, mamalia dan amfibi yang bereproduksi di darat semuanya menunjukkan perawatan (Gonzalez-Voyer *et al.*, 2022; Gomez-Mestre *et al.*, 2012). Karena induk-induk vertebrata di darat memberikan perlindungan pasif melalui cangkang tebal telur dan ketuban mereka kecuali reptil non-unggas. Ikan bersirip seperti ikan pari (*Actinopterygii*) menunjukkan pola pengasuhan yang paling bervariasi, meskipun pengasuhan induk jauh lebih jarang terjadi pada vertebrata akuatik (Vági *et al.*, 2019) yang merupakan garis keturunan paling spesifik (Balshine & Sloman, 2013).





**Gambar 5.3** Perkembangan metode pembuahan ikan pari dan kaitannya dengan bias dalam perawatan induk.

(A) Distribusi bias perawatan induk (diwakili oleh lingkaran warna bagian luar) dan evolusi (diwakili oleh warna cabang) dan distribusi saat ini (diwakili oleh lingkaran warna bagian dalam) modalitas pembuahan pada 7.289 spesies ikan. Menggunakan model "ARD", fungsi "make.simmap" dalam paket R "phytools" digunakan untuk memulihkan status karakter kuno. Fungsi "ghetmap" paket R "ggtree" digunakan untuk menggambarkan status karakter modern. M. G. Mándi menciptakan karya seni asli untuk gambar ikan.

(B) Rerata  $\pm$  SD derajat bias pengasuhan induk pada berbagai teknik pembuahan.

(Sumber: Vági *et al.*, 2024)

### ❖ Perawatan Induk Jantan

Perawatan yang dilakukan induk jantan dari spesies tertentu seperti bluegill, bertugas untuk merawat telur. Faktor-faktor seperti kadar hormon steroid dan paternitas induk jantan dapat mempengaruhi tingkat perawatan (Neff & Knapp, 2009). Satu-satunya pengasuhan anakan ikan oleh pejantan merupakan karakteristik yang dimiliki oleh banyak ikan teleost, termasuk ikan bluegill (*Lepomis macrochirus*). Selain itu, morfologi parasit jantan yang unik



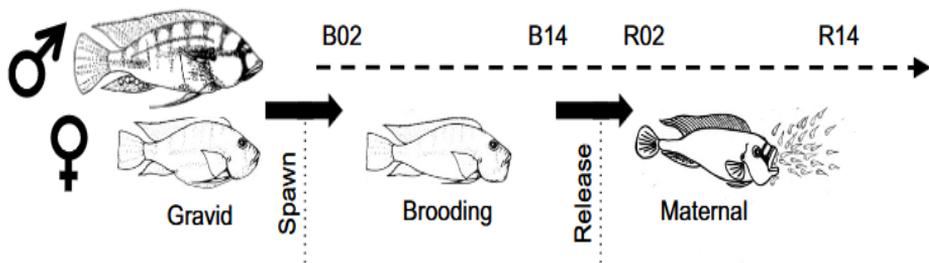
menyebabkan cuckoldry pada induk bluegill jantan. Sebelumnya dibuktikan bahwa sikap cuckoldry ini mempengaruhi bagaimana perilaku pengasuhan induk terwujud. Penelitian yang dilakukan untuk melihat hubungan antara sirkulasi hormon steroid, induk jantan dan perilaku induk selama tahap perawatan telur dan benih pada induk yang bertelur selama sepertiga pertama musim kawin untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang beberapa mekanisme proksimal yang mengendalikan perilaku induk jantan (Neff & Knapp, 2009). Induk jantan yang lebih tinggi memiliki kadar testosteron berkurang selama tahap perawatan telur, namun tidak ada korelasi antara induk jantan dan kadar kortisol atau 11-ketotestosteron. Kecuali korelasi negatif antara kortisol dan perilaku mematok, tidak ada korelasi antara hormon dan perilaku perawatan seperti mengipasi telur, membuat lubang di tepi sarang, mengejar induk predator atau mematok telur (tanda kanibalisme telur). Neff & Knapp (2009) juga menemukan bahwa induk jantan lebih tinggi memiliki jumlah 11-ketotestosteron dan testosteron yang lebih tinggi selama tahap perawatan benih. Perilaku defensif induk jantan di hadapan calon pemangsa induk (*Lepomis gibbosus*) juga berkorelasi negatif dengan konsentrasi kedua androgen tersebut.

#### ❖ Perawatan Induk Betina

Ikan betina dari spesies tertentu termasuk cichlid Afrika, memiliki kemampuan mengeram, yaitu dengan menahan telur dan anak ikan di dalam mulutnya selama beberapa minggu (Ray *et al.*, 2013). *Astatotilapia burtoni*, induk betina bertanggung jawab menjaga telur dan membesarkan benih di rongga bukal unik di mulut. Betina yang melakukan kebiasaan mengeram, yang dapat berlangsung selama dua hingga tiga minggu, mengalami perubahan metabolisme yang signifikan dan sengaja melakukan puasa. Setelah benih dilepaskan, betina kembali ke kebiasaan makannya yang biasa dan dengan cepat mendapatkan kembali massa otot tubuh saat mereka memulai kembali aktivitas reproduksinya. Faber-Hammond & Renn (2023) mengurutkan seluruh transkriptom otak betina pada empat titik berbeda selama siklus reproduksi mereka: 2 hari setelah permulaan mengeram, 14 hari setelah permulaan mengeram, 2 hari setelah pelepasan benih dan 14 hari pasca pelepasan benih. Hal ini



memungkinkan untuk melakukan pemeriksaan dasar molekuler dari perubahan perilaku dan metabolisme yang drastis. Banyak neuropeptida dan hormon, termasuk kandidat gen neurotensin yang kuat, diidentifikasi dengan analisis ekspresi diferensial dan pengelompokan profil ekspresi. Temuan ini menyiratkan bahwa meskipun terjadi evolusi de novo pada beberapa garis keturunan cichlid, mekanisme molekuler yang mendasari perilaku induk mungkin juga dimiliki oleh vertebrata. Selain itu, ditemukan bahwa beberapa jalur neuroprotektif diaktifkan, kemungkinan untuk mengurangi efek buruk dari depresi metabolik yang disebabkan oleh puasa, sementara jalur transportasi oksigen diturunkan regulasinya secara signifikan, terutama pada tahap fase mengeram. Temuan memberikan perspektif baru mengenai perkembangan perilaku induk dan mengidentifikasi gen potensial yang dapat berguna dalam menyelidiki gangguan pola makan dan iskemia hipoksia.



**Gambar 5.4** Mengeram telur oleh induk betina *Astatotilapia burtoni* Seluruh otak diambil dari betina 2 hari dimulai proses mengeram (B02), 14 hari setelah mengeram (B14), 2 hari setelah pelepasan benih (R02) dan 14 hari pasca pelepasan benih (R14).  
(Sumber: Faber-Hammond & Renn, 2023)

#### ❖ Pemijahan Nokturnal

Hewan tanpa orang tua harus menjamin kelangsungan hidup anak-anaknya dengan menyediakan lingkungan perkembangbiakan yang aman atau dengan menggunakan waktu yang cerdas. Salah satu contoh perilaku terakhir dalam dunia hewan adalah perilaku pemijahan pada malam hari pada banyak spesies ikan, yang dianggap memberikan keuntungan kelangsungan hidup pada telur yang dipijahkan pada malam hari. Kajian interaksi antara pemijahan reofilik

(asp *Leuciscus aspius*) dan pemangsa telurnya yang hanyut (*bleak Alburnus alburnus*) dengan memanfaatkan telemetri pasif dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas teknik smart timing pada ikan air tawar.

## 2. Pola Perilaku Penjagaan Anakkan

### ❖ Perubahan Perilaku

Seiring pertumbuhan benih, induk mungkin menunjukkan perilaku penjagaan yang berbeda. Seperti contoh tingkat pertahanan dan penjagaan pada ikan bass (*Micropterus dolomieu*) meningkat dari tahap telur ke tahap larva dan setelah benih mulai berenang (Ridgway, 1988). Dampak tahap perkembangan keturunan terhadap strategi pertahanan induk ikan bass jantan diteliti memberi hasil adanya tampilan gigitan dan rahang (tampilan ancaman) yang merupakan dua perilaku pertahanan yang ditimbulkan oleh model sejenis dengan panjang yang sama ( $\pm 1$  cm). Ketika keturunannya berkembang dari tahap telur ke tahap wiggler (embrio yang menetas), perilaku pertahanan induk meningkat hingga mencapai puncaknya tepat sebelum benih berenang keluar dari sarangnya. Setelah berenang, pertahanan induk akan menurun. Model riwayat hidup perawatan induk melalui siklus induk konsisten dengan pola pertahanan ini.

## 3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Perilaku Penjagaan

### ❖ Hormonal

Perilaku menjaga diri sendiri dapat dipengaruhi oleh hormon seperti prolaktin (Sakai *et al.*, 2023). Di alam, damsselfish jantan biasanya menunjukkan perawatan uniparental terhadap telurnya. Ada laporan baru tentang plastisitas perilaku seksual pada berbagai ikan teleost. Kami menyelidiki kemungkinan perawatan penjagaan telur pada ikan damsselfish betina, *Dascyllus reticulatus*, melalui studi akuarium untuk menyelidiki plastisitas perilaku dalam pengasuhan orang tua. Betina yang hidup bersama sering kali menunjukkan pemangsaan telur pada hari yang sama setelah pejantan dikeluarkan dari sarang kawin setelah perawatan awal. Di sisi lain, kami memverifikasi bahwa betina menunjukkan perilaku merawat telur dan frekuensi pemangsaan telur yang jauh lebih rendah pada hari berikutnya. Sampai telurnya menetas, setiap betina percobaan melindungi mereka. Bahkan setelah terlibat dalam perilaku



pengasuhan orang tua, betina terus bertelur sebagai betina, hal ini menunjukkan bahwa tidak ada kemajuan dalam perubahan jenis kelamin menjadi jantan. Prolaktin ditemukan sangat diekspresikan pada pria dan wanita yang memelihara telur, menurut analisis molekuler hormon kelenjar pituitari tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa prolaktin berperan dalam pengembangan perilaku pengasuhan orang tua. Pada spesies damselfish yang hidup dalam kelompok yang hidup bersama secara seksual, keberadaan kemampuan mengasuh yang samar-samar pada betina mungkin mewakili reaksi taktis terhadap perlunya penggantian sementara tanggung jawab pengasuhan dalam keadaan di mana pejantan yang mengasuh hilang, misalnya karena dimangsa.

#### ❖ **Kondisi Lingkungan**

Derajat dan jenis perawatan yang diberikan juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan termasuk ketersediaan makanan dan ancaman predator (Neff, 2003). Memangsa anak sendiri atau kanibalisme anak adalah hal yang umum terjadi pada ikan dan menimbulkan ancaman terhadap evolusi pengasuhan indukkan. Perilaku pengasuhan induk mungkin dipengaruhi oleh ancaman predator dari generasi ke generasi. Contoh perilaku perawatan ikan stickleback pada generasi berikutnya dapat diubah dengan adanya paparan predator pada generasi sebelumnya, misalnya frekuensi mengipasi telur mungkin berubah (Hellmann *et al.*, 2024). Ancaman predator pada cichlid meningkatkan perilaku pertahanan induk dan mendorong pengembangan kompetensi antipredator pada keturunannya, ikan cichlid memilih predator target yang mereka yakini lebih berbahaya, terkadang dengan mengorbankan bahaya yang tidak terlalu serius (Wisenden, 2020).

Jumlah dan kualitas perawatan yang diberikan sangat dipengaruhi oleh kondisi nutrisi induk ikan. Dibandingkan dengan cichlid betina yang diberi nutrisi baik, cichlid betina yang tidak diberi makan akan menghasilkan keturunan yang lebih kecil dan menunjukkan perilaku perawatan yang lebih sedikit (Segers *et al.*, 2011). Indukkan yang pola makannya baik akan lebih mampu melindungi benih dari predator, hal ini menunjukkan bahwa perilaku grooming dipengaruhi oleh paparan predator dan kondisi nutrisi.



# Bab 6

## TINGKAH LAKU INTERAKSI ANTAR IKAN

### 6.1 Pendahuluan

Perilaku ikan dalam konteks biologi dan ekologi merujuk pada serangkaian tindakan atau respons yang dilakukan oleh ikan sebagai hasil dari interaksi dengan lingkungan internal dan eksternalnya. Perilaku ini mencakup berbagai aspek seperti pola makan, migrasi, reproduksi, dan interaksi sosial. Secara biologis, perilaku ikan dipengaruhi oleh sistem saraf dan hormon yang merespons rangsangan tertentu dari lingkungannya. Misalnya, ikan dapat menggunakan kemampuan sensoriknya seperti penglihatan, penciuman, dan persepsi getaran melalui garis lateral untuk mendeteksi predator, mangsa, atau pasangan kawin. Dalam ekologi, perilaku ikan menjadi bagian penting dari adaptasi terhadap lingkungan, yang membantu bertahan hidup dalam ekosistem yang sering kali dinamis dan penuh tantangan.

Salah satu perilaku ikan yang paling menonjol adalah pola makan, yang mencerminkan adaptasinya terhadap sumber daya yang tersedia di habitatnya. Ikan memiliki berbagai strategi makan tergantung pada spesies dan ekosistemnya. Beberapa ikan, seperti ikan herbivora, memakan alga atau tanaman air, sementara ikan karnivora memangsa invertebrata atau ikan lainnya. Sebagai contoh, ikan kakaktua memanfaatkan paruhnya yang kuat untuk memakan alga di atas terumbu karang, membantu menjaga keseimbangan ekosistem karang. Di sisi lain, ikan predator seperti hiu menggunakan indera penciuman yang tajam untuk melacak mangsa dari jarak jauh. Perilaku makan ini tidak hanya mempengaruhi pola distribusi ikan tetapi juga berkontribusi pada struktur dan fungsi ekosistem. Dengan mengendalikan populasi mangsa



atau tumbuhan tertentu, ikan berperan dalam menjaga keseimbangan rantai makanan dan jaring-jaring makanan.

Selain pola makan, perilaku migrasi juga menjadi salah satu adaptasi penting dalam kelangsungan hidup ikan. Migrasi adalah perjalanan jarak jauh yang dilakukan ikan untuk memenuhi kebutuhan biologis tertentu seperti mencari makanan, berkembang biak, atau menghindari kondisi lingkungan yang tidak mendukung. Salah satu contoh migrasi yang paling terkenal adalah migrasi salmon, di mana ikan ini berpindah dari laut ke sungai untuk bertelur. Migrasi semacam ini menunjukkan kemampuan luar biasa ikan dalam navigasi dan adaptasi terhadap perubahan salinitas air. Di ekosistem laut tropis, ikan tuna dikenal bermigrasi dalam jarak yang sangat jauh untuk mencari perairan yang kaya akan plankton dan ikan kecil sebagai sumber makanan. Perilaku migrasi ini tidak hanya penting bagi kelangsungan hidup individu atau spesies tetapi juga memiliki implikasi besar dalam ekologi dan ekonomi, terutama dalam konteks perikanan global (Helfman *et al.*, 2009).

Perilaku reproduksi merupakan komponen lain yang sangat penting dalam kelangsungan hidup ikan. Sebagian besar ikan menunjukkan berbagai strategi reproduksi yang unik untuk memastikan keberhasilan keturunannya. Beberapa ikan bertelur dalam jumlah besar untuk meningkatkan peluang kelangsungan hidup larva, sementara yang lain mengembangkan perilaku parental yang melibatkan perlindungan terhadap telur dan larva. Contohnya, ikan cupang jantan dikenal membangun sarang gelembung untuk menyimpan dan melindungi telur hingga menetas. Di ekosistem terumbu karang, ikan badut mempraktikkan hubungan simbiosis dengan anemon laut, menggunakan anemon sebagai tempat perlindungan bagi telurnya. Strategi ini tidak hanya melindungi keturunannya dari predator tetapi juga meningkatkan peluang sukses reproduksi dalam lingkungan yang kompetitif.

Selain itu, perilaku ikan sering kali mencakup interaksi sosial yang kompleks, termasuk pembentukan kelompok atau *shoaling* dan *schooling*. *Shoaling* adalah perilaku ikan untuk berenang bersama dalam kelompok yang longgar, sedangkan *schooling* adalah pola berenang yang terkoordinasi dengan sempurna. Perilaku ini memberikan banyak keuntungan, seperti perlindungan dari predator melalui "efek angka"



(predator lebih sulit menargetkan individu dalam kelompok besar), meningkatkan efisiensi mencari makanan, dan memudahkan ikan dalam menemukan pasangan kawin. Misalnya, ikan sarden membentuk *schooling* besar sebagai cara untuk mengurangi risiko predasi oleh pemangsa seperti hiu atau lumba-lumba. Selain itu, *schooling* juga membantu ikan menghemat energi saat berenang melawan arus, yang meningkatkan efisiensi dalam migrasi jarak jauh.

Dalam konteks peran perilaku terhadap kelangsungan hidup ikan, setiap perilaku yang dilakukan oleh ikan memiliki nilai adaptif yang membantunya bertahan dalam lingkungan yang berubah-ubah. Perilaku makan, misalnya, memungkinkan ikan untuk memanfaatkan sumber daya yang ada, baik itu makanan yang melimpah di musim tertentu maupun yang sulit ditemukan di musim lain. Perilaku ini juga mencerminkan kemampuan ikan untuk beradaptasi terhadap tekanan ekologi seperti persaingan antarspesies dan predasi. Sebagai contoh, beberapa ikan karnivora menggunakan strategi berburu yang cerdas seperti kamuflase untuk mengecoh mangsanya. Contohnya, ikan batu yang menyerupai batu karang dapat dengan mudah menyergap mangsa yang tidak curiga (Allen & Erdmann, 2012).

Perilaku reproduksi juga memainkan peran kritis dalam menjaga populasi ikan tetap stabil, meskipun tekanan lingkungan seperti perubahan habitat dan eksploitasi manusia dapat mengancamnya. Beberapa ikan, seperti ikan kerapu, bahkan memiliki mekanisme reproduksi unik seperti hermafroditisme, di mana individu dapat berganti jenis kelamin tergantung pada kondisi lingkungan. Mekanisme ini membantunya mengoptimalkan peluang reproduksi dalam populasi dengan rasio jantan dan betina yang tidak seimbang. Selain itu, perilaku parental yang melibatkan perlindungan telur dan larva memastikan generasi baru dapat berkembang dalam lingkungan yang kompetitif.

Perilaku migrasi memberikan fleksibilitas kepada ikan untuk mengeksplorasi habitat yang berbeda sesuai dengan kebutuhannya. Migrasi juga membantu dalam pertukaran genetik antara populasi, yang penting untuk menjaga keragaman genetik dan ketahanan spesies terhadap perubahan lingkungan. Namun, perubahan iklim dan aktivitas manusia seperti pembangunan bendungan dapat mengganggu jalur migrasi alami ikan, yang pada akhirnya mengancam kelangsungan



hidupnya. Oleh karena itu, memahami perilaku migrasi ikan sangat penting untuk pengelolaan perikanan yang berkelanjutan.

Perilaku sosial seperti *schooling* menunjukkan pentingnya interaksi kelompok dalam bertahan hidup. Selain memberikan perlindungan dari predator, *schooling* juga mempermudah ikan untuk menemukan makanan dan pasangan kawin, yang meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan. Fenomena *schooling* ini juga memberikan wawasan penting dalam pengelolaan perikanan, karena eksploitasi kelompok ikan dalam jumlah besar dapat menyebabkan penurunan populasi secara drastis. Di sisi lain, perilaku ikan juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, salinitas, oksigen terlarut, dan keberadaan predator atau mangsa. Sebagai contoh, perubahan suhu air akibat pemanasan global telah menyebabkan pergeseran distribusi ikan ke wilayah yang lebih dingin. Perilaku adaptif ini menunjukkan kemampuan ikan untuk merespons perubahan lingkungan, tetapi tekanan lingkungan yang berlebihan dapat melampaui kapasitas adaptasinya. Oleh karena itu, penting untuk memahami perilaku ikan dalam konteks biologis dan ekologis untuk mendukung upaya konservasi dan pengelolaan sumber daya ikan yang berkelanjutan (Pauly & Christensen, 1995).

## 6.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Perilaku Ikan

Perilaku ikan dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling terkait, baik dari lingkungan eksternal maupun internal ikan itu sendiri. Faktor lingkungan, seperti suhu air, kadar oksigen, cahaya, dan keberadaan predator atau mangsa, memainkan peran penting dalam menentukan bagaimana ikan berinteraksi dengan lingkungannya. Suhu air, misalnya, secara langsung memengaruhi metabolisme ikan. Ikan berdarah dingin akan menyesuaikan aktivitas mereka dengan suhu air. Pada suhu yang lebih tinggi, ikan cenderung lebih aktif karena metabolisme mereka meningkat, sementara suhu yang rendah membuat ikan bergerak lebih lambat untuk menghemat energi. Selain itu, kadar oksigen dalam air memengaruhi pernapasan ikan. Jika kandungan oksigen rendah, ikan akan mencari area dengan oksigen lebih tinggi atau menggunakan adaptasi seperti mendekati permukaan air untuk bernapas.



Cahaya juga menjadi faktor signifikan dalam memengaruhi perilaku ikan. Banyak spesies ikan menunjukkan pola aktivitas tertentu berdasarkan siklus siang dan malam. Ikan diurnal, seperti kebanyakan ikan karang, aktif mencari makan di siang hari ketika cahaya cukup. Sebaliknya, ikan nokturnal seperti belut atau hiu tertentu akan keluar pada malam hari untuk berburu. Intensitas cahaya juga memengaruhi kemampuan ikan dalam mendeteksi mangsa atau menghindari predator. Selain itu, faktor lain seperti keberadaan habitat yang cocok, termasuk keberadaan terumbu karang, rumput laut, atau substrat tertentu, dapat memengaruhi perilaku ikan dalam mencari perlindungan dan tempat berkembang biak.

Keberadaan predator menjadi salah satu faktor yang sangat memengaruhi perilaku ikan. Ikan menggunakan berbagai strategi untuk melindungi diri, seperti berenang dalam kelompok, berkamuflase, atau bergerak lebih cepat. Ketika mendeteksi kehadiran predator, ikan sering menunjukkan perilaku defensif seperti melarikan diri, bersembunyi di celah-celah batu, atau meningkatkan aktivitas sirip untuk menavigasi dengan cepat. Di sisi lain, kehadiran mangsa juga memengaruhi perilaku ikan predator. Ikan predator cenderung mengatur waktu berburu mereka berdasarkan perilaku mangsanya. Beberapa predator bahkan menggunakan strategi berburu yang canggih, seperti menyerang secara mendadak atau memanfaatkan elemen kejutan (Helfman *et al.*, 2009).

Selain faktor lingkungan, faktor biologis atau internal juga sangat berpengaruh. Genetik merupakan salah satu elemen utama yang menentukan pola perilaku ikan. Beberapa perilaku spesifik, seperti cara ikan membangun sarang atau pola migrasi, diwariskan dari generasi ke generasi. Contohnya, ikan salmon memiliki perilaku migrasi yang terprogram secara genetik, di mana mereka kembali ke tempat kelahiran untuk bertelur setelah dewasa. Selain genetik, kondisi fisiologis ikan, seperti kebutuhan energi dan reproduksi, juga memengaruhi perilaku mereka. Ketika ikan merasa lapar, perilaku mereka menjadi lebih fokus pada pencarian makanan. Di sisi lain, saat memasuki musim kawin, ikan menunjukkan perilaku spesifik yang terkait dengan reproduksi, seperti mencari pasangan, membangun sarang, atau menjaga telur.

Komunikasi antarindividu dalam spesies ikan juga memainkan peran penting dalam perilaku mereka. Ikan menggunakan berbagai



sinyal visual, kimia, dan suara untuk berkomunikasi. Warna tubuh yang mencolok, seperti pada ikan badut atau ikan kakatua, sering digunakan untuk menarik pasangan atau menandai wilayah. Selain itu, beberapa ikan, seperti ikan hias listrik, menggunakan impuls listrik untuk berkomunikasi dengan sesamanya. Ikan juga dapat mengeluarkan suara dengan menggunakan organ khusus seperti kantung renang untuk memberikan peringatan atau menarik perhatian pasangan. Bentuk komunikasi ini membantu ikan menjaga keseimbangan sosial dalam kelompoknya, sekaligus mengatur strategi untuk menghadapi ancaman.

Interaksi sosial juga menjadi salah satu faktor utama yang memengaruhi perilaku ikan. Banyak spesies ikan menunjukkan kecenderungan untuk hidup dalam kelompok atau kawanan. Hidup berkelompok tidak hanya memberikan perlindungan dari predator, tetapi juga meningkatkan efisiensi dalam mencari makanan. Ketika salah satu individu dalam kelompok mendeteksi bahaya, ia akan memberikan sinyal kepada kelompoknya untuk melarikan diri atau menyusun formasi tertentu untuk menghalangi predator. Selain itu, perilaku kawanan membantu ikan muda belajar dari ikan yang lebih tua, terutama dalam hal navigasi dan teknik berburu.

Selain faktor-faktor biologis dan lingkungan, tekanan manusia juga berkontribusi terhadap perubahan perilaku ikan. Aktivitas manusia, seperti penangkapan ikan yang berlebihan, pencemaran air, dan perubahan habitat, memengaruhi cara ikan bertahan hidup. Ketika habitat alami mereka terganggu, ikan cenderung berpindah ke tempat lain yang lebih aman atau mencoba beradaptasi dengan lingkungan yang baru. Namun, adaptasi ini tidak selalu berhasil, terutama jika perubahan lingkungan terjadi secara mendadak. Selain itu, suara dari kapal atau alat berat di bawah air dapat mengganggu komunikasi ikan dan membuat mereka lebih sulit menemukan pasangan atau mangsa.

Perubahan iklim global juga menjadi faktor besar yang memengaruhi perilaku ikan. Peningkatan suhu air laut, naiknya permukaan air, dan pengasaman laut memengaruhi habitat ikan dan kemampuan mereka untuk beradaptasi. Ikan tropis, misalnya, mungkin berpindah ke perairan yang lebih dingin untuk mencari suhu yang optimal, yang pada gilirannya dapat menyebabkan perubahan dalam ekosistem laut secara keseluruhan. Di sisi lain, ikan kutub seperti ikan cod



mungkin menghadapi tantangan besar karena habitat mereka semakin berkurang akibat mencairnya es laut. Perubahan ini memengaruhi pola makan, migrasi, dan reproduksi ikan secara global. Selain itu, faktor makanan memiliki pengaruh besar terhadap perilaku ikan. Ketersediaan makanan di lingkungan mereka menentukan aktivitas harian ikan, termasuk waktu dan lokasi mencari makan. Ikan herbivora cenderung mencari area dengan banyak alga atau tanaman air, sementara ikan karnivora akan berkeliaran di daerah yang kaya akan ikan kecil atau krustasea. Dalam kondisi lingkungan di mana makanan sulit ditemukan, ikan sering menunjukkan perilaku yang lebih agresif untuk mendapatkan sumber daya yang tersedia. Ikan juga dapat berpindah ke lokasi baru untuk menemukan makanan yang lebih melimpah (Allan & Castillo, 2007).

### **6.3 Jenis-Jenis Interaksi antar Ikan**

Ikan menunjukkan berbagai jenis interaksi yang mencerminkan kompleksitas ekosistem perairan. Salah satu bentuk interaksi utama adalah kompetisi, di mana ikan bersaing untuk mendapatkan sumber daya seperti makanan, wilayah, atau pasangan. Kompetisi dapat terjadi antara individu dari spesies yang sama (intraspesifik) maupun antarspesies (interspesifik). Dalam kompetisi intraspesifik, ikan sering menggunakan strategi seperti menunjukkan dominasi melalui gerakan agresif atau mengusir ikan lain dari wilayah tertentu. Sebagai contoh, ikan betta atau cupang akan memperlihatkan siripnya secara penuh dan bergerak agresif untuk mempertahankan wilayah mereka. Di sisi lain, kompetisi interspesifik sering terjadi antara ikan predator yang berburu mangsa yang sama, seperti hiu dan tuna yang saling bersaing di perairan terbuka. Selain kompetisi, ikan juga menunjukkan interaksi predasi, yang merupakan hubungan antara predator dan mangsa. Dalam interaksi ini, ikan predator mengandalkan strategi berburu yang bervariasi, seperti penyamaran, kecepatan, atau serangan mendadak. Sebagai contoh, ikan lele menggunakan kulitnya yang gelap untuk bersembunyi di dasar sungai sebelum menyergap mangsa. Sebaliknya, mangsa mengembangkan berbagai mekanisme untuk menghindari predator. Ikan kecil seperti sarden berenang dalam kawanan besar untuk membingungkan predator, sedangkan ikan lain seperti ikan buntal akan



mengembangkan tubuhnya menjadi lebih besar untuk menakut-nakuti musuh. Interaksi predasi ini memengaruhi dinamika populasi ikan dalam suatu ekosistem dan menjaga keseimbangan rantai makanan.

Bentuk interaksi lain yang penting adalah mutualisme, di mana dua spesies ikan atau organisme lain saling menguntungkan. Contoh terkenal dari interaksi ini adalah hubungan antara ikan badut dan anemon laut. Ikan badut mendapatkan perlindungan dari anemon yang memiliki tentakel beracun, sementara anemon mendapat manfaat dari sisa makanan yang ditinggalkan oleh ikan badut. Selain itu, ikan pembersih seperti ikan gobi atau cleaner wrasse membangun hubungan mutualistik dengan ikan besar seperti ikan kakap atau hiu. Ikan pembersih memakan parasit dan jaringan mati di tubuh ikan besar, yang membantu meningkatkan kesehatan ikan besar sekaligus memberikan makanan bagi ikan pembersih. Di sisi lain, ikan juga menunjukkan komensalisme, yaitu interaksi di mana satu pihak mendapat keuntungan sementara pihak lainnya tidak dirugikan. Sebagai contoh, ikan remora sering menempel pada tubuh hiu, pari, atau penyu laut untuk mendapatkan tumpangan gratis tanpa membahayakan inangnya. Dengan menempel pada inang, ikan remora menghemat energi dalam pergerakan dan juga mendapat kesempatan untuk memakan sisa-sisa makanan dari inangnya. Interaksi seperti ini sering ditemukan di perairan laut dalam, di mana sumber daya cenderung lebih terbatas.

Interaksi parasitisme juga menjadi bagian penting dalam hubungan antar ikan. Dalam parasitisme, satu organisme, yaitu parasit, mengambil keuntungan dari inang, yang dirugikan dalam proses tersebut. Beberapa jenis ikan, seperti lamprey, menempel pada tubuh ikan besar dan menghisap darah mereka. Parasit lain, seperti isopoda laut, sering menempel di mulut atau insang ikan, mengganggu proses makan atau pernapasan inangnya. Meskipun parasitisme dapat merugikan inang, hubungan ini memainkan peran penting dalam mengendalikan populasi dan menjaga keseimbangan ekosistem (Krebs, 2009).

Interaksi sosial antar ikan juga merupakan aspek yang menarik dalam ekosistem perairan. Banyak spesies ikan menunjukkan perilaku kawanan (*schooling*) sebagai bentuk kerja sama untuk perlindungan atau efisiensi energi. Dengan berenang dalam kelompok besar, ikan dapat mengurangi risiko serangan predator karena predator kesulitan



memfokuskan perhatian pada satu individu. Selain itu, ikan kawanan sering menunjukkan sinkronisasi yang menakjubkan, di mana gerakan individu dalam kelompok tampak seperti satu kesatuan. Contohnya, ikan sarden atau ikan haring sering membentuk bola besar yang bergerak serempak untuk menghindari serangan predator. Dalam konteks reproduksi, ikan menunjukkan interaksi reproduktif yang bervariasi antarspesies. Beberapa ikan, seperti ikan guppy, menunjukkan perilaku pacaran di mana jantan memperlihatkan warna cerah atau pola gerakan tertentu untuk menarik perhatian betina. Sebaliknya, ikan lain seperti ikan kerapu atau ikan badut menunjukkan perubahan jenis kelamin untuk meningkatkan peluang reproduksi dalam kelompok mereka. Dalam kelompok ikan badut, betina dominan akan berganti kelamin menjadi jantan jika diperlukan untuk menjaga keseimbangan reproduksi dalam kelompok.

Ikan juga menunjukkan interaksi territorial, di mana individu atau kelompok ikan mempertahankan wilayah tertentu sebagai tempat mencari makan, berkembang biak, atau beristirahat. Ikan yang hidup di terumbu karang, seperti ikan damsel, sering mempertahankan area kecil dari gangguan ikan lain. Mereka akan menunjukkan perilaku agresif, seperti mengejar atau menyerang ikan yang mendekati wilayahnya. Interaksi territorial ini membantu mengatur distribusi populasi ikan dalam habitat tertentu, sekaligus memastikan sumber daya tidak habis secara bersamaan. Selain itu, ikan terlibat dalam interaksi migrasi, terutama pada spesies yang bermigrasi untuk berkembang biak atau mencari makanan. Ikan salmon adalah contoh klasik yang menunjukkan migrasi antarhabitat. Mereka meninggalkan laut untuk menuju sungai tempat mereka dilahirkan, mengatasi berbagai rintangan seperti air terjun dan predator dalam perjalanan mereka. Migrasi ini tidak hanya penting bagi siklus hidup ikan, tetapi juga memengaruhi ekosistem sepanjang jalur migrasi mereka. Spesies ikan lain, seperti tuna, bermigrasi dalam kelompok besar untuk mencari makanan di lautan yang lebih hangat, menunjukkan interaksi kompleks dengan lingkungan dan spesies lain.

Interaksi antar ikan juga mencakup pembentukan hierarki sosial dalam kelompok. Beberapa ikan, seperti cichlid Afrika, menunjukkan struktur sosial di mana individu dominan memiliki akses lebih besar terhadap makanan atau tempat bertelur. Ikan dominan sering



menunjukkan perilaku agresif untuk mempertahankan posisinya, sementara individu dengan peringkat lebih rendah akan menunjukkan sikap tunduk. Hierarki ini membantu mengurangi konflik dalam kelompok dan memastikan pembagian sumber daya yang lebih efisien. Interaksi simbiosis, yang mencakup mutualisme, komensalisme, dan parasitisme, menunjukkan bahwa hubungan antarspesies tidak hanya didasarkan pada kompetisi atau predasi. Hubungan ini menciptakan ketergantungan antara spesies, yang pada gilirannya membantu menjaga stabilitas ekosistem. Dengan memahami jenis-jenis interaksi ini, para ilmuwan dapat mempelajari bagaimana ikan beradaptasi terhadap lingkungan yang terus berubah. Selain itu, pengetahuan ini penting untuk mendukung konservasi dan pengelolaan sumber daya perikanan, yang menjadi semakin krusial di tengah ancaman terhadap habitat laut. Dengan berbagai jenis interaksi ini, ikan tidak hanya berperan sebagai individu dalam ekosistem, tetapi juga sebagai bagian integral dari hubungan ekologis yang kompleks. Dari persaingan hingga kerja sama, interaksi antar ikan mencerminkan adaptasi evolusioner yang luar biasa dan memperkuat pentingnya perlindungan terhadap ekosistem perairan (Margalef, 1968).

Perilaku teritorial pada ikan adalah salah satu strategi adaptasi yang memungkinkan ikan untuk mengamankan sumber daya penting, seperti makanan, tempat berlindung, atau lokasi bertelur. Ikan yang menunjukkan perilaku teritorial biasanya memiliki wilayah tertentu yang dipertahankan dari individu lain, baik dari spesies yang sama maupun spesies berbeda. Perilaku ini melibatkan berbagai bentuk aktivitas seperti patroli, penandaan wilayah, hingga serangan fisik untuk menjaga batas teritori. Perilaku teritorial pada ikan tidak hanya mencerminkan kemampuan adaptasi terhadap tekanan lingkungan tetapi juga berperan penting dalam kelangsungan hidup dan keberhasilan reproduksi spesies. Pada ikan air tawar, seperti ikan cichlid, perilaku teritorial sering terlihat dalam konteks reproduksi. Ikan cichlid jantan biasanya memilih wilayah yang kaya akan substrat, seperti bebatuan atau pasir, untuk membangun sarang tempat betina dapat bertelur. Setelah memilih lokasi, ikan jantan aktif menjaga wilayah tersebut dari kehadiran pesaing atau predator. Sering menggunakan tampilan visual, seperti melebarkan sirip dan memperlihatkan warna tubuh yang mencolok, untuk mengintimidasi



individu lain yang mendekati teritorinya. Jika intimidasi tidak berhasil, ikan cichlid jantan dapat melibatkan diri dalam serangan fisik, seperti mengejar atau menggigit penyusup. Perilaku ini menunjukkan bagaimana ikan menggunakan kombinasi ancaman dan agresi untuk mempertahankan sumber daya yang penting bagi keberhasilan reproduksinya.

Di lingkungan perairan tawar, ikan seperti ikan *Betta* atau cupang menunjukkan perilaku teritorial yang khas. Ikan cupang jantan terkenal karena agresivitasnya dalam mempertahankan wilayah kecil di sekitar permukaan air, terutama ketika membangun sarang gelembung untuk menyimpan telur. Ikan cupang jantan tidak hanya menyerang ikan jantan lain yang mencoba masuk ke wilayahnya tetapi juga mengusir betina yang dianggap sebagai ancaman bagi kelangsungan sarang. Selama periode ini, ikan cupang jantan secara aktif mengontrol akses ke wilayah tersebut, memastikan bahwa telur yang diletakkan tetap aman hingga menetas. Agresivitas ikan cupang menunjukkan bagaimana perilaku teritorial dapat menjadi intens, terutama ketika melibatkan sumber daya kritis seperti lokasi reproduksi. Selain untuk reproduksi, perilaku teritorial pada ikan juga sering ditemukan dalam konteks mencari makanan. Pada ikan herbivora seperti ikan kakaktua (*parrotfish*), perilaku teritorial terlihat ketika menjaga wilayah terumbu karang yang kaya akan alga. Ikan kakaktua jantan sering membentuk wilayah teritorial di mana memonopoli alga sebagai sumber makanan utama. Menjaga wilayah tersebut dari ikan herbivora lain yang mencoba mengakses sumber daya tersebut. Dengan mempertahankan wilayah ini, ikan kakaktua tidak hanya memastikan pasokan makanan yang cukup untuk dirinya tetapi juga bagi kelompok kecil betina yang berada di bawah perlindungannya. Perilaku ini menunjukkan bagaimana perilaku teritorial tidak hanya berdampak pada individu tetapi juga pada struktur sosial spesies (Alcock, 2013).

Beberapa ikan predator, seperti ikan kerapu, juga menunjukkan perilaku teritorial yang kuat. Ikan kerapu biasanya memilih wilayah berbatu atau terumbu karang sebagai tempat berlindung dan berburu. Wilayah ini sering kali memiliki lokasi strategis yang memungkinkan ikan kerapu mengintai mangsa dengan efisien. Untuk mempertahankan wilayah ini, ikan kerapu menunjukkan agresivitas yang tinggi terhadap



predator lain atau individu sejenis yang mencoba masuk. Serangan fisik, seperti menggigit atau mendorong, sering digunakan untuk mengusir penyusup. Dengan menjaga wilayahnya, ikan kerapu dapat memastikan bahwa memiliki akses eksklusif ke sumber daya mangsa yang ada di wilayah tersebut. Namun, perilaku teritorial pada ikan tidak selalu bersifat agresif. Beberapa spesies menggunakan sinyal visual atau kimia untuk menandai wilayahnya, yang memungkinkannya menghindari konflik fisik yang berisiko. Contohnya adalah ikan gobi, yang sering menggunakan bau tubuh untuk menandai wilayah kecil di dasar laut. Sinyal ini memberi tahu individu lain tentang keberadaannya, sehingga mencegah interaksi langsung yang dapat mengarah pada agresi. Pendekatan ini menunjukkan bagaimana perilaku teritorial dapat bervariasi tergantung pada spesies dan kondisi lingkungan.

Motivasi di balik perilaku teritorial pada ikan sering kali berkaitan dengan teori biaya dan manfaat. Mempertahankan wilayah membutuhkan energi yang signifikan dan dapat meningkatkan risiko cedera akibat pertempuran. Namun, manfaat seperti akses eksklusif ke makanan, tempat bertelur yang aman, atau peluang reproduksi yang lebih besar sering kali melebihi biaya tersebut. Pada lingkungan dengan sumber daya yang terbatas, perilaku teritorial menjadi strategi penting untuk memastikan kelangsungan hidup individu dan keberhasilan reproduksi. Dalam konteks ekologi, perilaku teritorial pada ikan juga mempengaruhi distribusi populasi dan struktur komunitas dalam ekosistem perairan. Dengan membatasi jumlah individu yang dapat mengakses wilayah tertentu, perilaku ini membantu mencegah overeksploitasi sumber daya. Sebagai contoh, ikan yang menjaga wilayah terumbu karang tertentu membantu menjaga keseimbangan alga, yang pada gilirannya mendukung kesehatan terumbu karang secara keseluruhan. Selain itu, perilaku teritorial juga dapat mengurangi persaingan antarspesies, karena individu yang teritorial cenderung fokus pada mempertahankan wilayahnya daripada bersaing di wilayah yang sama (Brown *et al.*, 2006).



# Bab 7

## ADAPTASI PERILAKU TERHADAP LINGKUNGAN

Adaptasi merupakan kemampuan organisme untuk menyesuaikan diri dengan lingkungan tempat hidupnya agar dapat bertahan hidup, tumbuh, dan berkembang biak. Adaptasi melibatkan berbagai perubahan dalam struktur tubuh, fungsi fisiologis, maupun perilaku, yang bertujuan untuk mengatasi tekanan lingkungan seperti perubahan suhu, ketersediaan makanan, atau adanya predator. Perilaku adalah respons atau tindakan yang ditunjukkan oleh organisme terhadap rangsangan dari lingkungan internal maupun eksternal. Perilaku mencerminkan cara organisme berinteraksi dengan lingkungannya untuk memenuhi kebutuhan dasar, seperti mencari makanan, melindungi diri, atau berkembang biak. Adaptasi perilaku terhadap lingkungan adalah perubahan atau penyesuaian perilaku organisme sebagai respons terhadap kondisi lingkungannya, yang bertujuan untuk meningkatkan peluang bertahan hidup dan berkembang biak. Adaptasi ini sering kali terjadi karena kebutuhan untuk mengatasi tantangan seperti perubahan suhu, ketersediaan makanan, adanya predator, atau kompetisi dengan spesies lain.

### 7.1 Respons terhadap Perubahan Suhu, Salinitas, dan Kondisi Lingkungan Lainnya

#### 7.1.1 Respon terhadap Perubahan Suhu

Respon Ikan terhadap perubahan suhu merupakan adaptasi fisiologis, perilaku, dan morfologi yang dilakukan ikan untuk bertahan hidup dalam lingkungan dengan suhu yang berubah-ubah. Ikan sebagai organisme *poikiloterm* (berdarah dingin) sangat bergantung pada suhu lingkungan untuk mengatur fungsi tubuhnya. Perubahan suhu dapat



mempengaruhi metabolisme, aktivitas, dan distribusi ikan. Suhu merupakan salah satu parameter penting yang berperan dalam metabolisme dan proses fisiologi ikan. Meskipun ikan dapat hidup dalam rentang suhu yang luas, setiap spesies memiliki suhu optimal tertentu untuk dapat bertahan dan beradaptasi dengan lingkungan hidupnya (Shahjahan *et al.*, 2018). Perilaku ikan berdasarkan jenis responsnya adalah reaksi atau respons yang ditunjukkan oleh ikan, baik secara individu maupun kelompok, pada waktu tertentu terhadap kondisi lingkungan serta perubahan yang terjadi di sekitarnya.

Suhu tinggi dapat memicu peningkatan denyut jantung ikan yang berhubungan langsung dengan intensitas pergerakan operkulum untuk mendukung pertukaran oksigen dan karbon dioksida secara lebih efisien. Pada kondisi ini, kebutuhan oksigen ikan mas cenderung meningkat. Pembukaan operkulum yang lebih cepat memungkinkan peningkatan aliran oksigen ke insang, sehingga mendukung pengambilan oksigen secara efektif. Selain itu, ikan mas dapat mengatur suhu tubuhnya melalui pembukaan dan penutupan operkulum, yang membantu mengurangi panas akibat peningkatan metabolisme. Nasution (2023) mendukung pernyataan ini, menyatakan bahwa pergerakan operkulum pada suhu tinggi cenderung meningkat karena penurunan kadar oksigen dalam air hangat. Hal ini menyebabkan ikan memperbanyak gerakan operkulum untuk mendapatkan oksigen yang cukup dari air. Fajar (2021) menyatakan bahwa suhu di atas kisaran normal mengakibatkan enzim dalam tubuh ikan bekerja lebih cepat, sehingga gerakan pembukaan operkulum menjadi lebih intens untuk membantu insang dalam mengambil oksigen terlarut. Namun, paparan suhu tinggi juga dapat menurunkan tingkat kelangsungan hidup ikan mas. Stres akibat adaptasi terhadap suhu tinggi dan berkurangnya oksigen dalam air dapat menyebabkan kelelahan, kesulitan bernapas, gerakan tidak teratur, dan pada akhirnya kematian ikan mas (Ikrana *et al.*, 2024).

Ikan merupakan organisme *poikiloterm*, yang berarti suhu tubuhnya bergantung pada suhu lingkungan. Perubahan suhu dapat mempengaruhi berbagai aspek kehidupan ikan, termasuk fisiologi, metabolisme, perilaku, dan reproduksi. Respons ikan terhadap perubahan suhu tergantung pada jenis habitatnya (air tawar, payau, atau laut) dan kemampuan spesies untuk beradaptasi terhadap fluktuasi suhu.



Perubahan suhu mempengaruhi tingkat metabolisme ikan. Suhu yang lebih hangat biasanya meningkatkan laju metabolisme, mempercepat aktivitas enzim, dan meningkatkan konsumsi oksigen. Sebaliknya, suhu yang terlalu rendah dapat memperlambat metabolisme, membuat ikan menjadi kurang aktif, dan bahkan mengakibatkan hibernasi pada beberapa spesies. Beberapa tingkah laku ikan karena perubahan suhu pada berbagai lingkungan perairan antara lain:

- a. **Ikan air tawar:** Biasanya lebih sensitif terhadap perubahan suhu dibandingkan ikan laut karena habitatnya cenderung memiliki fluktuasi suhu yang lebih besar.
- b. **Ikan air laut:** Cenderung hidup di lingkungan dengan suhu yang relatif stabil, sehingga perubahan suhu ekstrem dapat lebih berdampak pada ikan laut dibandingkan ikan air tawar.
- c. **Ikan air payau:** Memiliki toleransi lebih tinggi terhadap fluktuasi suhu karena habitat estuari mereka sering mengalami perubahan suhu yang dinamis.
- d. **Ikan tropis (tawar/laut):** Suhu optimal mendukung proses pemijahan dan perkembangan telur, sedangkan suhu yang terlalu rendah atau tinggi dapat menurunkan kualitas telur dan tingkat keberhasilan pemijahan.
- e. **Ikan perairan dingin:** Spesies seperti cod memiliki suhu optimal tertentu untuk bertelur, dan gangguan suhu dapat memengaruhi keberhasilan reproduksi mereka.

### 7.1.2 Respon terhadap Perubahan Salinitas

Salinitas merupakan tingkat keasinan atau kadar garam terlarut dalam air. Salinitas air payau mencerminkan konsentrasi garam yang terkandung di dalamnya, termasuk garam dapur (NaCl). Secara umum, salinitas disebabkan oleh keberadaan tujuh ion utama, yaitu natrium ( $\text{Na}^+$ ), kalium ( $\text{K}^+$ ), kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), klorida ( $\text{Cl}^-$ ), sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), dan bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) (Sari *et al.*, 2010). Ikan memiliki kemampuan adaptasi fisiologis dan perilaku yang kompleks terhadap perubahan salinitas, yang sangat dipengaruhi oleh habitat alami mereka, yaitu air tawar, payau, atau laut. Salinitas adalah salah satu faktor lingkungan utama yang memengaruhi keseimbangan osmotik tubuh



ikan. Berikut adalah penjelasan tentang respons ikan terhadap perubahan salinitas berdasarkan habitatnya:

### **Ikan Air Tawar**

Ikan air tawar hidup di lingkungan dengan konsentrasi garam yang sangat rendah. Dalam kondisi ini, air cenderung masuk ke tubuh ikan melalui osmosis, sementara ion-ion penting seperti natrium dan klorida dapat hilang ke lingkungan.

- a. **Respons fisiologis:** Untuk mengatasi tantangan ini, ikan air tawar memiliki ginjal yang sangat efisien dalam mengeluarkan urin yang encer dalam jumlah besar. Mereka juga menyerap ion-ion penting melalui sel-sel khusus di insang yang disebut sel klorida.
- b. **Dampak perubahan salinitas:** Ketika ikan air tawar dipindahkan ke lingkungan dengan salinitas lebih tinggi, seperti air payau, mereka harus meningkatkan osmoregulasi. Jika perubahan ini terlalu mendadak, dapat menyebabkan stres osmotik yang berujung pada gangguan metabolisme atau bahkan kematian.

### **Ikan Payau**

Ikan yang hidup di habitat payau, seperti estuari, menghadapi fluktuasi salinitas yang dinamis karena pengaruh pasang surut dan pencampuran air tawar serta laut.

- a. **Respons fisiologis:** Ikan payau, seperti bandeng atau nila, adalah contoh ikan euryhalin yang memiliki kemampuan beradaptasi terhadap berbagai tingkat salinitas. Mereka dapat menyesuaikan fungsi osmoregulasi, seperti mengatur penyerapan dan pengeluaran ion melalui insang, ginjal, dan usus.
- b. **Perilaku adaptif:** Ketika salinitas meningkat, mereka cenderung mengurangi pengeluaran urin untuk mempertahankan air tubuh. Sebaliknya, ketika salinitas menurun, pengeluaran urin meningkat untuk mengatasi kelebihan air yang masuk.

### **Ikan Laut**

Ikan laut hidup di lingkungan dengan konsentrasi garam yang tinggi. Kondisi ini menyebabkan air tubuh ikan cenderung keluar ke lingkungan melalui osmosis, sehingga mereka berisiko mengalami dehidrasi.



- a. **Respons fisiologis:** Ikan laut meminum air laut secara aktif untuk menggantikan cairan yang hilang. Garam yang masuk bersama air laut kemudian dikeluarkan melalui sel klorida di insang dan melalui urin yang sangat pekat.
- b. **Dampak perubahan salinitas:** Ikan laut yang dipindahkan ke lingkungan dengan salinitas lebih rendah, seperti air payau atau tawar, harus mengurangi konsumsi air dan menyesuaikan fungsi osmoregulasi mereka. Namun, tidak semua spesies ikan laut mampu bertahan di salinitas rendah, terutama ikan stenohalin yang hanya dapat hidup di kisaran salinitas sempit.

Perubahan salinitas yang mendadak, baik peningkatan maupun penurunan, dapat menyebabkan stres osmotik. Hal ini dapat mengganggu keseimbangan ion dan cairan dalam tubuh, mempengaruhi fungsi organ, seperti insang dan ginjal, serta meningkatkan kadar hormon stres seperti kortisol. Jika perubahan berlangsung terus-menerus, ikan mungkin mengalami penurunan sintasan, pertumbuhan, dan efisiensi makan. Untuk ikan euryhalin, adaptasi terhadap perubahan salinitas biasanya melibatkan:

- a. **Penyesuaian aktivitas enzim:** Enzim seperti  $\text{Na}^+/\text{K}^+\text{-ATPase}$  di insang diatur untuk meningkatkan atau menurunkan transport ion sesuai kebutuhan.
- b. **Perubahan perilaku:** Ikan dapat bermigrasi mencari area dengan salinitas yang sesuai.
- c. **Adaptasi jangka panjang:** Spesies yang hidup di lingkungan dengan fluktuasi salinitas tinggi dapat mengembangkan toleransi genetik terhadap berbagai tingkat salinitas.

### 7.1.3 Respon terhadap Perubahan Kondisi Lingkungan Lainnya

Ikan memiliki berbagai cara untuk merespons perubahan kondisi lingkungan yang dapat memengaruhi kelangsungan hidup mereka. Mereka dapat beradaptasi melalui perubahan fisiologis (seperti pengaturan osmoregulasi), perilaku (seperti migrasi atau perubahan pola makan), atau morfologis (seperti perkembangan adaptasi terhadap kualitas air). Respons ini penting untuk kelangsungan hidup ikan, baik dalam kondisi alami maupun dalam lingkungan budidaya. Pemahaman



tentang respons ikan terhadap perubahan kondisi lingkungan sangat penting dalam manajemen perikanan dan konservasi ekosistem perairan.

Osmoregulasi adalah proses fisiologis yang dilakukan oleh organisme untuk mempertahankan keseimbangan cairan dan konsentrasi ion dalam tubuh mereka, meskipun terjadi perubahan pada konsentrasi ion atau kadar air di lingkungan sekitar. Proses ini sangat penting bagi organisme, terutama bagi ikan yang hidup di lingkungan dengan salinitas yang bervariasi, seperti air tawar, payau, dan laut. Osmoregulasi memastikan bahwa ikan dapat mempertahankan konsentrasi garam dan air yang tepat dalam tubuh mereka, meskipun lingkungan sekitarnya mengalami fluktuasi.

### **Respons Osmoregulasi Ikan Air Tawar (Hipoosmotik)**

Ikan air tawar hidup di lingkungan dengan salinitas yang rendah (konsentrasi garam yang sangat rendah). Karena tubuh ikan memiliki konsentrasi garam yang lebih tinggi daripada air sekitar, air akan masuk ke dalam tubuh ikan melalui osmosis. Adapun proses osmoregulasi pada ikan air tawar ialah :

- a. **Pengeluaran Urin:** Ikan air tawar mengeluarkan urin dalam jumlah besar dan sangat encer untuk mengeluarkan kelebihan air yang masuk melalui osmosis.
- b. **Penyerapan Ion:** Untuk menggantikan ion yang hilang, ikan air tawar menyerap ion-ion penting seperti natrium dan klorida melalui insang dan saluran pencernaan. Sel-sel khusus yang disebut sel klorida di insang memainkan peran utama dalam proses ini.
- c. **Keseimbangan Cairan:** Ikan air tawar secara aktif menjaga keseimbangan cairan dalam tubuh dengan cara mengurangi kehilangan air melalui kulit dan insang.

### **Respons Osmoregulasi Ikan Laut (Hiperosmotik)**

Ikan laut hidup di lingkungan dengan salinitas yang tinggi (air laut memiliki konsentrasi garam yang lebih tinggi), karena tubuh ikan laut memiliki konsentrasi garam yang lebih rendah daripada air laut, ikan laut berisiko kehilangan air melalui osmosis. Adapun proses osmoregulasi pada ikan air laut ialah :

- a. **Konsumsi Air Laut:** Untuk menggantikan cairan tubuh yang hilang akibat osmosis, ikan laut aktif meminum air laut.



- b. **Pengeluaran Garam:** Garam yang masuk bersama air laut dikeluarkan melalui insang dengan bantuan sel-sel klorida. Selain itu, ikan laut juga menghasilkan urin yang lebih pekat untuk mempertahankan keseimbangan cairan.
- c. **Menghindari Dehidrasi:** Ikan laut secara aktif mengatur keseimbangan air dengan mengurangi pengeluaran cairan melalui kulit dan meningkatkan penyerapan air di saluran pencernaan.

### **Respons Osmoregulasi Ikan Payau (Euryhalin)**

Ikan payau hidup di lingkungan dengan salinitas yang bervariasi, di mana air payau memiliki konsentrasi garam yang lebih rendah daripada air laut tetapi lebih tinggi dibandingkan air tawar. Lingkungan ini dapat berubah dengan adanya pasang surut. Ikan payau harus dapat menyesuaikan diri dengan perubahan salinitas yang cepat antara air tawar dan laut. Ikan payau memiliki kemampuan untuk menyesuaikan mekanisme osmoregulasi mereka, baik untuk mengatasi kelebihan air (seperti ikan air tawar) atau kehilangan air (seperti ikan laut). Lingkungan salinitas rendah, mereka berfungsi seperti ikan air tawar, mengeluarkan urin dalam jumlah besar untuk mengeluarkan kelebihan air. Lingkungan salinitas tinggi, mereka berfungsi seperti ikan laut, meminum air untuk menggantikan cairan tubuh yang hilang dan mengeluarkan garam melalui insang.

#### **7.1.4 Adaptasi terhadap perubahan habitat dan tekanan lingkungan**

Ikan sebagai organisme akuatik menghadapi berbagai tantangan dari perubahan habitat dan tekanan lingkungan. Perubahan ini dapat disebabkan oleh faktor alami, seperti perubahan musim atau bencana alam, serta faktor antropogenik, seperti urbanisasi, polusi, pemanasan global, dan eksploitasi berlebihan. Untuk bertahan, ikan menunjukkan berbagai bentuk adaptasi, baik secara fisiologis, perilaku, maupun evolusioner. Ikan memerlukan lingkungan khusus sebagai habitat untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangannya. Perubahan kondisi lingkungan dapat terjadi, sehingga hal ini menjadi tantangan bagi ikan dalam mempertahankan homeostasis tubuhnya (Pane *et al.*, 2023).

Adaptasi ikan terhadap perubahan habitat dan tekanan lingkungan menunjukkan kemampuan luar biasa mereka untuk bertahan



hidup dalam kondisi yang menantang. Namun, adaptasi ini memiliki batasan. Perubahan yang terlalu cepat atau ekstrem, seperti yang sering terjadi akibat aktivitas manusia, dapat mengancam keberlanjutan populasi ikan dan keseimbangan ekosistem. Oleh karena itu, pengelolaan habitat yang bijaksana dan mitigasi tekanan lingkungan sangat penting untuk menjaga kelestarian spesies ikan. Faktor lingkungan perairan memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung kehidupan ikan. Jika kondisi perairan tidak sesuai, maka fisiologi organisme akuatik dapat mengalami gangguan atau menjadi tidak normal (Maizar *et al.*, 2021).

Penelitian Zainuri (2019) menjelaskan bahwa sebelum ikan mengadopsi perilaku baru, terdapat proses fisiologis bertahap yang terjadi dalam diri ikan tersebut. Tahapan tersebut meliputi:

1. **Awareness (Kesadaran):** Ikan terlebih dahulu menyadari keberadaan stimulus (objek) di lingkungannya.
2. **Interest (Ketertarikan):** Ikan menunjukkan ketertarikan terhadap stimulus tersebut.
3. **Evaluation (Evaluasi):** Ikan menilai manfaat atau dampak negatif stimulus terhadap dirinya.
4. **Trial (Percobaan):** Ikan mulai mencoba perilaku baru yang berkaitan dengan stimulus.
5. **Adoption (Adopsi):** Ikan sepenuhnya mengadopsi perilaku baru berdasarkan pengetahuan, kesadaran, dan sikapnya terhadap stimulus tersebut.

## 7.2 Dampak Polusi dan Aktivitas Manusia pada Perilaku Ikan

Polusi dan aktivitas manusia memiliki dampak signifikan terhadap perilaku ikan di lingkungan perairan. Polusi adalah segala perubahan yang tidak diinginkan yang berdampak negatif pada lingkungan. Gangguan ini mempengaruhi pola makan, reproduksi, migrasi, interaksi sosial, dan respons ikan terhadap predator. Selain itu, perubahan yang disebabkan oleh pencemaran lingkungan, perusakan habitat, dan aktivitas eksploitasi juga menurunkan kesehatan ekosistem secara keseluruhan. Polusi merupakan faktor utama yang memberikan ancaman serius terhadap kebersihan populasi ikan yang hidup di air kolam. Polusi berperan besar dalam mengurangi kepadatan ikan dan menjadi penghalang dalam produksi ikan secara komersial. Berbagai



jenis polusi, seperti polusi atmosfer, polusi biologis, eutrofikasi, dan polusi kimia seperti hujan asam (asidifikasi), berdampak pada produksi ikan di kolam (Liaqat *et al.*, 2017). Pencemaran air, baik itu polusi kimia (misalnya logam berat, pestisida, atau bahan kimia industri) atau polusi biologis (seperti peningkatan populasi mikroorganisme patogen), dapat berdampak buruk pada kesehatan ikan.

Polusi kimia dapat menyebabkan keracunan, merusak organ dalam ikan, atau mengganggu proses pernapasan mereka. Beberapa ikan mungkin mengalami gangguan dalam sistem saraf atau pencernaan. Stres akibat polusi dapat mengubah pola migrasi ikan, menyebabkan mereka bergerak menjauhi area yang tercemar. Polusi juga dapat menyebabkan ikan kehilangan kemampuan untuk melakukan pergerakan normal atau menghindari predator.

### 1. Polusi partikulat

Partikel-partikel ini dapat mengendap di air dan dikonsumsi oleh ikan, sehingga berpotensi membahayakan kesehatan mereka. Selain itu, partikel tersebut mampu menyebarkan cahaya, yang dapat mengganggu pertumbuhan tanaman dan alga di perairan, serta secara tidak langsung memengaruhi rantai makanan akuatik. Polusi partikel juga dapat membawa kontaminan seperti logam berat beracun dan senyawa organik, yang dapat terakumulasi dalam jaringan ikan dan akhirnya dikonsumsi oleh manusia. Polutan ini mengancam kehidupan akuatik melalui berbagai mekanisme, termasuk kerusakan fisik, konsumsi langsung, bioakumulasi, pengurangan intensitas cahaya, dan toksisitas (Gokul *et al.*, 2023).

### 2. Polusi logam berat

Polusi logam berat merupakan salah satu ancaman terbesar bagi ekosistem perairan, terutama bagi kehidupan ikan. Logam berat seperti merkuri (Hg), timbal (Pb), kadmium (Cd), dan arsenik (As) biasanya berasal dari aktivitas manusia, seperti limbah industri, penambangan, penggunaan pestisida, dan limbah rumah tangga yang tidak terolah. Setelah masuk ke badan air, logam berat ini menjadi polutan yang berbahaya karena sifatnya yang sulit terurai dan dapat terakumulasi dalam tubuh organisme. Dampak polusi bagi ikan sebagai berikut :

- a. **Kelainan Bentuk (Deformasi).** Logam berat dapat mengganggu proses perkembangan ikan sejak tahap larva hingga dewasa.



Kerusakan genetik yang disebabkan oleh toksisitas logam berat seringkali memicu deformasi fisik, seperti cacat pada tulang, insang, atau sirip. Kelainan ini dapat memengaruhi kemampuan ikan untuk berenang, mencari makan, dan bertahan hidup.

- b. Masalah Reproduksi.** Paparan logam berat dapat mengganggu sistem hormonal (endokrin) ikan. Pada ikan betina, hal ini dapat menyebabkan penurunan jumlah dan kualitas telur, sementara pada ikan jantan, produksi sperma dapat terganggu atau menurun. Dalam kasus parah, paparan jangka panjang dapat menyebabkan sterilitas, sehingga mengancam keberlanjutan populasi ikan di perairan tersebut.
- c. Kematian.** Logam berat bersifat toksik ketika mencapai konsentrasi tertentu dalam tubuh ikan. Kerusakan organ-organ vital seperti hati, ginjal, dan insang sering terjadi akibat paparan logam berat. Akibatnya, ikan dapat mengalami gagal organ atau gangguan fungsi fisiologis yang berujung pada kematian, baik secara individu maupun dalam skala populasi.

### 3. Polusi pestisida

Polusi pestisida di lingkungan perairan dapat mempengaruhi tingkah laku ikan secara signifikan melalui berbagai mekanisme biologis dan ekologi. Pestisida yang masuk ke ekosistem air melalui aliran permukaan dari aktivitas pertanian, industri, atau rumah tangga, dapat bersifat toksik dan mengganggu fungsi normal tubuh ikan. Paparan pestisida dalam konsentrasi tertentu dapat menyebabkan perubahan dalam pola renang, perilaku makan, interaksi sosial, dan respons terhadap ancaman.

Pestisida neurotoksik dapat mempengaruhi sistem saraf ikan, mengakibatkan gerakan tidak terkoordinasi, kehilangan keseimbangan, dan respons yang lambat terhadap predator. Selain itu, pestisida dapat menimbulkan stres, yang seringkali terlihat dari tingkah laku agresif atau gelisah. Gangguan pada pola makan juga umum terjadi, di mana ikan menjadi kurang aktif mencari makanan atau bahkan berhenti makan sepenuhnya, yang berdampak buruk pada pertumbuhan dan reproduksi.

Pestisida dapat mengubah distribusi ikan di ekosistem, karena ikan cenderung menghindari area yang tercemar. Hal ini memaksa mereka berpindah ke habitat yang mungkin kurang mendukung



kebutuhan biologis mereka, seperti makanan dan tempat berlindung. Akumulasi pestisida dalam tubuh ikan juga dapat memengaruhi kesehatan jangka panjang mereka dan bahkan memiliki implikasi pada kesehatan manusia yang mengonsumsi ikan tersebut.

#### **4. Polusi tumpahan minyak**

Polusi akibat tumpahan minyak di perairan memiliki dampak signifikan terhadap perilaku ikan, baik secara langsung melalui paparan bahan kimia berbahaya maupun secara tidak langsung melalui kerusakan ekosistem. Ketika minyak tumpah ke laut atau sungai, senyawa-senyawa beracun seperti hidrokarbon aromatik langsung mencemari lingkungan, merusak habitat, dan mempengaruhi fisiologi serta tingkah laku ikan.

Dampak tumpahan minyak terhadap stok ikan sering kali kurang memperhitungkan bahwa pola spasial kematian alami bisa mempengaruhi besar dampaknya seiring waktu. Pengaruh tumpahan minyak terhadap stok ikan bergantung pada jumlah telur dan larva yang terbunuh akibat tumpahan, serta bagaimana tingkat kematian pada tahap awal mempengaruhi kelangsungan hidup kelompok di tahap berikutnya. Tumpahan minyak dapat menimbulkan dampak ekologis dan sosial ekonomi yang cukup besar (Langangen *et al.*, 2017). Ikan yang terpapar minyak sering menunjukkan perubahan pola renang, seperti kesulitan menjaga keseimbangan atau berenang secara tidak terarah. Perilaku makan mereka juga terganggu karena senyawa dalam minyak dapat merusak indra penciuman yang penting untuk mendeteksi makanan. Selain itu, kemampuan ikan untuk mengenali dan menghindari predator menurun, membuat mereka lebih rentan terhadap serangan.

Perubahan perilaku sosial, seperti terganggunya pola kawin atau pembentukan kelompok, juga umum terjadi pada ikan yang terpapar minyak. Hidrokarbon dalam minyak dapat menyebabkan stres fisiologis, yang terlihat dari perilaku gelisah, agresif, atau sebaliknya menjadi pasif. Beberapa senyawa bahkan memiliki efek neurotoksik, mengganggu fungsi sistem saraf ikan dan menyebabkan perilaku abnormal, seperti gerakan repetitif atau kehilangan orientasi.

Selain efek langsung pada ikan, tumpahan minyak juga merusak habitat akuatik, seperti terumbu karang, vegetasi bawah air, dan dasar laut. Kerusakan habitat ini memaksa ikan untuk mencari tempat tinggal baru yang seringkali kurang sesuai dengan kebutuhan hidup mereka.



Secara keseluruhan, polusi tumpahan minyak tidak hanya memengaruhi perilaku individu ikan tetapi juga mengancam keseimbangan ekosistem akuatik. Dampaknya dapat dirasakan dalam jangka panjang, mulai dari penurunan populasi ikan hingga gangguan pada rantai makanan dan fungsi ekosistem secara keseluruhan.



# Bab 8

## PERILAKU AGRESIF DAN PERTAHANAN DIRI

Agresif didefinisikan sebagai setiap perilaku yang terkait dengan ancaman, serangan atau strategi pertahanan di antara individu atau kelompok (Nelson, 2005; Siegel *et al.*, 2009). Tidak terkecuali ikan, ikan memiliki perilaku agresif yang sangat beragam misalnya sistem sosial dan cara reproduksinya (Magnhagen *et al.*, 2008). Hal ini dikarenakan ikan memiliki cara berkomunikasi secara kimiawi dalam pembentukan hirarki dominasi (Barata *et al.*, 2007; Gonçalves-de-Freitas *et al.*, 2008; Keller-Costa *et al.*, 2016).

### 8.1 Karakteristik Perilaku Agresif

Menurut Magnhagen *et al.* (2008); Hardy dan Briffa (2013); dan Almeida *et al.* (2014), perilaku agresif diekspresikan untuk mengamankan sumber daya seperti makanan, wilayah dan, pasangan. Oleh karena itu, perilaku agresif akan lebih tinggi ketika sumber daya menjadi langka, misalnya perilaku agresif spesies yang hidup dalam kelompok tinggi selama fase awal pembentukan kelompok dan cenderung menurun pada kondisi hirarki sosial yang sudah stabil. Oliveira *et al.* (2011) menambahkan bahwa perilaku agresif ini juga dapat menjadi negatif pada kondisi ikan mulai menyerang dan berpotensi melukai ikan yang lainnya. Biasanya, pada kondisi ini ikan yang dominan akan menang dalam hal mempertahankan wilayahnya. Misalnya, pada spesies cichlid, ikan dengan bobot gonad yang relatif tinggi akan memenangkan pertarungan dalam mempertahankan wilayahnya.

Adapun ikan - ikan yang memiliki karakteristik perilaku agresif adalah ikan *stickleback* (*Gasterosteus aculeatus*) (Bakker *et al.*, 1989), ikan *killifish* bakau (*Kryptolebias marmoratus*) (Hsu *et al.*, 2014), gurame biru (*Trichogaster trichopterus*), ikan cupang (*Betta splendens*), dan nila



mozambik, dan lain sebagainya. Jenis – jenis ikan ini dapat menilai kemampuan bertarung dan pada kondisinya pada pertarungan selanjutnya. Perilaku agresif ini dimediasi oleh hormon androgen (Oliveira *et al.*, 2009).

Menurut Ercolini *et al.* (1981), pola perilaku agresif yang umum pada ikan sebagai berikut:

1. **Penyelaman ke bawah**, ikan menyelam dengan cepat pada sudut 45° ke dasar akuarium. Kedua ikan segera melakukan ini setelah dilepaskan dalam pengujian di akuarium.
2. **Tersentak**, ikan bergerak maju-mundur dengan cepat dan pendek di sepanjang sumbu depan-belakang.
3. **Zig-zag**, ikan melakukan pergerakan cepat ke kanan dan kiri di bidang horizontal bagian depan badan.
4. **Pitching**, ikan melakukan gerakan cepat ke depan yang mengikuti jalur sinusoidal di dalam bidang vertikal.
5. **Patroli**, ikan melakukan pemeriksaan menyeluruh di akuarium, biasanya mengikuti tepi bawah dan kadang-kadang melintasi secara diagonal.
6. **Moncong mendorong**, ikan meniup dengan bagian depan kepalanya, terkadang dengan mulut terbuka, biasanya mengenai sisi kepala lawan.
7. **Dorongan kepala**, ikan melakukan dorongan tunggal atau berulang dengan sisi kepala yang menyasar bagian samping depan tubuh lawan, umumnya terjadi saat kedua ikan berenang berdampingan.
8. **Dorongan lateral**, ikan dorongan yang memiliki kekuatan dan durasi bervariasi yang terjadi dengan seluruh tubuh ketika ikan bergerak berdampingan, terkadang saling membalas dan sering diiringi dengan dorongan kepala.
9. **Dorongan ventral**, ikan melakukan dorongan dari bawah perut lawan, sering dilakukan dengan kepala, yang berusaha mendorong ikan di atas menjauh dari level yang lebih rendah.
10. **Nip**, ikan melakukan gigitan cepat, lemah, sering kali dilakukan secara berulang di seluruh tubuh yang tidak menyebabkan kerusakan yang nyata pada korban.



11. **Gigitan**, ikan melakukan gigitan yang kuat, sering kali saling membalas dengan durasi bervariasi, biasanya terjadi di sirip tetapi juga bisa di bagian lain dari tubuh.
12. **Penguncian mulut**, ikan melakukan gigitan yang saling membalas dalam waktu yang lama di mulut, dengan satu ikan digigit oleh rahang bawah dan yang lainnya oleh rahang atas. Selama perilaku ini, salah satu ikan seringkali didorong ke belakang secara pasif.
13. **Menganga**, ikan membuka mulut sejauh mungkin, biasanya setelah menyelam atau kontak acak. Ini bisa terjadi bersamaan dengan pengejaran dan patroli saat ikan sangat terangsang.
14. **Terengah-engah**, awal yang sangat cepat, kuat, dan ritmis dari mulut dan operkulum saat ikan beristirahat di dasar akuarium, biasanya setelah pertarungan yang lama dan intens.
15. **Mengejar**, proses cepat di mana satu ikan mengejar ikan lainnya, sering kali mencoba menggigit ekor individu yang berusaha melarikan diri. Tindakan ini dimulai dengan penambahan kecepatan mendadak dari ikan yang mengejar dan muncul setelah adanya kontak agresif atau acak, atau ketika keberadaan lawan terasa jelas.
16. **Saling mengejar**, putaran cepat di dasar akuarium di mana satu ikan mencoba menggigit ekor ikan lainnya.
17. **Penerbangan**, ikan melakukan pergerakan mundur yang diawali dengan peningkatan kecepatan mendadak dari ikan, setelah serangan atau kontak secara acak.
18. **Penghindaran**, perpindahan menjauh dari lawan, bervariasi dari perubahan arah hingga pergerakan kembali tanpa adanya pengejaran oleh ikan lain.
19. **Pendakian**, ikan bergerak dari dasar akuarium menuju tingkat atas, umumnya terkait dengan penerbangan atau penghindaran dan lebih jarang berhubungan dengan pengejaran.
20. **Postur ke atas**, ikan melakukan perhentian yang lama dalam posisi vertikal, menghadap permukaan dengan bagian ventral yang ditekan ke dinding akuarium. Ikan, biasanya di posisi bawah, mempertahankan posisi ini dengan gerakan lambat dari ekornya, kadang-kadang tenggelam secara pasif ke dasar di mana ia tetap diam sejenak dengan ujung ekornya menyentuh dasar.



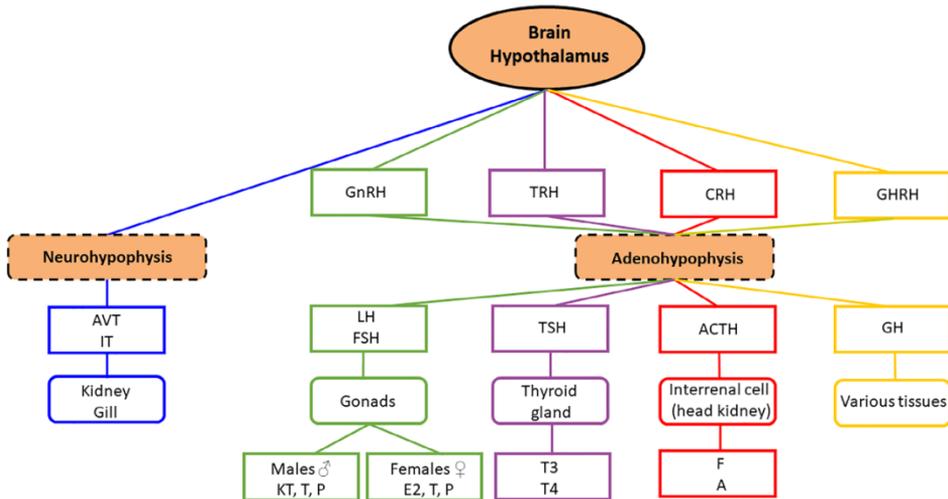
21. **Melompat**, ikan melakukan upaya berulang untuk meloncat keluar dari akuarium, biasanya dilakukan oleh ikan yang berada di bawah. Tindakan ini dapat dimulai dengan postur ke atas.

## 8.2 Modulasi Endokrin pada Agresif Ikan

Tinjauan peran hormon dalam komunikasi kimia dan agresif sangat penting, karena senyawa ini dan metabolitnya telah ditemukan juga bertindak sebagai feromon potensial, setidaknya pada ikan. Sistem neuroendokrin pada ikan mirip dengan vertebrata lainnya, di mana hipotalamus mengontrol aktivitas kelenjar hipofisis anterior dan fungsi beberapa kelenjar endokrin perifer lainnya. Pada ikan, kelenjar hipofisis terdiri dari dua jenis jaringan yaitu adenohipofisis dan neurohipofisis. Adenohipofisis adalah tempat sintesis, penyimpanan, dan melepaskan beberapa hormon ke dalam aliran darah. Kegiatan ini dikontrol langsung dari neuron hipotalamus dan melalui umpan balik hormone perifer. Sedangkan neurohipofisis adalah agregat dari akson untuk menyimpan dan melepaskan neuropeptide yang disintesis dalam badan sel hipotalamus (Oliveira dan Gonçalves, 2008). Sistem pembuluh darah portal hipofisial yang mentransfer faktor pelepas dari hipotalamus ke hipofisis dapat ditemukan pada vertebrata yang lebih maju, namun biasanya dianggap tidak ada pada teleostei, karena dalam takson ini, Adenohypophysis mendapatkan persarafan langsung dari hipotalamus (Peter *et al.*, 1990). Walaupun demikian, telah diusulkan adanya sistem portal atau kontribusi vaskular (Baskaran dan Sathyanesan, 1992).

Peran utama androgen pada ikan jantan adalah untuk menstimulasi pertumbuhan, pematangan testis dan perkembangan karakteristik seksual sekunder, serta ekspresi reproduksi (Patrão *et al.*, 2009). Perilaku agresi biasanya berbeda antara jenis kelamin dan umumnya lebih tinggi pada jantan (Huntingford dan Turner, 1987). Hal ini sejalan dengan Ogino *et al.* (2016) bahwa pemberian 11-ketotestosteron (11KT) dapat meningkatkan agresifitas. Rahmadiyah *et al.* (2019) juga menambahkan bahwa ikan lele yang diinjeksi hormon metiltestosteron dapat meningkatkan perilaku berenang dan agresinya. Modulasi agresi antara hormon sumbu hipotalamus - hipofisis - gonad (HPG) disajikan pada **Gambar 8.1**.





**Gambar 8.1.** Skema representasi organisasi hierarkis sistem neuroendokrin pada ikan  
(Sumber: Oliveira dan Gonçalves, 2008; da Silva *et al.*, 2020)

Regulasi hormon melalui sumbu hipotalamus - hipofisis - interrenal (HPI) juga berperan dalam pengaturan agresi. Faktor pelepasan kortikotropin (Crf) memicu pengeluaran hormon adrenokortikotropik (Acth) oleh kelenjar hipofisis anterior, selanjutnya merangsang jaringan interrenal untuk menghasilkan kortisol yang merupakan kortikosteroid utama pada ikan. Pada spesies ikan yang lebih rendah menunjukkan peningkatan aktivitas HPI dan kortisol (Doyon *et al.*, 2003). Tingkat kortisol dan mRNA dari reseptor Crf dan Crf1 dengan cepat mengalami penurunan regulasi pada ikan jantan. Sumbu HPI dilibatkan dalam perubahan fisiologis yang terkait dengan pergeseran dominasi (Carpenter *et al.*, 2014).

### 8.3 Komunikasi dan Agresivitas

Sebagian besar interaksi antara hewan melibatkan bentuk komunikasi. Oleh sebab itu, memahami fenomena ini sangat penting untuk benar-benar mengapresiasi perilaku hewan. Komunikasi dapat dijelaskan dengan sederhana sebagai tindakan mentransfer informasi secara sengaja dari pengirim kepada penerima, yang kemudian memicu respons dari penerima tersebut (Bradbury dan Vehrencamp, 2015). Komunikasi yang bersifat agresif dalam lingkungan perairan dapat

disampaikan melalui berbagai cara sensorik berupa visual, auditori, mekanosensorik, listrik, dan kimia, baik secara terpisah maupun dalam komunikasi multimodal yang terintegrasi (Butler dan Maruska, 2015; Chabrolles *et al.*, 2017; Frommen, 2020).

Tingkah laku agresif dapat dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu tampilan ancaman, di mana hewan memperbesar ukuran fisik mereka yang terlihat, seperti dengan mengangkat sirip dan melebarkan penutup insang (Huntingford dan Turner, 1987) atau dengan mengubah warna atau pola tubuh untuk menunjukkan supremasi (Dawkins dan Guilford, 1993), dan serangan di mana hewan dengan jelas menyerang, mengejar, atau menggigit lawan (Pitcher, 1993; Reeb, 2001; Rahmadiah *et al.*, 2019). Frekuensi dari tampilan agresif ini bervariasi di antara individu dari spesies yang sama, yang memungkinkan pengamat mengenali hubungan dominasi dan kepatuhan di antara mereka (McDonald *et al.*, 1968).

Sudah banyak ikan menggunakan sinyal suara dalam konteks agresif, dengan ini biasanya diekspresikan setelah deteksi visual lawan dan/atau penyusup. Suara dapat digunakan selama pertemuan agonis dan dapat mempengaruhi hasil kontes (Ladich dan Myrberg, 2006). Beberapa ikan dapat menghasilkan pelepasan listrik, dalam kisaran milivolt yang diusulkan untuk bertindak sebagai sinyal untuk berkomunikasi (Tricas dan Carlson, 2012). Tegangan yang lebih tinggi dapat digunakan untuk menghindari predator atau melumpuhkan mangsa. Di antara berbagai spesies, beberapa telah mampu mengatasi untuk berinteraksi menggunakan sinyal listrik, termasuk ikan pisau kaca (*Eigenmannia virescens*) (Hopkins, 1974; Hupé dan Lewis, 2008); ikan pisau hantu coklat (*Apteronotus leptorhynchus*) (Zakon *et al.*, 2002; Zupanc, 2002) dan sejumlah Mormyrid, yaitu *Petrocephalus catostoma*, *Cyphomyrus discorhynchus*, *Hippopotamyrus* sp. (Scheffel dan Kramer, 2000), *Gnathonemus petersii* (Bell *et al.*, 1974) serta *Pollimyrus isidori* (Bratton dan Kramer, 1989). Organ listrik dapat dilepaskan dalam situasi yang melibatkan pertempuran, dan fitur-fitur ini bisa menunjukkan dominasi serta mengkomunikasikan informasi kepada pihak lain (Dunlap dan Larkins-Ford, 2003).

Sistem garis lateral terlibat dalam interaksi yang bersifat agresif dan memainkan peran dalam evaluasi tanpa kontak serta perilaku berkelahi sebagai suatu cara untuk melindungi dari cedera fisik pada A.



*burtoni* (Butler dan Maruska, 2015). Selain itu, garis lateral diduga terlibat dalam komunikasi melalui suara, karena gerakan sirip dan ekor menghasilkan aliran air yang menargetkan lawan (Ladich dan Myrberg, 2006). Sejauh ini, peran sinyal kimia selama interaksi agresif belum mendapatkan perhatian yang cukup. Beberapa penelitian awal menunjukkan bahwa zat kimia digunakan untuk mengkomunikasikan informasi selama pertemuan agresif, dan terdapat bukti mengenai feromon yang menunjukkan dominasi yang dipakai ikan untuk mengindikasikan posisi sosial mereka (Barata *et al.*, 2007; Gonçalves-de-Freitas *et al.*, 2008; Maruska dan Fernald, 2012; Keller-Costa *et al.*, 2016).

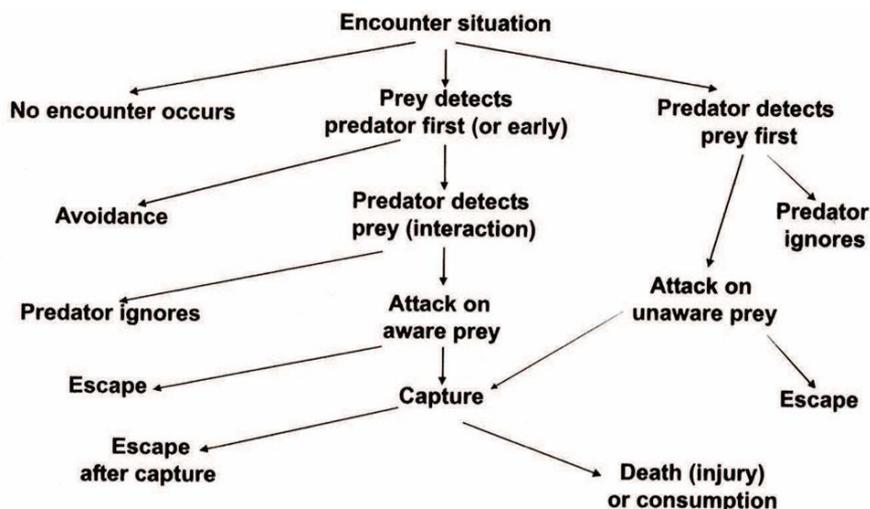
#### **8.4 Relevansi Agresivitas dalam Pemeliharaan Ikan**

Salah satu inovasi yang secara pesat berkembang dan merupakan sektor produksi makanan yang secara teknis maju. Hal ini diinisiasi alternatif untuk penangkapan ikan, serta menurunnya jumlah populasi ikan liar, yang berkaitan dengan meningkatnya kebutuhan akan produk ikan, akan mendorong pertumbuhan yang cepat dalam beberapa tahun ke depan (Béné *et al.*, 2015; Longo *et al.*, 2019). Kesejahteraan ikan dalam akuakultur menjadi topik penting untuk pandangan masyarakat, pemasaran, serta penerimaan produk, dan juga untuk industri itu sendiri dalam meningkatkan efisiensi, kualitas, dan jumlah produksi (Kupsala *et al.*, 2013). Namun demikian, terjadi interaksi perilaku di antara ikan yang dibudidayakan, dan tingkat kepadatan yang tinggi dapat menyebabkan stres yang berkepanjangan dengan menghalangi perilaku sosial yang normal (Ashley, 2007; Rahmadiyah *et al.*, 2019), yang dapat mengakibatkan pertumbuhan ikan yang kurang optimal.

Namun demikian, pada beberapa spesies, kepadatan tebar yang tinggi dapat menyebabkan berkurangnya agresivitas dan peningkatan pertumbuhan, misalnya, *Tilapia rendalli* (Torrezani *et al.*, 2013), *Clarias gariepinus* (Rahmadiyah *et al.*, 2019). Stres sosial dan ukuran yang tidak rata mendorong perilaku agresif. Interaksi agresif menyebabkan cedera pada mata, ekor, dan sirip dada, yang memfasilitasi infeksi sekunder dan dapat menyebabkan kematian (Ashley, 2007).

Kemungkinan hasil interaksi antara predator dan mangsa pada langkah yang berbeda dalam urutan pertemuan predator-mangsa disajikan pada **Gambar 8.2**.





**Gambar 8.2** Urutan pertemuan antara interaksi predator dan mangsa  
(Sumber: Johnsson *et al.*, 2004)

## 8.5 Komunikasi Secara Kimia

### 8.5.1 Feromon dan Isyarat

Dalam komunikasi kimia, informasi disampaikan melalui pelepasan dan pengenalan sinyal kimia dan/atau feromon (Phillips, 2008). Sinyal kimia dapat digambarkan sebagai rangsangan yang mampu mendorong reaksi kemo-sensorik pada hewan (Sorensen dan Wisenden, 2015), sedangkan feromon adalah sinyal kimia yang dikeluarkan oleh satu individu yang menginduksi respons bawaan dan/atau fisiologis dalam spesies yang sama (Kekan *et al.*, 2017). Feromon diklasifikasikan sebagai "sinyal" yang telah berevolusi dengan tujuan mengubah perilaku individu lain dan berfungsi dengan baik karena respons penerima juga telah berevolusi (Smith dan Harper, 2003). Sinyal kimia mengirimkan informasi satu arah kepada penerima dan tidak menawarkan keuntungan bagi pengirim; sebaliknya, feromon digunakan untuk berinteraksi, yang menunjukkan ada respon dari penerima kepada pengirim, dan kedua belah pihak mungkin mendapatkan manfaat (Laidre dan Johnstone, 2013). Sistem feromon telah berkembang khusus untuk komunikasi dan diidentifikasi berdasarkan respons biologis yang ditimbulkan. Oleh karena itu, feromon yang secara langsung memicu respons perilaku dikategorikan sebagai feromon "pelepas", sedangkan yang menghasilkan

efek fisiologis, yang kemudian dapat memengaruhi perilaku, disebut sebagai feromon "primer" (Sorensen *et al.*, 2010; Wyatt, 2014).

Menurut Sorensen dan Wisenden (2015), sebagai definisi yang bersifat fungsional, istilah-istilah ini memang tidak saling menyingkirkan satu sama lain. Contoh klasik dari feromon pelepas adalah metabolit hormonal yang meningkatkan libido, sementara feromon primer ditunjukkan oleh senyawa yang dihasilkan wanita sebelum ovulasi yang memicu perubahan endokrin spesifik pada pria, yang menyebabkan peningkatan jumlah *milt*. Beberapa jenis feromon berasal dari, dan mungkin tertukar dengan, hormon - dikenal sebagai feromon hormonal. Meskipun begitu, hormon merupakan kategori molekul penanda yang diproduksi dalam kelenjar dalam tubuh dan disalurkan melalui sistem peredaran darah untuk mengatur fungsi fisiologis dan perilaku individu yang memproduksinya. Feromon pada ikan terdiri dari: feromon yang menunjukkan dominasi (berperan dalam penyusunan dan pemeliharaan struktur sosial); feromon pengenalan kerabat dan pengumpulan, (penting untuk melindungi diri dari predator dan juga mendukung proses migrasi); serta feromon yang terkait dengan reproduksi, yang penting untuk pemilihan pasangan dan tindakan reproduksi.

Contoh lain seperti isyarat kimia pada ikan adalah kairomon, bau berasal dari spesies lain seperti predator atau mangsa, misalnya, post isyarat konsumsi yang dilepaskan dari makanan predator. Pada ikan, rangsangan kimia diketahui diekskresikan dan/atau menginduksi respons perilaku dan fisiologis dalam nonspesifik termasuk asam amino (dan turunannya), asam empedu, steroid gonad (dan konjugatnya) dan prostaglandin (Hara, 1994; Sorensen *et al.*, 2010). Feromon mungkin senyawa tunggal atau lebih sering sebagai campuran multikomponen dan dengan demikian perbedaan feromon dan komponen/konstituen feromon penting. Sedikit variasi dalam campuran mungkin mencerminkan keadaan fisiologis individu, termasuk status dalam hierarki, dan mempengaruhi respons dalam konspesifik (Sorensen dan Wisenden, 2015).



## 8.5.2 Sekresi, Transmisi, dan Penerimaan Feromon

### A. Sekresi

Penelitian mengenai produksi feromon biasanya dilakukan pada mamalia dan serangga, namun jarang terjadi pada spesies ikan. Feromon yang terdapat pada serangga dan mamalia sering kali dihasilkan oleh berbagai kelenjar khusus, baik yang berada di dalam tubuh maupun yang ada di luar (Wyatt, 2014). Sebagian besar kajian mengenai ikan berfokus pada feromon yang berhubungan dengan reproduksi dan menunjukkan bahwa feromon tersebut sebagian besar dihasilkan oleh gonad (testis dan ovarium. Pada ikan blenny (*Salaria pavo*), feromon yang mempengaruhi ketertarikan seksual betina dikeluarkan oleh kelenjar yang terletak di dekat sirip anus. Kelenjar yang terdapat di testis, kelenjar anus, dan/atau kantong buta (struktur berpasangan yang mencuat dari saluran spermatika) mungkin merupakan lokasi di mana feromon dihasilkan (Serrano *et al.*, 2008). Pada ikan goby hitam (*Gobius niger*), zat atraktan ini terlihat disintesis di kelenjar mesorkial, yang adalah bagian dari testis (Colombo *et al.*, 1980; Colombo dan Burighel, 1974).

### B. Transmisi

Transmisi melibatkan perjalanan feromon dari saat dilepaskan hingga mencapai target penerima. Ketika feromon dilepaskan ke dalam air akan dibawa oleh arus turbulen dan aliran yang berbeda, di mana hewan bisa memanfaatkan arus alami atau yang mereka ciptakan sendiri untuk meningkatkan efektivitas penyebaran feromon (Chung-Davidson *et al.*, 2010) Selama proses penularan, pengaruh feromon bisa terganggu oleh zat kimia lain yang terlarut, yang dapat berikatan dengan feromon atau menghalangi reseptor, seperti dalam kasus asam humat, atau dapat merusak fungsi atau menyebabkan kerusakan pada neuron sensorik penciuman, contohnya logam berat (Hubbard *et al.*, 2002; Tierney *et al.*, 2010).

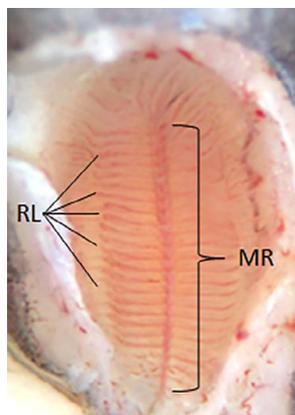
Feromon dapat dilepaskan ke dalam lingkungan melalui berbagai cara seperti insang, urin, lendir kulit, feses, air mani, dan cairan ovarium (Rosenthal *et al.*, 2011; Félix *et al.*, 2013; Giaquinto *et al.*, 2015; Saraiva *et al.*, 2017; Bayani *et al.*, 2017; Lecchini *et al.*, 2018; Scott *et al.*, 2019). Pada spesies *Oreochromis mossambicus*, *Oreochromis. auratus*, dan *Salmo salar*, urin berperan sebagai metode utama untuk mengeluarkan feromon (Almeida



*et al.*, 2005; Barata *et al.*, 2008). Frekuensi buang air kecil pada jantan *O. mossambicus* dipengaruhi oleh situasi sosial di mana jantan yang lebih dominan cenderung menyimpan urin lebih banyak dibandingkan jantan yang lebih rendah statusnya, dan memiliki konsentrasi feromon yang lebih tinggi. Ukuran kandung kemih serta ketebalan ototnya berkaitan erat dengan posisi sosial yang dimiliki (Keller-Costa *et al.*, 2014).

### C. Penerimaan

Sebagian besar vertebrata darat memiliki dua organ kemosensori yang berbeda: epitel penciuman utama dan organ vomeronasal. Meski begitu, ikan tidak memiliki organ vomeronasal dan bulbus olfaktorius (Mombaerts, 2004). Sebaliknya, mereka memiliki satu epitel penciuman utama pseudostratified di masing-masing sisi kepala, yang umumnya tersusun dalam organ penciuman multilamellar (**Gambar 7.3**), dan reseptor bau dinyatakan dalam epitel penciuman utama dengan informasi yang diteruskan ke sistem saraf pusat melalui saraf kranial 1, yaitu saraf penciuman (Hashiguchi *et al.*, 2008; Sorensen dan Wisenden, 2015). Organ penciuman berada di dalam rongga hidung yang biasanya terdiri dari dua lubang hidung untuk masuk, di mana air masuk, dan dua lubang hidung untuk keluar yang terletak di bagian belakang (Kermen *et al.*, 2013); kecuali pada golongan cichlid karena mereka hanya memiliki satu lubang hidung di setiap sisi (Escobar-Camacho dan Carleton, 2015).



**Gambar 8.3.** Organ penciuman dari belut Eropa (*Anguilla anguilla* L.). MR: median raphe; RL: Lamela radial  
(Sumber: da Silva *et al.*, 2020)

Epitel penciuman utama terpapar campuran zat yang berbeda yang larut dalam air, dan kemampuan untuk mengenali berbagai aroma sangat penting bagi hewan dalam proses navigasi dan pengambilan keputusan (Chung-Davidson *et al.*, 2010). Untuk mendeteksi aroma, diperlukan ikatan dengan reseptor penciuman yang terhubung dengan protein G di membran sistem saraf penciuman pada epitel penciuman (Sorensen dan Wisenden, 2015). Reseptor penciuman memiliki banyak variasi dan dapat dibagi menjadi reseptor olfaktori, *trace amine-associated receptors* (TAARs), serta reseptor vomeronasal tipe I dan II (V1R dan V2Rs) (Alioto dan Ngai, 2005; Fleischer *et al.*, 2009).

Beragam penelitian telah memberikan pemahaman mengenai sistem saraf penciuman dan hubungannya dengan feromon. Contohnya, pada ikan *Onchorychus mykiss*, sistem saraf penciuman bersilia menunjukkan respons umum terhadap berbagai jenis aroma, termasuk feromon dan asam amino, sedangkan sistem saraf penciuman mikrovillous khusus untuk mendeteksi asam amino (Sato dan Suzuki, 2001). Pada *Ictalurus punctatus*, asam amino terdeteksi oleh sistem saraf penciuman bersilia dan sistem saraf penciuman mikrovili, sedangkan garam empedu terdeteksi oleh sistem saraf penciuman bersilia (Hansen *et al.*, 2003). Pada *Carassius carassius*, deteksi sinyal alarm berlangsung di sistem penciuman bersilia (Døving dan Lastein, 2009) seperti juga beberapa feromon kelamin. Terjadi pengkodean spasial dari input penciuman di organ penciuman, karena setiap sistem saraf penciuman yang mengekspresikan reseptor penciuman tertentu mengirimkan aksonnya ke glomeruli yang sama (misalnya asam amino merangsang aktivitas di glomeruli lateral, garam empedu merangsang bagian medial dan bagian posterior terpicu oleh sinyal alarm (Lastein *et al.*, 2006).

## **8.6 Tingkah Laku Pertahanan Diri pada Ikan**

Menurut Fuiman dan Magurran (1994), beragam karakteristik pertumbuhan, morfologi, perilaku, dan pengalaman, memainkan peran penting dalam membuat ikan muda sangat rentan terhadap predasi. Dampak dari karakteristik-karakteristik ini menjadi lebih kompleks karena fase larva merupakan salah satu tahap perubahan yang sangat cepat dan signifikan. Meskipun demikian, kelangsungan hidup tetap menjadi tujuan utama; hanya dengan mencapai tingkat kematangan, ikan



dapat memiliki peluang untuk bereproduksi. Dengan risiko yang begitu besar, tidak mengherankan jika mekanisme pertahanan terhadap predator sangat krusial di seluruh tahap kehidupan. Pembatasan dalam proses perkembangan dapat memperkecil kemungkinan pertahanan bagi ikan muda. Tindakan menghindar, yang dapat mengurangi kemungkinan bertemu dengan predator atau menjadi sasaran serangan, sebagian terlihat pada fase paling awal. Di fase ini, faktor-faktor seperti ukuran, warna, dan penyebaran digunakan untuk menghindari perhatian dari pemangsa. Seiring dengan pertumbuhan dan peningkatan kompleksitas morfologis serta perilaku, ikan menjadi memiliki lebih banyak cara untuk menghindari predator ketika upaya penghindaran sebelumnya gagal.

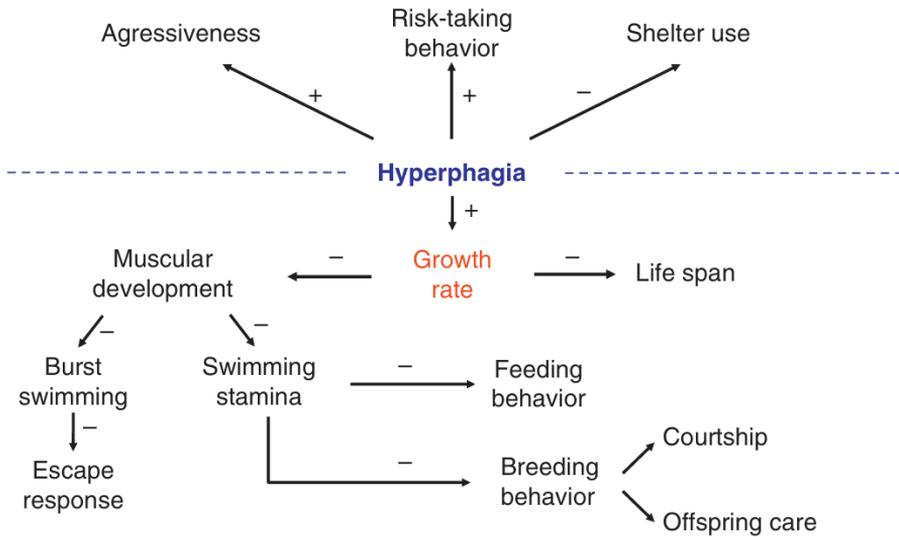
Ikan yang lebih dewasa semakin terampil dalam merespon rangsangan dari luar dan bisa mengenali serta bereaksi terhadap ancaman seperti predator atau berkolaborasi dengan jenis yang sama untuk pertahanan kolektif. Evolusi perilaku tidak hanya terjadi karena pertumbuhan fisik dan perubahan tubuh yang menyertainya; hal ini juga dipengaruhi oleh pengalaman yang diperoleh dari interaksi dengan lingkungan fisik dan organisme lain. Kecenderungan untuk memberikan respons terhadap pengalaman mungkin dipengaruhi oleh faktor-faktor sejarah evolusi. Walaupun angka kematian menurun secara signifikan seiring dengan perkembangan dan kematangan, perubahan dalam ukuran atau perilaku bisa meningkatkan risiko ikan terhadap predator baru. Strategi untuk menghindari predator yang efektif dapat mengganggu aktivitas lain, seperti mencari makanan, sehingga individu mungkin harus menyeimbangkan tuntutan yang bertentangan. Pergerakan ke dalam *niche* yang berbeda, misalnya, saat individu dari ukuran tertentu memilih untuk bersembunyi di habitat yang kurang ideal bagi makan, merupakan salah satu bentuk pengorbanan tersebut.

### **8.7 Dampak Kompensasi Pertumbuhan terhadap Tingkah Laku Ikan**

Banyak akibat dari percepatan pertumbuhan berhubungan dengan perilaku yang ditunjukkan oleh hewan selama dan setelah proses kompensasi, terutama yang berkaitan dengan perubahan pola makan dan pertimbangan antara pertumbuhan yang lebih cepat dan peningkatan risiko yang dihadapi ikan saat mencari makanan tambahan. Perubahan



tersebut dapat dibagi menjadi dua kategori berbeda, tergantung pada apakah perubahan itu terjadi selama fase kompensasi atau merupakan hasil dari peningkatan laju pertumbuhan (**Gambar 7.4**).



**Gambar 8.4.** Gambaran skematis mengenai dampak langsung dan tidak langsung dari pertumbuhan kompensasi terhadap perilaku ikan; di mana hiperfagia mencerminkan lonjakan dalam tingkat asupan makanan yang berkaitan dengan pertumbuhan kompensasi (Sumber: Álvarez, 2024)

Keterangan: Di atas garis biru: modifikasi perilaku selama Kompensasi; Di bawah garis biru: dampak yang tertunda dari pertumbuhan kompensasi pada perilaku ikan. +, hubungan yang positif; -, hubungan yang negatif.

Álvarez (2024) juga menambahkan bahwa dampak kompensasi pertumbuhan terhadap tingkah laku ikan terdiri dari:

### 1. Dampak pada Penghindaran dari Predator

Pertumbuhan yang cepat dapat mempengaruhi kemampuan bergerak, mungkin melalui pengaruh pada struktur otot dan perkembangannya. Pada beberapa spesies ikan, individu yang tumbuh dengan cepat memiliki proporsi serat otot putih berdiameter kecil yang



lebih tinggi serta lebih banyak serat otot merah berukuran sama dibandingkan dengan individu yang tumbuh lebih lambat, yang dapat berdampak negatif pada daya berenang ikan. Dalam situasi pertumbuhan kompensasi, keuntungan dari pertumbuhan yang lebih cepat dapat sebanding dengan biaya dalam hal pergerakan. Banyak spesies ikan mengandalkan renang sebagai cara untuk menghindari predator, dan kecepatan dalam merespons situasi ini sangat berhubungan dengan peluang selamat dari usaha pemangsaan. Dalam sebuah penelitian mengenai ikan sisi perak Atlantik, individu-individu yang tumbuh lebih cepat menunjukkan performa berenang yang lebih buruk saat mendadak bergerak, yang menunjukkan adanya pengorbanan antara laju pertumbuhan dan kemampuan berenang.

Selain itu, banyak jenis ikan memiliki bentuk fisik yang membantu mereka melindungi diri dari pemangsa. Sebagai contoh, pada ikan *stickleback* berduri tiga terdapat kemungkinan pertukaran menarik dalam penempatan sumber daya antara pertumbuhan tubuh dan pengembangan fitur pertahanan. Pada spesies tersebut, terdapat variasi yang jelas baik dalam satu populasi maupun antar populasi mengenai rata-rata elemen pertahanan terhadap pemangsa yang tentunya berkaitan dengan tingkat predasi dan kecenderungan ikan untuk mengambil risiko saat berburu makanan. Ikan yang berasal dari kelompok tanpa pemangsa cenderung memiliki jumlah pelat lateral dan duri yang lebih sedikit dibandingkan dengan ikan yang ada dalam populasi dengan tekanan pemangsaan yang tinggi. Penurunan jumlah duri dan lempeng ini dianggap sebagai bentuk regresi evolusi dari struktur pertahanan pada populasi yang hidup di danau dan sungai kecil yang tidak memiliki pemangsa. Mengingat adanya plastisitas fenotipik dari struktur ini, individu *stickleback* yang mengalami pertumbuhan kompensasi setelah fase pertumbuhan yang terhambat mungkin akan mengorbankan alokasi sumber daya untuk perlindungan tubuh demi meningkatkan laju pertumbuhan mereka. Dengan demikian, ikan tersebut akan memiliki tingkat perlindungan yang lebih rendah dibandingkan ikan yang tumbuh pada laju yang normal.



## 2. Dampak pada Perilaku Pemuliaan

Ikan serta hewan lain perlu mencapai ukuran tertentu agar dapat berpeluang menemukan pasangan dan melangsungkan perkawinan. Selain itu, perbedaan biaya terkait ukuran kecil pada musim kawin juga bervariasi antara jantan dan betina. Dalam kasus *stickleback* berduri tiga, penambahan panjang tubuh berkontribusi positif terhadap keberhasilan reproduksi pada kedua jenis kelamin. Namun, biaya untuk ukuran kecil lebih signifikan bagi jantan, karena betina dapat bereproduksi ketika panjangnya hanya 32 mm, sedangkan jantan yang berukuran 40 mm hampir dipastikan tidak akan mampu bereproduksi. Ikan serta hewan lain perlu mencapai ukuran tertentu agar dapat berpeluang menemukan pasangan dan melangsungkan perkawinan. Selain itu, perbedaan biaya terkait ukuran kecil pada musim kawin juga bervariasi antara jantan dan betina. Dalam kasus *stickleback* berduri tiga, penambahan panjang tubuh berkontribusi positif terhadap keberhasilan reproduksi pada kedua jenis kelamin. Namun, biaya untuk ukuran kecil lebih signifikan bagi jantan, karena betina dapat bereproduksi lebih jauh, peningkatan ukuran dari 40 mm ke 50 mm menggandakan jumlah telur yang dapat dihasilkan betina, sementara penambahan ukuran tubuh menyebabkan keberhasilan reproduksi pada jantan meningkat hingga 15 kali lipat. Kebutuhan untuk menemukan ukuran yang tepat dipersulit oleh keharusan untuk mengalokasikan sumber daya untuk atribut eksternal lain yang memengaruhi daya tarik seksual individu. Sama seperti menghindari predator, memiliki ukuran tubuh yang besar saat pemuliaan jelas memberikan keuntungan dalam hal kelangsungan hidup. Namun, pertumbuhan yang cepat diperlukan untuk mencapai ukuran tersebut mungkin menimbulkan biaya yang tinggi.

## 3. Dampak pada Pemuliaan Warna dan Daya Tarik Kelamin

Banyak ikan jantan menunjukkan ciri-ciri seksual sekunder saat mereka mencapai kematangan. Ciri-ciri ini mungkin berupa sirip yang sangat mencolok atau ornamen yang menarik yang ditampilkan oleh jantan selama ritual menarik pasangan. Mengingat bahwa karakteristik ini dapat mempengaruhi kemampuan berenang, mereka dianggap sebagai indikator jujur dari kualitas jantan, karena terdapat suatu pertukaran antara respons menghindar terhadap predator dan daya tarik seksual. Pertukaran ini bisa terpengaruh oleh pembatasan pada pola



makan dan bagaimana sumber daya dikelola saat pertumbuhan kompensasi berlangsung. Ikan ekor pedang hijau (*Xiphophorus helleri*) adalah ikan kecil yang hidup di daerah tropis, di mana jantan memiliki pedang panjang yang merupakan perpanjangan dari sirip ekor yang berkembang saat mereka mencapai kematangan seksual

#### **4. Dampak pada Perawatan Pasangan dan Keturunan**

Pembentukan kompensasi dapat mengganggu pengembangan otot dan memperkuat kinerja berenang. Meskipun dampak ini bisa mirip bagi jantan dan betina, ada kemungkinan bahwa hal ini lebih berdampak pada jantan terkait dengan keberhasilan reproduksi, mengingat banyak spesies betina adalah makhluk yang selektif dan biasanya menjauh dari jantan di kondisi lingkungan yang buruk atau yang memiliki karakteristik seksual yang kurang. Namun, pertumbuhan kompensasi pada betina dapat mempengaruhi investasi dalam reproduksi (misalnya, penurunan pada kualitas dan jumlah telur). Jantan yang tumbuh dengan cepat dan menunjukkan perawatan, setelah proses bertelur berpotensi menjadi indukan yang kurang efektif karena berkurangnya kemampuan berenang, yang akan berdampak negatif pada kemampuannya dalam mencapai telur dan melindungi sarang dari pengganggu, tetapi hal ini juga menunjukkan kemungkinan dampak tersebut. Sejumlah ikan salmonid bertelur di aliran sungai atau di sungai di mana betina membuat sarang pada kerikil dengan posisi miring di dasar dan kemudian bergerak maju dengan semangat (**Gambar 7.5**). Aktivitas ini yang krusial dapat terhambat oleh perkembangan otot yang tidak memadai setelah fase pertumbuhan yang terlalu cepat, dan hal ini dapat berdampak pada bentuk sarang serta perkembangan telur selanjutnya.





**Gambar 8.5.** Sejumlah ikan trout coklat sedang bertelur; Ikan betina menggunakan ekornya untuk membuat lubang di kerikil dengan cara mengibas-ibaskan.

(Sumber: Álvarez, 2024)

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Dineshababu, G. Sasikumar, P. Rohit, S. Thomas, K. Rajesh, and P. Zacharia.(2014). Methodologies for studying finfish and shellfish biology. no. July, 2014, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/305329627>
- A. J. Edwards, A. C. Gill, and P. O. Abohweyere. (2001). A revision of Irvine marine fishes of tropical West Africa, Darwin Initiat. Proj., no. March 2021, p. 178, 2001
- A. Nikhlani. (2021). Modul Fisiologi Dan Tingkah Laku Ikan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Mulawarman.
- Aizen J, Harel J, Levavi-Sivan B. (2007). Development of specific enzyme-linked immunosorbent assay for determining LH and FSH levels in tilapia, using recombinant gonadotropins. *Gen Comp Endocrinol*, 153, 323-332
- Albaa G, Michele N, Mouradb N, Paredesa JF, Vázquez SFJ, Olmedaa JFL. (2019). Daily rhythms in the reproductive axis of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Plasma steroids and gene expression in brain, pituitary, gonad and egg. *Aquaculture*, 507, 313-321
- Alcock, J. (2013). *Animal Behavior: An Evolutionary Approach* (10th Edition). Sunderland: Sinauer Associates.
- Alioto, T. S., & Ngai, J. (2005). The odorant receptor repertoire of teleost fish. *BMC Genomics*, 6.
- Allan, J. D., & Castillo, M. M. (2007). *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters* (2nd Edition). Springer.
- Allen, G. R., & Erdmann, M. V. (2012). *Reef Fishes of the East Indies*. Perth: University of Hawaii Press.
- Almeida, O. G., Miranda, A., Frade, P., Hubbard, P. C., Barata, E. N., & Canário, A. V. M. (2005). Urine as a social signal in the Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*). In *Chemical Senses* (Vol. 30 SUPPL. 1).
- Almeida, O., Canário, A. V. M., & Oliveira, R. F. (2014). Castration affects reproductive but not aggressive behavior in a cichlid fish. *General and Comparative Endocrinology*, 207, 34–40.



- Álvarez, D. (2024). Effects of compensatory growth on fish behavior. In *Encyclopedia of Fish Physiology* (pp. 403–409). Elsevier.
- Amichai E, Kronfeld-Schor N. Artificial light at night promotes activity throughout the night in nesting common swifts (*Apus apus*). *Sci Rep*. 2019; 9:11052 DOI <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47544-3>
- Ashley, P. J. (2007). Fish welfare: Current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science*, 104(3–4), 199–235.
- Ashton A, Foster RG, Jagannath A. Photic entrainment of the circadian system. *Int J Mol Sci*. 2022; 23(2):729. <https://doi.org/10.3390/ijms23020729>
- Auld, H. L., Jacobson, D. P., Rhodes, A. C., & Banks, M. A. (2021). Differences in Mate Pairings of Hatchery- and Natural-Origin Coho Salmon Inferred from Offspring Genotypes. *Integrative Organismal Biology*, 1-10
- Awise, J. C., Jones, A. G., Walker, D., & DeWoody, J. A. (2002). Genetic Mating Systems and Reproductive Natural Histories of Fishes: Lessons for Ecology and Evolution. *Annual Review of Genetics*, 36, 19-45 DOI <https://doi.org/10.1146/annurev.genet.36.030602.090831>
- Babin PJ, Carnevali O, Lubzens E, Schneider WJ. Molecular aspects of oocyte vitellogenesis in fish. *Springer* 2007:39–76
- Bakker, T. C. M., Bruijn, E. F., & Sevenster, P. (1989). Asymmetrical Effects of Prior Winning and Losing on Dominance in Sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*). *Ethology*, 82(3), 224–229.
- Balázs Vági, B., Katona, G., Miranda, O. G., Mándi, M. G., Hofmann, H. A., Plagányi, E., Végvári, Z., Liker, A., Freckleton, R. P., & Székely, T. (2024). The evolution of exceptional diversity in parental care and fertilization modes in ray-finned fishes. *Evolution*, 78(10), 1673-1684
- Balshine, S., & Sloman, K. A. (2013). Parental care in fishes. In A. P. Farrell (Ed.), *Encyclopedia of fish physiology from genome to environment*. Academic Press
- Barata, E. N., Fine, J. M., Hubbard, P. C., Almeida, O. G., Frade, P., Sorensen, P. W., & Canário, A. V. M. (2008). A sterol-like odorant in the urine of Mozambique tilapia males likely signals social dominance to females. *Journal of Chemical Ecology*, 34, 438–449.



- Barata, E. N., Hubbard, P. C., Almeida, O. G., Miranda, A., & Canário, A. V. M. (2007). Male urine signals social rank in the Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *BMC Biology*, 5, 54.
- Baskaran, G., & Sathyanesan, A. G. (1992). Tetrapod-like hypothalamo-hypophysial portal system in the teleost *Megalops cyprinoides* (Broussonet). *General and Comparative Endocrinology*, 86, 211–219.
- Bayani, D. M., Taborsky, M., & Frommen, J. G. (2017). To pee or not to pee: Urine signals mediate aggressive interactions in the cooperatively breeding cichlid *Neolamprologus pulcher*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 71, 37.;
- Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. (2006). *Ecology: From Individuals to Ecosystems* (4th Edition). Oxford: Wiley-Blackwell.
- Belinda, C. A., Pribadi, R., & Ulumuddin, Y. I. (2022). Konektivitas Mangrove dan Terumbu Karang Berdasarkan Komunitas Ikan Karang (Studi Kasus: Kepulauan Mentawai dan Belitung). *Journal of Marine Research*, 11(4), 738–751. <https://doi.org/10.14710/jmr.v11i4.32346>
- Bell, C. C., Myers, J. P., & Russell, C. J. (1974). Electric organ discharge patterns during dominance related behavioral displays in *Gnathonemus petersii* (Mormyridae). *Journal of Comparative Physiology*, 92, 201–228
- Béné, C., Barange, M., Subasinghe, R., Pinstrip-Andersen, P., Merino, G., Hemre, G. I., & Williams, M. (2015). Feeding 9 billion by 2050– Putting fish back on the menu. *Food Security*, 7, 261–27;
- Berlianmasthan, A. M., Aponno, A. J., Arundaa, R., Ali, I. U. I. S., & Patty, W. (2019). Lampu LED Bawah Air Otomatis dan Pengamatan Tingkah Laku Ikan. *Jurnal Ilmiah Platax*, 7(2), 437–443.
- Biran J, & Levavi-Sivan, B. (2018). Endocrine Control of Reproduction, Fish. In: Skinner MK, editor. *Encyclopedia of Reproduction*, 2nd ed. Oxford: Academic Press, pp 362-368
- Blomqvist D, Andersson M, Küpper C, Cuthill IC, Kis J, Lanctot RB, Sandercock BK, Székely T, Wallander J, Kempnaers B. 2002. Genetic similarity between mates and extra-pair parentage in three species of shorebirds. *Nature*. 419:613–615



- Bradbury, J. W., & Vehrencamp, S. L. (2015). In J. W. Bradbury & S. L. Vehrencamp (Eds.), *Principles of animal communication* (2nd ed.). New York, NY: Oxford University Press Inc.
- Bratton, B. O., & Kramer, B. (1989). Patterns of the electric organ discharge during courtship and spawning in the mormyrid fish, *Pollimyrus isidori*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 24, 349–368.
- Brown, C., Laland, K., & Krause, J. (2006). *Fish Cognition and Behavior*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Butler, J. M., & Maruska, K. P. (2015). The mechanosensory lateral line is used to assess opponents and mediate aggressive behaviors during territorial interactions in an African cichlid fish. *Journal of Experimental Biology*, 218, 3284–3294;
- Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2002). *Biology* (6th Edition). San Francisco: Benjamin Cummings.
- Campbell, N.A. and Reece, J.B. (2005) *Biology*. Benjamin Cummings, San Francisco.
- Campos-Mendoza A, McAndrew BJ, Coward K, Bromage N. Reproductive response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to photoperiodic manipulation; effects on spawning periodicity, fecundity and egg size. *Aquaculture*. 2004; 231(1):299–314. DOI <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.10.023>
- Carpenter, R., Maruska, K., Becker, L., & Fernald, R. (2014). Social opportunity rapidly regulates expression of CRF and CRF receptors in the brain during social ascent of a teleost fish, *Astatotilapia burtoni*. *PLoS One*, 9, e96632
- Chabrolles, L., Ammar, I. B., Fernandez, M. S. A., Boyer, N., Attia, J., Fonseca, P. J., ... Beauchaud, M. (2017). Appraisal of unimodal cues during agonistic interactions in *Maylandia zebra*. *PeerJ*, 2017, e3643.;
- Chang JP, Mar A, Wlasichuk M, & Wong AOL. (2012). Kisspeptin-1 directly stimulates LH and GH secretion from goldfish pituitary cells in a Ca<sup>2+</sup> dependent manner. *Gen Comp Endocrinol*, 179, 38-46
- Chung-Davidson, Y.-W., Huertas, M., & Li, W. (2010). A review of research in fish pheromones. In T. Breithaupt & M. Thiel (Eds.),



- Chemical communication in crustaceans (pp. 467–482). New York, NY: Springer.
- Citra, H., Dan, P., & Manan, A. (2015). Teknik Dasar Histologi pada Ikan Gurami (*Osfronemus gouramy*). *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 7(2), 153–158.
- Clutton-Brock TH (2009) Sexual selection in females. *Animal Behaviour*, 77, 3–11
- Coleman SW, Jones AG. 2011. Patterns of multiple paternity and maternity in fishes. *Biol J Linn Soc*. 103:735–760
- Colombo, L., & Burighel, P. (1974). Fine structure of the testicular gland of the black goby, *Gobius joso* L. *Cell and Tissue Research*, 154, 39–49
- Colombo, L., Marconato, A., Belvedere, P. C., & Friso, C. (1980). Endocrinology of teleost reproduction: A testicular steroid pheromone in the black goby, *Gobius joso* L. *Italian Journal of Zoology*, 47, 355–364
- Cooke, S. J., Auld, H. L, Birnie-Gauvin, K., Elvidge, C. K., Piczak, M. L., Twardek, W. M., Raby, G. D., Brownscombe, J. W., ..., & Muir, A. M. (2022). On the relevance of animal behavior to the management and conservation of fishes and fisheries. *Environment Biology of Fishes*, 106, 785–810
- Cooke, S. J., Crossin, G. T., & Hinch, S. G. (2011). FISH MIGRATIONS | Pacific Salmon Migration: Completing the Cycle. In *Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment: Volume 1-3* (Vols. 1–3). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374553-8.00260-4>
- Cueto, J. M. (2016). Control Hormonal de la Reproducción en Peces. Universidad de Cádiz, Departamento de Biología (Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales)
- da Silva, M. C., Canário, A. V. M., Hubbard, P. C., & Gonçalves, D. M. F. (2021, May 1). Physiology, endocrinology and chemical communication in aggressive behaviour of fishes. *Journal of Fish Biology*. Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/jfb.14667>



- Dawkins, M. S., & Guilford, T. (1993). Colour and pattern in relation to sexual and aggressive behaviour in the bluehead wrasse *Thalassoma bifasciatum*. *Behavioural Processes*, 30, 245–251.
- Devlin R.H, Nagahama Y. Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences. Review article. *Aquaculture* 2002; 208:191-364
- Døving, K., & Lastein, S. (2009). The alarm reaction in fishes – odorants, modulations of responses, neural pathways. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1170, 413–423.
- Doyon, C., Gilmour, K. M., Trudeau, V. L., & Moon, T. W. (2003). Corticotropin-releasing factor and neuropeptide Y mRNA levels are elevated in the preoptic area of socially subordinate rainbow trout. *General and Comparative Endocrinology*, 133, 260–271.
- Duncan, N. J., Estevez, A., Fernandez-Palacios, H., Gairin, I., Hernandez-Cruz, C. M., Roo, J., Schuchardt, D., & Valles, R. (2013). Aquaculture production of meagre (*Argyrosomus regius*): hatchery techniques, on-growing and market. *Advances in Aquaculture Hatchery Technology*, 17, 519-541
- Duncan, N. J., Mylonas, C. C., Sullon, E. M., Karamanlidis, D., Nogueira, M. F. N., Ibarra-Zatarain, Z., Chiumento, M., & Carrillo, R. O. A. (2018). Paired spawning with male rotation of meagre *Argyrosomus regius* using GnRH $\alpha$  injections, as a method for producing multiple families for breeding selection programs. *Aquaculture*, 495, 506-512
- Dunlap, K. D., & Larkins-Ford, J. (2003). Production of aggressive electrocommunication signals to progressively realistic social stimuli in male *Apteronotus leptorhynchus*. *Ethology*, 109, 243–258
- Edward DA, Chapman T. 2011. The evolution and significance of male mate choice. *Trends Ecol Evol* 26, 647–654
- Ercolini, A., Berti, R., Cianfanelli, A., & Ercolini, A. (1981). Aggressive behaviour in *Uegitglanis zammaranoi gianferrari* (Clariidae siluriformes), anophthalmic phreatic fish from somalia. *Monitore Zoologico Italiano, Supplemento*, 14(1), 39–56. <https://doi.org/10.1080/03749444.1981.10736613>



- Escobar-Camacho, D., & Carleton, K. L. (2015). Sensory modalities in cichlid fish behavior. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 6, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2015.11.002>
- Faber-Hammond, J. J., & Renn, S. C. P. (2023). Transcriptomic changes associated with maternal care in the brain of mouthbrooding cichlid *Astatotilapia burtoni* reflect adaptation to self-induced metabolic stress. *Journal of Experimental Biology*, 226
- Fahmi, M. R. (2010). Phenotypic Plasticity Kunci Sukses Adaptasi Ikan Migrasi : Studi Kasus Ikan Sidat (*Anguilla sp.*). *Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakultur 2010*, 9–17.
- Fajar, M. T. I. (2021). Pengaruh perubahan suhu terhadap tingkah laku ikan mas (*Cyprinus carpio*). *Jurnal Penelitian*, 5(1).
- Falcone, T. H. (2013). Ovarian Hormones: Structure, Biosynthesis, Function, Mechanism of Action, and Laboratory Diagnosis in Clinical reproductive medicine and surgery. Springer; pp,15-44
- FAO. (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 Blue Transformation in Action. In *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>
- Félix, A. S., Faustino, A. I., Cabral, E. M., & Oliveira, R. F. (2013). Noninvasive measurement of steroid hormones in zebrafish holding-water. *Zebrafish*, 10, 110–115
- Findra, M. N., Lella, H., La ode, H., & Hadharani, N. (2016). Perpindahan Ontogenetik Habitat Ikan Di Perairan Ekosistem Hutan Mangrove. *Media Konservasi*, 21(3), 304–309. <https://doi.org/10.29244/medkon.21.3.304-309>
- Fleischer, J., Breer, H., & Strotmann, J. (2009). Mammalian olfactory receptors. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 3, 1–10.
- Fleming, I. A. (1996). Reproductive strategies of Atlantic salmon: ecology and evolution. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 6, 379–416
- Frommen, J. G. (2020). Aggressive communication in aquatic environments. *Functional Ecology*, 34, 364–380.
- Fuiman, L. A., & Magurran, A. E. (1994, June). Development of predator defences in fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/BF00044127>



- Furness, A. I., & Capellini, I. (2019). The evolution of parental care diversity in amphibians. *Nature Communications*, 10(1), 4709 DOI <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12608-5>
- G. C. Novakowski, F. A. S. Cassemiro, and N. S. Hahn. (2016). Diet and ecomorphological relationships of four cichlid species from the Cuiabá River basin," *Neotrop. Ichthyol.*, vol. 14, no. 3, pp. 1-10, doi: 10.1590/1982-0224-20150151.
- Gabilondo, A. R., Pérez, L. H., & Rodríguez, R. M. (2021). Hormonal and neuroendocrine control of reproductive function in teleost fish. *Revista Bionatura*, 6(3), 2122-2133
- Gascue V, Silva AC, Migliaro A. Social modulation on daily variability in electric behavior. *Sleep Science*. 2020; 13(suppl.2):41-46
- Giaquinto, P. C., & Volpato, G. (1998). Chemical communication, aggression, and conspecific recognition in the fish Nile tilapia. *Physiology & Behavior*, 62, 1333-1338.
- Gokul, T., K, R. Kumar., P, Prema., A, Arun., P, Balaji & C, Faggio. Particulate pollution and its toxicity to fish: An overview. *Juornal Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2023.109646>
- Gomez-Mestre, I., Pyron, R. A., & Wiens, J. J. (2012). Phylogenetic analyses reveal unexpected patterns in the evolution of reproductive modes in frogs. *Evolution*, 66(12), 3687-3700 DOI <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2012.01715.x>
- Gonçalves-de-Freitas, E., Teresa, F. B., Gomes, F. S., & Giaquinto, P. C. (2008). Effect of water renewal on dominance hierarchy of juvenile Nile tilapia. *Applied Animal Behaviour Science*, 112, 187-195
- Gonzalez-Voyer, A., Thomas, G. H., Liker, A., Krüger, O., Komdeur, J., & Székely, T. (2022). Sex roles in birds: Phylogenetic analyses of the influence of the climate, life histories and social environment. *Ecology Letters*, 25(3), 647-660 DOI <https://doi.org/10.1111/ele.1393>
- Gowaty PA, Bridges WC. 1991. Nestbox availability affects extra-pair fertilisations and conspecific nest parasitism in eastern bluebirds, *Sialia sialis*. *Anim Behav*. 41:661-675
- Gowaty PA. 1996. Battles of the sexes and origins of monogamy. In: Black JL, editor. *Partnerships in birds*. Oxford: Oxford University Press. p. 21-52



- Greven H. 2010. What do we know about reproduction of internally fertilizing halfbeaks (Zenarchopteridae)? In: Uribe MC, Grier HJ, editors. Viviparous fishes II. Homestead (FL): New Life Publications. p. 121-142
- Gunawan, I., & Wibowo, N. S. (2024). Analisis Variabilitas Termoklin di Perairan Indonesia dan Dampaknya Terhadap Ekosistem Laut. *Journal Of Knowledge And Collaboration*, 2(2), 123-131. <https://ojs.arbain.co.id/index.php/jkc/index>
- Hansen, A., & Eckart, Z. (1998). The peripheral olfactory organ of the zebrafish, *Danio rerio*: An ultrastructural study. *Chemical Senses*, 23, 39-48.
- Hara, T. J. (1994). The diversity of chemical stimulation in fish olfaction and gustation. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 4,1-35.
- Harari AR, Handler AM, Landolt PJ. 1999. Size-assortative mating, male choice and female choice in the curculionid beetle *Diaprepes abbreviatus*. *Anim Behav*. 58:1191-1200
- Hardy, I. C. W., & Briffa, M. (2013). In I. C. W. Hardy & M. Briffa (Eds.), *Ani mal contests*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Haruna. (2010). Distribusi Cahaya Lampu dan Tingkah Laku Ikan pada Proses Penangkapan Bagan Perahu di Perairan Maluku Tengah. *Jurnal "Amanisal" PSP FPIK Unpatti-Ambon*, 1(1), 2085-5109.
- Hashiguchi, Y., Futura, Y., & Nishida, M. (2008). Evolutionary patterns and selective pressures of odorant/pheromone receptor gene families in teleost fishes. *PLoS One*, 3(12), e4083
- Hatef, A., & Unniappan, S. (2019). Metabolic hormones and the regulation of spermatogenesis in fishes. *Theriogenology*, 134, 121-128
- Helfman, G. S., Collette, B. B., Facey, D. E., & Bowen, B. W. (2009). *The Diversity of Fishes: Biology, Evolution, and Ecology*. Wiley-Blackwell.
- Helfman, G. S., Collette, B. B., Facey, D. E., & Bowen, B. W. (2009). *The Diversity of Fishes: Biology, Evolution, and Ecology* (2nd Edition). Hoboken: Wiley-Blackwell.
- Hellmann, J. K., Keagy, J., Carlson, E. R., Kempfer, S., & Bell, A. M. (2024). Predator-induced transgenerational plasticity of parental care behaviour in male three-spined stickleback fish across two



- generations. *Proceedings of The Royal Society B: Biological Sciences*, 291(2014), 1-9
- Heubel KU, Rankin DJ, Kokko H, 2009. How to go extinct by mating too much: population consequences of male mate choice and efficiency in a sexual - asexual species complex. *Oikos*, 118, 513-520
- Hiramatsu N, Matsubara T, Fujita T, Sullivan CV, Hara A. Multiple piscine vitellogenins: biomarkers of fish exposure to estrogenic endocrine disruptors in aquatic environments. *Mar Biol* 2006; 149:35-47.
- Hopkins, C. D. (1974). Electric communication: Functions in the social behavior of *Eigenmannia virescens*. In *Behaviour*, 50, (3-4), (pp. 270-305).
- Hsu, Y., Huang, Y. Y., & Wu, Y. T. (2014). Multiple contest experiences interact to influence each other's effect on subsequent contest decisions in a mangrove killifish. *Animal Cognition*, 17, 165-175.
- Hubbard, P. C., Mota, V. C., Keller-Costa, T., da Silva, J. P., Canário, A. V. M., & Canario, A. (2014). Chemical communication in tilapia: A comparison of *Oreochromis mossambicus* with *O. niloticus*. *General and Comparative Endocrinology*, 207,13-20.
- Hunter FM, Petrie M, Otronen M, Birkhead T, Pape Møller A. 1993. Why do females copulate repeatedly with one male? *Trends Ecol Evol*. 8:21-26
- Huntingford, F. A., & Turner, A. K. (1987). *Animal conflict* (1st ed.). London, UK: Chapman and Hall.
- Hupé, G. J., & Lewis, J. E. (2008). Electrocommunication signals in free swimming brown ghost knifefish, (*Apteronotus leptorhynchus*). *Journal of Experimental Biology*, 211, 1657-1667
- I. Zidni, E. Afrianto, I. Mahdiana, H. Herawati, and I. Bangkit. (2018). Laju Pengosongan Lambung Ikan Mas (*Cyprinus carpio*) dan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)," *J. Perikan. dan Kelaut.*, vol. 9, no. 2, pp. 147-151.
- ICES FAO. (2023). 2023 Symposium on Innovations in Fishing Technologies for Sustainable and Resilient Fisheries.
- Ikrana, R.,M, Wahyuni., Y, N. R. Wiryawan& H, Tiana. 2024. Pengaruh Suhu Air Terhadap Perubahan Tingkah Laku dan Metabolisme



- Pada Ikan Mas (*Cyprinus carpio*). BEST Journal (Biology Education, Sains and Technology) Vol.7 No.1 Hal. 268-274
- J. E. Garvey and S. Chipps. (2012). Chapter 16 Diets and Energy Flow, Diets energy flow, no. September 2012, pp. 1–48.
- Jalabert, B. (2005). Particularities of reproduction and oogenesis in teleost fish compared to mammals. *Reprod Nutri*, 45:261-279
- Jobling, M. (1995). *Environmental Biology of Fishes*. Springer.
- Jones IL, Hunter FM. 1993. Mutual sexual selection in a monogamous sea-bird. *Nature*. 362:238–239
- K. D. Clements, D. P. German, J. Piché, A. Tribollet, and J. H. Choat. (2017). Integrating ecological roles and trophic diversification on coral reefs: Multiple lines of evidence identify parrotfishes as microphages," *Biol. J. Linn. Soc.*, vol. 120, no. 4, pp. 729–751, doi: 10.1111/bij.12914.
- Kekan, P., Ingole, S., Sirsat, S., Bharucha, S., Kharde, S., & Nagvekar, A. (2017). The role of pheromones in farm animals- A review. *Agricultural Reviews*, 38,83–93.
- Keller-Costa, T., Hubbard, P. C., Paetz, C., Nakamura, Y., Da Silva, J. P., Rato, A., ... Canario, A. V. (2014). Identity of a tilapia pheromone released by dominant males that primes females for reproduction. *Current Biology*, 24, 2130–2135
- Keller-Costa, T., Saraiva, J. L., Hubbard, P. C., Barata, E. N., & Canário, A. V. (2016). A multi-component pheromone in the urine of dominant male tilapia (*Oreochromis mossambicus*) reduces aggression in rivals. *Journal of Chemical Ecology*, 42, 173–182.
- Kermen, F., Franco, L. M., Wyatt, C., & Yaksi, E. (2013). Neural circuits mediating olfactory-driven behavior in fish. *Frontiers in neural circuits*, 7,1–9.
- Kim DK, Cho EB, Luna MJ, Parque S, Hwang JI, Kah O, *et al*. Revisiting the evolution of gonadotropin-releasing hormones and their receptors in vertebrates: Secrets hidden in genomes. *Gen Comp Endocrinol* 2011; 170:68-78
- Krebs, C. J. (2009). *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance* (6th Edition). San Francisco: Benjamin Cummings.



- Krylov VV, Izvekov EI, Pavlova VV, Pankova NA, Osipova EA. Circadian rhythms in zebrafish (*Danio rerio*) behaviour and the sources of their variability. *Biol Rev.* 2021; 96(3):785–97. DOI <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/brv.12678>
- Kupsala, S., Jokinen, P., & Vinnari, M. (2013). Who cares about farmed fish? Citizen perceptions of the welfare and the mental abilities of fish. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 26, 119–135
- Ladich, F., & Myrberg, A. A. (2006). Agonistic behaviour and acoustic communication. In F. Ladich, S. Colin, P. Moller, & B. G. Kapoor (Eds.), *Communication in fishes* (pp. 121–148). New Hampshire: Science Publishers.
- Laidre, M. E., & Johnstone, R. A. (2013). Animal signals. *Current Biology*, 23, R829–R833.
- Langangen., E. Olsen., L.C. Stige., J. Ohlberger., N.A. Yaragina., F.B.Vikebo., B. Bogstad.,N.C. Stenseth&D.O. Hjermann. The effects of oil spills on marine fish: Implications of spatial variation innatural mortality. *Juornal: Marine Pollution BulletinElsevier.* 119 102–109<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.03.037>
- Langen K, Thünken T, Bakker TCM. 2013. No experimental evidence for sneaking in a West African cichlid fish with extremely long sperm. *Int J Evol Biol.* doi: 10.1155/2013/714304
- Lastein, S., Hamdani, E. H., & Døving, K. B. (2006). Gender distinction in neural discrimination of sex pheromones in the olfactory bulb of crucian carp, *Carassius carassius*. *Chemical Senses*, 31,69–77.
- Lecchini, D., Tapissier-Bontemps, N., Banaigs, B., Sasal, P., & Reverter, M. (2018). Biological and ecological roles of external fish mucus: A review. *Fishes*, 3, 41.
- Lehtonen J, Parker GA, Scharer L. (2016). Why anisogamy drives ancestral sex roles. *Evolution*, 70, 1129–1135
- Levavi-Sivan B, Bogerd J, Mañanós EL, Gómez A, Lareyre JJ. (2010). Perspectives on fish gonadotropins and their receptors. *Gen Comp Endocrinol*, 165, 412-437
- Liaqat, I., U, Bukhtiar & M, Fa. Malik. 2027. Pond Water Pollution: A Barrier to Commercial Fish Production. *International Journal of Applied Biology & Forensics. IJABF Volume 1, Issue 1.*



- London S and Volkoff H. Effects of fasting on the central expression of appetite-regulating and reproductive hormones in wild type and Casper zebrafish (*Danio rerio*). *General and Comparative Endocrinology* 2019; 282:113-207
- Longo, S. B., Clark, B., York, R., & Jorgenson, A. K. (2019). Aquaculture and the displacement of fisheries captures. *Conservation Biology*, 33, 832-841
- Lucas, M. C., Baras, E., Thom, T. J., Duncan, A., & Slavik, O. (2001). Migration of Freshwater Fishes. In M. C. Lucas, E. Baras, T. J. Thom, A. Duncan, & O. Slavik (Eds.), Blackwell Science. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470999653>
- Luckenbach JA, Iliev DB, Goetz FW, Swanson P. Identification of differentially expressed ovarian genes during primary and early secondary oocyte growth in coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *Reprod Biol Endocrinol* 2008; 6-2
- M. Nafis, Zainuddin, and D. Masyitha. (2017). Gambaran Histologi Saluran Pencernaan Ikan Gabus (*Channa striata*) *Jimvet*, vol. 01, no. 2, pp. 196-202
- Ma, Y., Ladisaa, C., Changa, J. P., & Habibi, H. R. (2020). Multifactorial control of reproductive and growth axis in male goldfish: Influences of GnRH, GnIH and thyroid hormone. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 500, 110-629 DOI: 10.1016/j.mce.2019.110629
- Magnhagen, C., Braithwaite, V., Forsgren, E., Kapoor, B. G., & Magurran, A. E. (2008). In C. Magnhagen, V. Braithwaite, E. Forsgren, & B. G. Kapoor (Eds.), *Fish behaviour*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis.
- Magnuson, J. J., & Krasny, M. E. (1982). *Behavior of Fishes in Relation to Habitat Structure*. New York: Academic Press.
- Maizar A, Hertika S, Arfiati D, Lusiana ED, Baghaz R, Putra DS, Brawijaya U, Veteran J. 2021. Analisis Hubungan Kualitas Air Dan Kadar Glukosa Darah Gambusia Affinis di Perairan Sungai Brantas. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 5(3), 522-530
- Mancera, J. M & Cormick, S. (2007). Role of Prolactin, Growth Hormone, Insulin-like Growth Factor I and Cortisol in Teleost Osmoregulation In: *Fish Osmoregulation*. Ed. B.G. Kapoor, Science Publishers; p 497-515



- Mank JE, Promislow DE, Avise JC. 2005. Phylogenetic perspectives in the evolution of parental care in ray-finned fishes. *Evolution*. 59:1570–1578
- Marçalo, A., Breen, M., Tenningen, M., Onandia, I., Arregi, L., & Gonçalves, J. M. S. (2018). Mitigating slipping-related mortality from purse seine fisheries for small pelagic fish: Case studies from european atlantic waters. In *The European Landing Obligation: Reducing Discards in Complex, Multi-Species and Multi-Jurisdictional Fisheries* (pp. 297–318). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-03308-8\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-03308-8_15)
- Margalef, R. (1968). *Perspectives in Ecological Theory*. Chicago: University of Chicago Press.
- Maruska, K. P., & Fernald, R. D. (2012). Contextual chemosensory urine signaling in an African cichlid fish. *The Journal of Experimental Biology*, 215,68–74.
- Mayr, E. (2001). *What Evolution Is*. New York: Basic Books.
- McDonald, A. L., Heimstra, N. W., & Damkot, D. K. (1968). Social modification of agonistic behaviour in fish. *Animal Behaviour*, 16, 437–441.
- McDowall, R. M. (1997). The evolution of diadromy in fishes (revisited) and its place in phylogenetic analysis. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 7(4), 443–462. <https://doi.org/10.1023/A:1018404331601>
- Mildner S, Roces F. Plasticity of daily behavioral rhythms in foragers and nurses of the ant *Camponotus rufipes*: Influence of social context and feeding times. *PLoS ONE*. 2017; 12(1):e0169244. DOI <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169244>
- Mombaerts, P. (2004a). Genes and ligands for odorant, vomeronasal and taste receptors. *Nature Reviews Neuroscience*, 5, 263
- Moyle, P. B., & Cech, J. J. (2004). *Fishes: An Introduction to Ichthyology* (5th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Muhammad, S., Mallawa, A., & Zainuddin, M. (2019). Analisis Daerah Penangkapan Dan Pola Pergerakan Ikan Terbang Di Perairan Utara Majene. *Jurnal IPTEKS Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan*, 5(9), 26–40. <https://doi.org/10.20956/jjpsp.v5i9.6186>



- Muñoz-Cueto, JA., Zmora N, Paullada-Salmerón JA, Marvel M, Mañanos E, & Zohar Y. (2020). The gonadotropin-releasing hormones: lessons from fish. *General and comparative endocrinology*, 291, 113-422
- Mutmainnah, Yuliana, Martini Djamhur, Eka Aprianti. (2024). *Biologi Perikanan*. Cetakan 1. Penerbit Mitra Cendekia Media. Sumatera Barat.
- Mylonas C, Fostier Al, & Zanuy S. (2010). Broodstock management and hormonal manipulations of fish reproduction. *Gen Comp Endocrinol*, 165, 516-534
- Mylonas, C. C., Fatira, E., Karkut, P., Papadaki, M., Sigelaki, I., & Duncan, N. J. (2015). Reproduction of hatchery-produced meagre *Argyrosomus regius* in captivity III. Comparison between GnRH<sub>a</sub> implants and injections on spawning kinetics and egg/larval performance parameters. *Aquaculture*, 448, 44-53
- Mylonas, C. C., Salone, S., Biglino, T., de Mello, P. H., Fakriadis, I., Sigelaki, I., & Duncan, N. (2016). Enhancement of oogenesis/spermatogenesis in meagre *Argyrosomus regius* using a combination of temperature control and GnRH<sub>a</sub> treatments. *Aquaculture*, 464, 323-330
- Nagahama Y, Yamashita M. Regulation of oocyte maturation in fish. *Development, growth & differentiation* 2008; 50(s1)
- Nagahama Y, Yoshikuni M, Yamashita M, Tanaka M. Regulation of oocyte maturation in fish. In: Sherwood, N.M., Hew, C.L. (Eds.), *Fish Physiology*. Academic Press, San Diego, CA, pp. 393- Neurol 1994; 524:176-198
- Nasution, D. Y., N, W. Hasibuan., M, Nasution&F, Ramadhani. Pengaruh Perubahan Suhu Panas Media Air Terhadap Membuka dan Menutup Operkulum Pada Ikan Mas. *Journal Scientific of Mandalika (JSM)*, Vol. 4, No. 2, Februari 2023, e-ISSN: 2745-5955, p-ISSN: 2809-0543.
- Neff, B. D., & Knapp, R. (2009). Paternity, parental behavior and circulating steroid hormone concentrations in nest-tending male bluegill. *Hormones and Behavior*, 56(2), 239-245
- Nelson, J. S. (2006). *Fishes of the World* (4th Edition). John Wiley & Sons.
- Nelson, R. J. (2005). *Biology of aggression*. New York, NY: Oxford University Press.



- Nikhil KL, & Sharma VK. On the origin and implications of circadian timekeeping: An evolutionary perspective. In: Kumar V, editor. *Biological timekeeping: Clocks, rhythms and behaviour*. New Delhi, Springer; 2017. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-3688-7\\_5](https://doi.org/10.1007/978-81-322-3688-7_5)
- Ogino, Y., Miyagawa, S., & Iguchi, T. (2016). 11-Ketotestosterone. In Y. Takei, H. Ando, & K. Tsutsui (Eds.), *Handbook of hormones* (pp. 518–519). San Diego, CA: Academic Press.
- Okuzawa, K. (2002). Puberty in teleosts. *Fish Physiology Biochemistry*, 26(1), 31-41
- Oliveira, R. F., Silva, A., & Canário, A. V. M. (2009). Why do winners keep winning? Androgen mediation of winner but not loser effects in cichlid fish. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 276, 2249–2256.
- Oliveira, R. F., Silva, J. F., & Simões, J. M. (2011). Fighting zebrafish: Characterization of aggressive behavior and winner–loser effects. *Zebrafish*, 8,73–81.
- Olivera, A., Passos, C., Vazquez, J, I., Tassino, B., & Migliaro, A. (2024). Daily rhythm of locomotor and reproductive activity in the annual fish *Garcialebias reicherti* (Cyprinodontiformes: Rivulidae). *Neotropical Ichthyology*, 22(1), 1-17
- Olsson M, Madsen T, Nordby J, Wapstra E, Ujvari B, Wittsell H. 2003. Major histocompatibility complex and mate choice in sand lizards. *Proc R Soc B*. 270, S254–S256
- Pane, E.P., D, Arfiati&F, J. Apriliyanti. 2023. Review: Respon Fisiologis Ikan terhadap Lingkungan Hidupnya. *Jurnal Aquatik*, Vol 6(2)
- Parhar I, Ogawa S, Kitahashi T. (2012). RF-amide peptides as mediators in environmental control of GnRH neurons. *Prog Neurobiol*, 98:176-96
- Parker A, Kornfield I (1996) Polygynandry in *Pseudotropheus zebra*, a cichlid fish from Lake Malawi. *Environmental Biology of Fishes*, 47, 345–352
- Pauly, D., & Christensen, V. (1995). Primary Production Required to Sustain Global Fisheries. *Nature*.
- Phillips AJK, Vidafar P, Burns AC, McGlashan EM, Anderson C, Rajaratnam SMW *et al.* High sensitivity and interindividual variability in the response of the human circadian system to evening



- light. *Proc Natl Acad Sci.* 2019; 116(24):12019-24 DOI <https://doi.org/10.1073/pnas.1901824116>
- Pinilla L, Aguilar E, Dieguez C, Millar RP, Tena-Sempere M. (2012). Kisspeptins and reproduction: physiological roles and regulatory mechanisms. *Physiol Rev*, 92, 1235-316
- Pitcher, T. J. (1993). In T. J. Pitcher (Ed.), *Behaviour of teleost fishes* (2nd ed.). London, UK: Chapman and Hall.
- Pratiwi, C., Destianti, F., & Saputra, A. (2023). Tingkah Laku Ikan Lais (*Kryptopterus Bicirrhis*) Di Aquarium Pedamaran Ogan Komering Ilir (Oki). *Prosiding SEMNAS BIO UIN Raden Fatah Palembang*, 58-64.
- Prinz P, Scharner S, Friedrich T, Schalla M, Goebel-Stengel M, Rose M, *et al.* Central and peripheral expression sites of phoenixin-14 immunoreactivity in rats. *Biochem Biophysical Res Comm* 2017; 493: 195-201
- R. A. Megawati, M. Arief, and A. M. Amin. (2019). Pemberian Pakan Dengan Kadar Serat Kasar Yang Berbeda Terhadap Daya Cerna Pakan Pada Ikan Berlambung Dan Ikan Tidak Berlambung," *J. Ilm. Perikanan dan Kelautan.*, vol. 4, no. 2, pp. 187-192. [Online]. Available: [www.journal.uta45jakarta.ac.id](http://www.journal.uta45jakarta.ac.id)
- R. Pratama. (2019). Sistem Pencernaan. *J. Pendidik.*, vol. 2, no. 1, pp. 46-63.
- Rad F, Bozaoğlu S, Ergene Gözükar S, Karahan A, Kurt G. Effects of different long-day photoperiods on somatic growth and gonadal development in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture.* 2006; 255(1):292-300. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.11.028>
- Rahmadiyah, T., Junior, M. Z., Alimuddin, A., & Diatin, I. (2019). Aggressive and cannibalistic behavior of African catfish larvae: effect of different doses of methyltestosterone injecting to female broodstock and larval stocking densities. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 18(2), 182-192.
- Rajeswari JJ, Blanco A M, & Unniappan S. (2020). Phoenixin-20 suppresses food intake, modulates glucoregulatory enzymes, and enhances glycolysis in zebrafish. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 318(5), 917-928



- Reebs, S. (2001). In S. Reebs (Ed.), *Fish Behavior in the Aquarium and in the Wild*. London, UK: Comstock Publishing Associates.
- Reichard M, Le Comber SC, Smith C. 2007. Sneaking from a female perspective. *Anim Behav.* 74:679-688
- Ridgway, M. S. (1988). Developmental stage of offspring and brood defense in smallmouth bass (*Micropterus dolomieu*). *Canadian Journal of Zoology*, 66(8) DOI <https://doi.org/10.1139/z88-248>
- Riley LG, Hirano T, & Grau EG. (2002). Rat Ghrelin Stimulates Growth Hormone and Prolactin Release in the Tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Zoological science*, 9, 797-800
- Romadhi, M. A., Indarjo, A., & Suryono, C. A. (2022). Sebaran Ikan Sidat (Ikan Katadromus) di Perairan Sungai Lorok Ngadirojo, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur. *Journal of Marine Research*, 11(2), 128-135. <https://doi.org/10.14710/jmr.v11i2.33797>
- Rosenthal, G. G., Fitzsimmons, J. N., Woods, K. U., Gerlach, G., Fisher, H. S., U Woods, K., ... Fisher, H. S. (2011). Tactical release of a sexually-selected pheromone in a swordtail fish. *PLoS One*, 6, e16994.
- Rueger T, Harrison HB, Gardiner NM, Berumen ML, Jones GP. (2019). Extra-pair mating in a socially monogamous and paternal mouthbrooding cardinalfish. *Molecular Ecology*.
- S. K. Saikia. (2015). Food and Feeding of Fishes. What Do We Need to Know?, *Transylvanian Rev. Syst. Ecol. Res.*, vol. 17, no. 1, pp. 71-84, doi: 10.1515/trser-h2015-0049.
- Safuruddin, Aswar, B., Hidayat, R., Saiful, Dewi, Y. K., Umar, M. T., Farhum, S. A., Zainuddin, M., & Mallawa, A. (2020). Pola migrasi ikan Pelagis Besar di Wilayah Pengelolaan Perikanan 713. *Simposium Nasional VII Kelautan Dan Perikanan*, 713(01), 195-202.  
<http://journal.unhas.ac.id/index.php/proceedingsimnaskp/article/view/10808>
- Sakai, Y., Muranaka, Y., Nakayama, H., Baba, K., Matsushita, K., Kuwahara, H., & Kuniyoshi, H. (2023). The potential for egg-guarding care in females of the damselfish, *Dascyllus reticulatus*, in the absence of uniparental male care. *Journal of Fish Biology*, 104(4), 979-998



- Saraiva, J. L., Keller-Costa, T., Hubbard, P. C., Rato, A., & Canário, A. V. M. M. (2017). Chemical diplomacy in male tilapia: Urinary signal increases sex hormone and decreases aggression. *Scientific Reports*, 7, 7636.
- Sari, E., Agung, R. T., & Laksmono, R. (2010). Pengaruh Tekanan Reverse Osmosis Pada Pengolahan Air Payau Menjadi Air Bersih. *Envirotek : Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2(1), 78-87.
- Sato, K., & Suzuki, N. (2001). Whole-cell response characteristics of ciliated and microvillous olfactory receptor neurons to amino acids, pheromone candidates and urine in rainbow trout. *Chemical Senses*, 26, 1145-1156.
- Schaedelin, F. C., van Dongen, W. F. D., & Wagner, R. H. (2015). Mate choice and genetic monogamy in a biparental, colonial fish. *Behavioral Ecology*, 26(3), 782-788
- Schalla MA, & Stengel, A. Phoenixin A pleiotropic gut-Brain peptide. *International journal of molecular sciences* 2018; 19(6):1726
- Scheffel, A., & Kramer, B. (2000). Electric signals in the social behavior of sympatric elephantfish (Mormyridae, Teleostei) from the upper Zambezi River. *Die Naturwissenschaften*, 87, 142-147.
- Schlupp, I. (2018). Male mate choice in livebearing fishes: an overview. *Current Zoology*, 64(3), 393-403
- Schulz R. W, de Franca, L. R., Lareyre, J. J., Gac, F. L., Garcia, H. C., Nobrega, R. H., & Miura, T (2010). Spermatogenesis in fish. *Gen. Comp. Endocrinol*, 165(3), 390-411
- Schulz UH, Leuchtenberger C. Activity patterns of South American silver catfish (*Rhamdia quelen*). *Braz J Biol*. 2006; 66(2A):565-74. <https://doi.org/10.1590/s1519-69842006000300024>
- Scott, A. M., Zhang, Z., Jia, L., Li, K., Zhang, Q., Dexheimer, T., ... Li, W. (2019). Spermine in semen of male sea lamprey acts as a sex pheromone. *PLoS Biology*, 17, e3000332.
- Scott-Phillips, T. C. (2008). Defining biological communication. *Journal of Evolutionary Biology*, 21, 387-395.
- Sefc KM, Mattersdorfer K, Sturbauer C, Koblmüller S (2008) High frequency of multiple paternity in broods of a socially monogamous cichlid fish with biparental nest defence. *Molecular Ecology*, 17, 2531-2543



- Segers, F. H. I. D., Gerber, B., & Taborsky, B. (2021). Do maternal food deprivation and offspring predator cues interactively affect maternal effort in fish? *Ethology; International Journal of Behavioural Biology*, 117(8), 798-721
- Serrano, R. M., Lopes, O., Hubbard, P. C., Araújo, J., Canário, A. V. M., & Barata, E. N. (2008a). 11-ketotestosterone stimulates putative sex pheromone production in the male peacock blenny, *Salaria pavo* (Risso 1810). *Biology of Reproduction*, 79, 861–868.
- Shahjahan M, Uddin MH, Bain V, Haque MM. 2018. Increased Water Temperature Altered Hemato-Biochemical Parameters and Structure of Peripheral Erythrocytes in Striped Catfish *Pangasianodon Hypophthalmus*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 44(5), 1309–1318.
- Siegel, A., Bhatt, S., & Zalzman, S. (2009). Aggression: Neurochemical and molecular mechanisms. In L. Squire (Ed.), *Encyclopedia of neuroscience* (pp. 159–165). Oxford, UK: Academic Press.
- Simbolon, D. (2011). Bioekologi dan Dinamika Daerah Penangkapan Ikan.
- Smith, J., & Harper, D. (2003). *Animal signals*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Soranganba N, Singh IJ. Role of Some Steroidogenic Hormones in Fish Reproduction., *Chemical Science Review and Letters* 2019, 8(29):64-69.
- Sorensen, P. W., & Wisenden, B. D. (2015). *Fish pheromones and related cues* (1st ed.). Ames, IA: John Wiley & Sons, Inc.
- Starnes AN., & Jones JR. Inputs and outputs of the mammalian circadian clock. *Biology*. 2023; 12(4):508. <https://doi.org/10.3390/biology12040508>
- Stocco C, Telleria G, Gibori. The molecular control of corpus luteum formation, rolfunction, and regression. *Endocr Rev* 2007; 28:117-149
- Stutchbury BJ, Morton ES. 1995. The effect of breeding synchrony on extra-pair mating systems in songbirds. *Behaviour*. 132:675–690
- Sudirman, Najamuddin, & Palo, M. (2013). Effectiveness of Use of Various Electric Lamps for Attracting of small pelagic fish on fixed lift net. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 19(3), 157–165. <https://www.researchgate.net/publication/318672594>



- Sugianti, Y., Anwar Putri, M. R., & Purnamaningtyas, S. E. (2020). Spesies Ikan Sidat (*Anguilla* spp.) dan Karakteristik Habitat Ruayanya di Sungai Cikaso, Sukabumi, Jawa Barat. *Limnotek : Perairan Darat Tropis Di Indonesia*, 27(1), 39–54. <https://doi.org/10.14203/limnotek.v27i1.329>
- Suhendra, C., & Utami, E. (2017). Biologi Reproduksi Ikan Keperas (*Cyclocheilichthys Apogon*) Di Perairan Sungai Menduk Kabupaten Bangka. *Sumberdaya Perairan*, 11(1), 1–11.
- Sulaiman, M., Jaya, I., & Baskoro, M. S. (2006). Studi Tingkah Laku Ikan pada Proses Penangkapan dengan Alat Bantu Cahaya: Suatu Pendekatan Akustik. *Ilmu Kelautan*, 11(1), 31–36.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development* (6th ed.). Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Takahashi T, Ochi H, Kohda M, Hori M. 2012. Invisible pair bonds detected by molecular analyses. *Biol Lett*. 8:355–357
- Taranger, G. L, Carrillo, M., Schulz, R. W., Fontaine, P., Zanuy, S., Felip, A., & ... (2010). Control of puberty in farmed fish. *Gen Comp Endocrinol*, 165(3):483-515
- Thuman KA, Griffith SC. 2005. Genetic similarity and the nonrandom distribution of paternity in a genetically highly polyandrous shorebird. *Anim Behav*. 69:765–770
- Tierney, K.B., Baldwin, D.H., Hara, T.J., Ross, P.S., Scholz, N.L., & Kennedy, C.J. (2010). Olfactory toxicity in fishes. *Aquatic Toxicology*, 96, 2–26.
- Tomasoa, A. M. (2015). Induksi pematangan gonad ikan sidat (*Anguilla bicolor bicolor*) ukuran 200 g secara hormonal menggunakan Pregnant Mare Serum Gonadotropin, Antidopamin dan Estradiol-17 $\beta$ . [Tesis] Institut Pertanian Bogor
- Tomasoa, A. M., Sudrajat, A. O., & Junior, M. Z. (2015). Induksi pematangan gonad ikan sidat menggunakan PMSG, antidopamin dan estradiol-17 $\beta$ . *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 14(2), 112-121
- Tomotani BM, Amaya JP, Oda GA, Valentinuzzi VS. Social modulation of the daily activity rhythm in a solitary subterranean rodent, the tuco-tuco (*Ctenomys* sp). *Sleep Sci*. 2016; 9(4):280–84. DOI <https://doi.org/10.1016/j.slsci.2016.06.001>



- Tricas, T. C., & Carlson, B. A. (2012). Electroreceptors and magnetoreceptors. In N. Sperelakis (Ed.), *Cell physiology source book* (pp. 705–725). San Diego, CA: Academic Press.
- V. T. F. Prajayati, O. D. S. Hasan, and M. Mulyono. (2020). Magot Flour Performance in Increases Formula Feed Efficiency and Growth of Nirwana Race Tilapia (*Oreochromis sp.*). *J. Perikan. Univ. Gadjah Mada*, vol. 22, no. 1, p. 27. doi: 10.22146/jfs.55428.
- Vági, B., Végvári, Z., Liker, A., Freckleton, R. P., & Székely, T. (2019). Parental care and the evolution of terrestriality in frogs. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 286(1900), 20182737 DOI <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.2737>
- Wang M, Chen HP, Zhai Y, Jiang DN, Liu JY, Tian CX, & Li GL. Phoenixin: Expression at different ovarian development stages and effects on genes related to reproduction in spotted scat, *Scatophagus argus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology* 2019; 228:17-25
- Wedemeyer, G. A. (1996). *Physiology of Fish in Intensive Culture Systems*. New York: Chapman & Hall.
- Weltzien, F. A., Andersson, E., Andersen, Ø., Shalchian-Tabrizi, K., & Norberg, B. (2004). The brain-pituitary-gonad axis in male teleosts, with emphasis on the flatfish (*Pleuronectiformes*). *Comp Biochem Physiol*, 137, 447-477
- Whiteman EA, Côte IM (2004) Monogamy in marine fishes. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 79, 351–75
- Winemiller, K. O. (1990). Spatial and temporal variation in tropical fish assemblages: A review of patterns and hypotheses. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21(1), 225-267.
- Wisenden, B. D. (2020). Effect of Predation on Shaping Parental Brood Defense and Larval Ontogeny of Convict Cichlids Leading to Population Divergence. *Diversity*, 12, 1-15
- Wootton, R. J. (1998). *Ecology of Teleost Fishes* (2nd ed.). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Wyatt, T. (2014). *Pheromones and animal behavior: Chemical signals and signatures* (2nd ed.). Cambridge, MA: Cambridge University Press.



- Y. Akmal, C. Mutia Sena Devi, R. Humairani, and I. Zulfahmi. (2021). Morfometrik Sistem Pencernaan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) yang Dipapar Limbah Cair Kelapa Sawit Digestive System Morphometrics of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Exposed to Palm Oil Mill Effluent," *J. Galung Trop.*, vol. 10, no. 1, pp. 68–81.
- Yaron Z, Gur G, Melamed P, Rosenfeld H, Elizur A, Levavi-Sivan B. Regulation of fish gonadotropins. *Int Rev Cytol* 2003; 225:131-185
- Yuan T, Sun Z, Zhao W, Wang T, Zhang J, Niu D. Phoenixin: a newly discovered peptide with multi-functions. *Protein Pept Lett* 2017; 24: 472-5.
- Zainuri, M. (2019). *Rekayasa dan Tingkah Laku Ikan. ke-1. Madura (ID): UTMPress*
- Zakon, H., Oestreich, J., Tallarovic, S., & Triefenbach, F. (2002). EOD modulations of brown ghost electric fish: JARs, chirps, rises, and dips. *Journal of Physiology Paris*, 96, 451–458.
- Zupanc, G. K. H. (2002). From oscillators to modulators: Behavioral and neural control of modulations of the electric organ discharge in the gymnotiform fish, *Apteronotus leptorhynchus*. *Journal of Physiology Paris*, 96, 459–472.
- Zanuy S, Carrillo M, Rocha A, Molés G. II Regulación y control hormonal del proceso reproductor de los teleósteos. En: Carrillo M, Espinosa de los Monteros J (eds). *La reproducción de los peces: aspectos básicos y sus aplicaciones en acuicultura*. OESA, CSIC, MMAMRN, Madrid, España 2009; 97-172
- Zohar Y and Mylonas CC. Endocrine manipulations of spawning in cultured fish: from hormones to genes. *Aquaculture* 2001; 197:99-136



## BIODATA PENULIS



**Ir. Ady Jufri, S.Pi, M.Si.** lahir di Waetuwo Kabupaten Bone pada tahun 1988. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2006, melanjutkan pendidikan di Universitas Hasanuddin Makassar. Lulus Strata Satu (S1) sebagai sarjana perikanan pada 2010 pada prodi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, tahun 2011 melanjutkan strata dua (S2) pada program studi Ilmu Perikanan Universitas Hasanuddin, dan menyelesaikan studi pada tahun 2013. Tahun 2024, penulis menyelesaikan studi pendidikan profesi insinyur di Universitas Hasanuddin.

Saat ini penulis merupakan staf pengajar pada prodi Perikanan Tangkap Jurusan Perikanan Universitas Sulawesi Barat sejak 2018. Penulis juga merupakan Asesor Kompetensi Badan Nasional Standarisasi Profesi (BNSP), menjadi reviewer beberapa jurnal nasional seperti Jurnal Airaha (SINTA 3), Jurnal Nekton (SINTA 5) dan Jurnal Galung Tropika (SINTA 3). Sejumlah publikasi ilmiah telah dihasilkan penulis dan diterbitkan pada jurnal dan prosiding baik level nasional maupun internasional, termasuk menerbitkan Buku dengan judul "Usaha Penangkapan Ikan Laut Dalam" tahun 2021, "Pengantar Ilmu Perikanan dan Kelautan" tahun 2022 serta "Teknologi Penangkapan Ikan", "Manajemen Pelabuhan Perikanan", "Oseanografi Perikanan" tahun 2023 dan "Perikanan Tangkap" tahun 2024.



**Darmiyati Muksin** dilahirkan di Kota Ternate Provinsi Maluku Utara pada tanggal 16 Februari 1971 dari Bapak H Abdullah Muchsin dan Ibu Hj Rahmah Sahan dan merupakan anak kesebelas dari duabelas bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Ternate pada tahun 1989. Penulis melanjutkan pendidikan sarjana di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Muslim Indonesia dan lulus pada tahun 1996. Penulis menjadi asisten dosen pada tahun 2001 di Universitas Khairun (UNKHAIR) Ternate yang berstatus swasta dan menjadi dosen tetap pada tahun 2002. Penulis diangkat sebagai Ketua Program Studi PSP pada tahun 2002-2004. Pada tahun 2002 penulis mengikuti seleksi dosen negeri dan diangkat sebagai dosen tetap UNKHAIR dengan status Universitas negeri pada tahun 2003. Pada tahun yang sama pula penulis memperoleh Beasiswa Pendidikan Pasca Sarjana (BPPS) dari Dikti untuk melanjutkan pendidikan magister pada Fakultas Teknologi Kelautan Insitut Pertanian Bogor dan lulus pada tahun 2006. Setelah lulus program magister, penulis kembali mengabdikan diri di UNKHAIR dan pada tahun yang sama ditetapkan sebagai anggota senat Fakultas perikanan dan ilmu kelautan serta anggota senat UNKHAIR periode tahun 2006-2010. Pada tahun 2010-2014 penulis menjadi kepala laboratorium Teknologi Penangkapan Ikan program studi PSP. Penulis juga aktif di beberapa lembaga kajian perikanan diantaranya koordinator bidang Kerjasama penelitian dan pengabdian Konsorsium Mitra Bahari Regional Center Maluku utara tahun 2008-2014, Lembaga penelitian Kebaharian dan PKSPL UNKHAIR dan melakukan kerjasama dengan pemerintah Kota ternate, Kota Tidore, Kabupaten Halmahera Tengah dan Kabupaten Halmahera Timur dalam melakukan proyek-proyek penelitian diantaranya penyusunan profil perikanan Kota Ternate dan Halmahera Timur serta penyusunan RZWP3K Kota Tidore dan Kabupaten Halmahera Tengah. Pada tahun 2016, penulis melanjutkan pendidikan doktor pada Program Studi Teknologi Perikanan Laut Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor dengan beasiswa dan dana penelitian dari Beasiswa Unggulan Dosen Indonesia (BUDI) Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI.





**Mochamad Chasbi Lizarryadi**, lahir di Lumajang pada tanggal 18 November 1997. Pendidikan terakhir (S1) diselesaikan di Universitas Brawijaya dalam Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Kota Malang pada tahun 2020. Saat ini penulis merupakan ASN di Dinas Kelautan dan Perikanan Kota Ternate sebagai Staf Analis Akuakultur pada tahun 2024.



**Dr. Mutmainnah, S.Pi, M.Si** lahir di Ujung Pandang pada tanggal 12 Oktober 1971. Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana pada Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, Universitas Muslim Indonesia tahun 1994. Penulis menyelesaikan pendidikan magister pada Program Studi Pengelolaan Pesisir dan Lautan tahun 2004. Pendidikan Program Doktor selesai pada tahun 2012

di Program Studi Pengelolaan Pesisir dan Lautan IPB melalui program Beasiswa BPPS dari Dikti. Penulis bekerja sebagai tenaga peneliti non-PNS di Dinas Perikanan Propinsi Sulawesi Selatan tahun 1994-2001, kemudian diterima menjadi ASN di Universitas Khairun pada Desember 2003-sekarang.

Penulis aktif mengikuti seminar, mempublikasi artikel pada jurnal nasional dan internasional bereputasi; aktif sebagai penulis buku. Buku yang telah dibuat antara lain: Biologi Perikanan, Ekonomi Lingkungan, Guru dan Pandemi (Antologi), Pengantar Lingkungan Mangrove, Dimensi Keberlanjutan Perdesaan Dan Perkotaan, Perencanaan Pelabuhan, Revolusi Maritim di Indonesia (Infrastruktur, Investasi, dan Ekonomi Berkelanjutan), Pengembangan Pemanfaatan Sumberdaya Pulau Kecil, Pengelolaan dan Pemanfaatan Sumberdaya Pulau Kecil, Perkembangan Pesat (*Blooming*) Fitoplankton Dan Dampaknya Bagi Perairan, Metodologi Penelitian Panduan Praktis Untuk Mahasiswa Dan Peneliti.





**Aprelia Martina Tomaso, S.Pi, M. Si** lahir di Ambon 6 April 1989. Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana pada Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura tahun 2011. Penulis menyelesaikan pendidikan magister pada Program Studi Ilmu Akuakultur, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor tahun 2015. Penulis bekerja sebagai tenaga pengajar di Program Studi Teknologi Budidaya Ikan, Politeknik Negeri Nusa Utara. Penulis aktif mengajar mata kuliah seperti; Dasar Teknologi Budidaya Ikan, Kualitas Air, Genetika Dalam Budidaya Ikan, Teknologi Pembenihan Ikan, Teknik Budidaya Non Ikan, Marikultur dan Pengelolaan Balai Benih Ikan. Penulis aktif mempublikasi artikel ilmiah di jurnal nasional dan internasional, aktif menulis dan menjadi editor buku serta menjadi reviewer di jurnal nasional.



**Dr. Irham, S.Pi, M.Si** dilahirkan di Ternate pada tanggal 3 Desember 1979 sebagai anak kelima dari pasangan Yusuf Hi. Ichsan (Almarhum) dengan Hj. Siti Hawa Musa (Almarhuma). Pendidikan sarjana di tempuh di Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Khairun Ternate, lulus tahun 2002.

Tahun 2004, penulis diterima di Program Studi Teknologi Kelautan pada Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor dan menamatkannya pada tahun 2006. Kesempatan untuk melanjutkan ke Program Doktor pada Program Studi dan Perguruan Tinggi yang sama pada tahun 2006 dan berhasil menamatkannya pada tahun 2009. Penulis bekerja sebagai Staf Pengajar di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Khairun sejak tahun 2002 hingga sekarang dan sebagai pengajar pada Prodi Ilmu Kelautan Program Pascasarjana Universitas Khairun dari tahun 2017 hingga sekarang.

Penulis terlibat sebagai anggota Komisi Nasional Pengkajian Stok Ikan Republik Indonesia (komnas KAJISKAN) periode 2023-2027 dan sebagai anggota Panel Ilmiah Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPPNRI) 715. Penulis aktif mempublikasi artikel pada jurnal nasional dan internasional bereputasi, aktif sebagai penulis buku, seperti buku: *Dinamikia Perikanan Tangkap, Pengembangan Sumberdaya Ikan Layang (*Decapterus spp*) Berkelanjutan (Studi Kasus di Perairan Maluku Utara)*, *Pengelolaan Sumberdaya Alam di Pesisir Desa Bajo Guruapin Maluku Utara*.





**Fitri Indah Yani S.Pi., M.Si** lahir di Maros pada tanggal 18 Mei 1987. Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana pada Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin (UNHAS) tahun 2006. Penulis menyelesaikan pendidikan magister pada Program Studi Ilmu Perikanan, Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin (UNHAS) tahun 2011 melalui program Beasiswa Unggulan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (BU Dikti). Penulis bekerja sebagai tenaga pengajar non-PNS di Program Studi Budidaya Perairan tahun 2014 - sekarang. Penulis aktif mengikuti seminar, mempublikasikan artikel pada jurnal nasional dan internasional bereputasi; aktif sebagai editor jurnal dan reviewer pada jurnal nasional terakreditasi SINTA, aktif sebagai penulis buku dengan judul Penanganan Hasil Perairan.



**Triayu Rahmadiyah, S.Pi, M.Si.**, lahir di Muara Enim pada tanggal 7 Maret 1992. Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana pada Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya tahun 2013, dan pendidikan magister pada Program Studi Ilmu Akuakultur, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor tahun 2018. Penulis bekerja sebagai Dosen ASN di Program Studi Budidaya Perikanan

Air Tawar, Akademi Komunitas Negeri Rejang Lebong mulai Agustus 2022 sampai dengan sekarang. Penulis aktif dalam kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat, mempublikasi artikel pada jurnal nasional bereputasi, dan sebagai *reviewer* pada jurnal nasional bereputasi. Selain itu penulis juga aktif menulis buku kolaborasi yang berjudul Teknologi Akuakultur (ISBN: 978-623-8548-37-8), Teknik Budidaya Perikanan dan Kelautan (ISBN: 978-623-89139-0-9), Teknologi Reproduksi dan Pembenihan Ikan (ISBN: 978-623-89202-9-7), Kualitas Air Budidaya Ikan (ISBN: 978-623-89218-3-6), Perencanaan Industri Akuakultur (ISBN: 978-623-8784-92-9), Budidaya Ikan Air Tawar (ISBN: 978-623-8784-82-0). Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: [triayu.rahmadiyah@akrel.ac.id](mailto:triayu.rahmadiyah@akrel.ac.id).



# DINAMIKA TINGKAH LAKU IKAN

Buku **Dinamika Tingkah Laku Ikan** membahas berbagai aspek perilaku ikan yang menjadi kunci bagi keberlangsungan hidup ikan di berbagai ekosistem perairan. Buku ini disusun secara sistematis dan didukung oleh berbagai hasil penelitian terkini sehingga dapat memberikan pemahaman mendalam tentang hubungan kompleks antara anatomi, fisiologi, lingkungan, dan perilaku ikan, agar dapat bertahan hidup, berkembang biak, dan berinteraksi di lingkungan yang dinamis.

Dalam buku ini, pembaca akan mendapatkan penjelasan terkait anatomi dan fisiologi tingkah laku ikan; pola pergerakan dan migrasi, tingkah laku makan, strategi predasi, dan interaksi antar ikan; adaptasi perilaku terhadap lingkungan, serta perilaku agresif dan pertahanan diri ikan. Penjelasan tentang tingkah laku ikan sangat membantu dalam peningkatan produksi budidaya perikanan ataupun penangkapan ikan.

Buku ini ditujukan bagi mahasiswa, peneliti, praktisi perikanan, dan siapa saja yang tertarik untuk memahami perilaku ikan secara komprehensif. Melalui buku ini, pembaca akan diajak untuk melihat ikan tidak hanya sebagai objek studi dan bahan pangan, tetapi juga sebagai makhluk hidup dengan dinamika perilaku yang kompleks dan menakjubkan.



Penerbit KAMIYA JAYA AQUATIC  
RT 008 RW 003 Kelurahan Fitu, Kecamatan Ternate Selatan,  
Kota Ternate, Maluku Utara  
Telp. : 0812-2279-3284  
Email : [kamiyajayaaquatic@gmail.com](mailto:kamiyajayaaquatic@gmail.com)  
Website : <https://kjaquatic.com/>

