

Akumulasi Logam Berat Merkuri pada Ikan Tembang (*Sardinella fimbriata* Valenciennes, 1847) Ditinjau dari Kebiasaan Makan di Perairan Selat Makassar

Asmaul Husna¹, Wayan Kantun^{2*}

^{1,2}Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa

Email correspondence*: aryakantun@gmail.com

ABSTRACT

The Fringe scale sardinella is a small pelagic fish that plays a strategic role in capture fisheries in the Makassar Strait. Information on the relationship between dietary habits and the accumulation of the heavy metal mercury (Hg) in various fish sizes is still relatively limited. Mercury is known as a heavy metal that is toxic, persistent, and capable of biomagnification in the food chain, thus potentially posing a risk to human health. This study aims to analyze the relationship between dietary habits and body size of Fringe scale sardinella and mercury content in fish muscle tissue. The study was conducted using a descriptive analytical method with a survey approach. Fringe scale sardinella samples were grouped into three size classes: small, medium, and large. Dietary habits were analyzed through identification of stomach contents, while mercury content was analyzed in muscle tissue using the SNI: 2354.6.2016 method. The results of the study showed a shift in the feeding habits of Fringe scale sardinella as their size increased, from the dominance of phytoplankton and micro zooplankton at small sizes to larger zooplankton at medium and large sizes, which was followed by variations in mercury content between fish sizes. The lowest mercury content was found in small fish (0.2676 ± 0.008 mg/kg), increased in medium-sized fish (0.3536 ± 0.010 mg/kg) as the maximum accumulation phase, and decreased again in large fish (0.2996 ± 0.004 mg/kg), which indicates the role of growth dilution effects and physiological mechanisms of fish in controlling mercury accumulation. The feeding habits and body size of Fringe scale sardinella closely related to mercury accumulation patterns, thus becoming an important aspect in assessing the risk of mercury contamination in fish resources in the Makassar Strait waters.

Keywords: Fringe scale sardinella, food habits, heavy metals, mercury, Makassar Strait

I. PENDAHULUAN

Ikan tembang (*Sardinella fimbriata*, Valenciennes 1847) merupakan salah satu spesies pelagis kecil yang memiliki nilai ekonomis penting di kawasan Selat Makassar. Spesies ini memiliki peran ekologis dalam rantai makanan, sebagai konsumen primer yang menghubungkan tingkat trofik plankton dengan predator tingkat menengah dan tinggi (Badrudin & Wudianto, 2004). Informasi tentang kebiasaan makan ikan tembang sangat penting, karena aspek ini mencerminkan hubungan ekologis antara organisme dan lingkungannya, menentukan

dinamika pertumbuhan, distribusi, serta potensi bioakumulasi bahan pencemar seperti logam berat (Darmono, 2020; Wandu *et al.*, 2021; Kantun *et al.*, 2024).

Ikan tembang dikategorikan sebagai ikan planktivora oportunistik dengan makanan utama berupa fitoplankton dan zooplankton. Hasil analisis isi lambung pada spesies *Sardinella fimbriata* pada berbagai wilayah menunjukkan bahwa kelompok *Bacillariophyceae* (diatom) seperti *Thalassiothrix frauenfeldii*, *Coscinodiscus* spp., dan *Chaetoceros* spp. mendominasi

komposisi makanan (Deafatmi, 2020). Selain itu, zooplankton seperti *copepoda*, *amphipoda*, serta larva *crustacea* juga ditemukan dalam jumlah yang banyak, terutama pada individu berukuran lebih besar (Vicente *et al.*, 2025).

Analisis isi lambung ikan tembang menunjukkan bahwa kelompok *Bacillariophyceae* (diatom) dan copepoda mendominasi komposisi makanan alami, menandakan bahwa tembang berperan sebagai penyaring partikel organik berukuran mikro dalam rantai trofik perairan tropis (Vicente *et al.*, 2025). Penelitian di Selat Bali dan Teluk Kendari melaporkan adanya pergeseran ontogenetik, di mana ikan berukuran kecil lebih banyak mengonsumsi fitoplankton, sedangkan individu dewasa cenderung mengandalkan zooplankton berukuran lebih besar (Pertami, 2019). Pola makan ini dipengaruhi oleh musim dan kondisi oseanografi; ketersediaan plankton yang meningkat pada periode upwelling atau produktivitas tinggi menyebabkan peningkatan indeks isi lambung dan frekuensi makan tembang (Asriyana, 2004; Andini *et al.*, 2025). Kebiasaan makan tembang menunjukkan fleksibilitas ekologis yang kuat, menjadikannya indikator penting terhadap perubahan struktur komunitas plankton dan kondisi produktivitas perairan di Selat Makassar.

Pola makan ini menunjukkan bahwa ikan tembang bersifat filter feeder selektif, yakni menyaring organisme plankton berukuran mikro sampai meso melalui insang saat berenang dalam kelompok besar di kolom air (Pet *et al.*, 1997). Ketersediaan plankton di perairan Selat Makassar, sangat dipengaruhi oleh musim monsun. Selama musim timur (Juli–Oktober), peningkatan intensitas *upwelling* dan konsentrasi klorofil-*a* menyebabkan ketersediaan fitoplankton meningkat, sehingga laju makan ikan tembang cenderung lebih tinggi (Irsandi & Kantun, 2025). Sebaliknya, pada musim barat, ketika produktivitas perairan menurun, ikan tembang menunjukkan perilaku mencari makanan lebih aktif pada lapisan permukaan air.

Kebiasaan makan ikan tembang juga mengalami perubahan menurut tahapan umur dan ukuran tubuh (pola ontogenetik). Individu muda (juvenil) umumnya lebih banyak mengonsumsi fitoplankton berukuran kecil, karena keterbatasan bukaan mulut dan sistem filtrasi insang yang belum optimal. Sedangkan individu dewasa dengan ukuran tubuh lebih besar cenderung memperluas spektrum makanannya mencakup zooplankton dan partikel organik tersuspensi (Suleman *et al.*, 2022).

Fenomena ini telah diamati pula pada beberapa lokasi di Selat Makassar, seperti perairan Barru dan Takalar. Analisis isi lambung menunjukkan bahwa proporsi zooplankton meningkat seiring pertambahan ukuran panjang total ikan tembang, dari sekitar 20% pada ikan berukuran <150 mm menjadi lebih dari 45% pada ikan >200 mm (Toding, 2023). Hal ini menunjukkan bahwa ikan tembang menyesuaikan pola makannya berdasarkan kebutuhan energi dan kemampuan filtrasi insang yang berkembang seiring pertumbuhan. Perubahan ontogenetik ini berdampak pada distribusi vertikal dan horizontal ikan, karena individu dewasa lebih aktif berpindah pada lapisan air tertentu untuk mencari zooplankton.

Pola makan ikan tembang di Selat Makassar tidak terlepas dari dinamika lingkungan perairan yang dipengaruhi oleh arus, suhu permukaan laut, dan kandungan nutrisi. Selat Makassar merupakan jalur utama Arlindo yang membawa massa air bersuhu lebih rendah dan kaya nutrisi dari Laut Sulawesi ke Laut Jawa. Kondisi ini mendorong terjadinya *upwelling* lokal yang meningkatkan produktivitas primer dan mendukung pertumbuhan plankton (Kantun dan Norman, 2017), yang kemudian menjadi sumber makanan bagi ikan tembang.

Kebiasaan makan ikan tembang yang bergantung pada plankton memiliki dampak terhadap potensi bioakumulasi logam berat, ketika plankton terpapar kontaminan dari aktivitas antropogenik pada wilayah pesisir. Ikan tembang mengonsumsi plankton yang berada pada tingkat trofik paling awal, sehingga kontaminasi logam berat akan terakumulasi melalui proses bioakumulasi langsung, bukan biomagnifikasi seperti pada ikan predator.

Sebagai konsumen primer dan sekunder, ikan tembang berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem laut tropis. Ikan ini menjadi penghubung antara produktivitas primer (plankton) dengan ikan predator menengah seperti tongkol komo (*Euthynnus affinis*) dan kembung (*Rastrelliger kanagurta*). Ketersediaan ikan tembang sebagai makanan alami bagi predator menjadikan stabilitas populasinya sangat bergantung pada kondisi lingkungan dan produktivitas perairan. Gangguan terhadap

sumber makanan ikan tembang berdampak langsung terhadap struktur komunitas pelagis di Selat Makassar (Purwanto, 2024).

Kandungan logam berat dalam jaringan ikan tembang di perairan Indonesia bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan dan lokasi penangkapan. Hasil penelitian di wilayah Sulawesi Tenggara dan Bali melaporkan kadar Cd, Pb, dan Hg yang relatif rendah pada ikan pelagis kecil termasuk tembang, namun fluktuasi nilai terjadi pada area dengan tingkat sedimentasi dan pencemaran tinggi (Saputri *et al.*, 2023). Pola akumulasi logam pada tembang berkaitan dengan kebiasaan makannya sebagai planktivora, di mana plankton berperan sebagai vektor utama bioakumulasi logam dari kolom air ke jaringan ikan (Mehouel *et al.*, 2019). Posisi trofik yang rendah, menyebabkan ikan tembang memiliki tingkat logam lebih kecil dibanding predator besar, namun tetap berpotensi sebagai bioindikator kualitas lingkungan laut, terutama pada kawasan produktif seperti Selat Makassar yang rentan terhadap input limbah pelabuhan.

Perairan Selat Makassar merupakan salah satu wilayah perikanan paling potensial di Indonesia bagian tengah. Selat Makassar secara geografis berada di antara Pulau Kalimantan dan Sulawesi yang berfungsi membawa massa air dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia dengan perantara arus (Fan *et al.*, 2018). Arus ini berperan dalam distribusi suhu, salinitas, dan nutrisi yang mendukung tingginya produktivitas primer, sehingga menjadikan Selat Makassar sebagai kawasan yang kaya sumber daya ikan pelagis dan demersal (Lubis *et al.*, 2025).

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada integrasi metodologis yang berkaitan dengan kuantifikasi hubungan makanan spesifik dengan profil logam berat. Pendekatan ini dapat menghasilkan data ilmiah tentang mekanisme transfer logam pada ikan tembang dalam mendukung pengelolaan perikanan dan kesehatan masyarakat. Penelitian ini penting dilakukan karena ikan tembang merupakan spesies pelagis kecil yang memiliki peran ekologis dan ekonomis penting di Selat Makassar, baik sebagai komponen rantai makanan dilaut maupun sumber protein bagi masyarakat pesisir. Aktivitas industri, pelabuhan, dan peningkatan limbah perkotaan di kawasan ini berpotensi menyebabkan akumulasi logam berat yang dapat berpindah melalui rantai makanan sampai ke manusia. Informasi hubungan antara kebiasaan makan dan kandungan logam berat pada ikan tembang, dapat menjadi dasar ilmiah untuk menilai jalur transfer kontaminan dalam ekosistem laut serta

menilai keamanan konsumsi hasil tangkapan. Hasilnya diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengelolaan perikanan yang berkelanjutan dan perlindungan kesehatan masyarakat pesisir.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November sampai Desember 2025. Lokasi pengambilan sampel ikan tembang dilakukan di Tempat Pendaratan Ikan Beba, Kabupaten Takalar. Pengamatan kebiasaan makan ikan tembang dilakukan di laboratorium Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa. Pengujian merkuri dilakukan di laboratorium *Quality Application of Fishery Products of Marine and Fisheries Products Makassar, South Sulawesi*, Indonesia.

Pengukuran panjang ikan dilakukan menggunakan kaliper digital dengan ketelitian 0,01 mm dari ujung anterior ke posterior ikan (panjang total). Pengolahan data dilakukan terhadap data hasil uji laboratorium untuk memperoleh pola kecenderungan kandungan logam berat merkuri dan kebiasaan makan ikan tembang berdasarkan ukuran. Hasil pengolahan data kemudian digunakan untuk membuat interpretasi dan rekomendasi yang mendukung tujuan penelitian.

Ukuran Ikan

Ukuran ikan yang dimaksud dalam hal ini adalah ukuran panjang ikan yang dibedakan berdasarkan strata ukuran kecil berkisar < 50 mm, sedang berkisar 50-90 mm dan besar > 90 mm. Pembagian strata ukuran ini berdasarkan interval kelas dari ukuran terkecil sampai terbesar.

Kebiasaan Makan

Analisis kebiasaan makan ikan tembang dilakukan untuk memperoleh informasi tentang jenis makanan yang dimakan, makanan utama, pelengkap dan tambahan. Selain itu juga untuk memperoleh informasi jenis makanan fito atau zooplankton (pelagis atau demersal). Untuk memperoleh informasi tersebut, maka dilakukan perhitungan melalui Indeks Relatif Penting (IRP) yang merujuk ke

Natarajan dan Jhingran (1961) dengan formula:

$$IRP = W \times F \dots \dots \dots (1)$$

Ket:

W = bobot suatu jenis makanan terhadap bobot seluruh jenis makanan dalam lambung ikan (%);
F = adalah kejadian suatu jenis makanan terhadap semua jenis yang terdapat dalam lambung (%).

Kebiasaan makan ikan dibagi menjadi empat kelompok yaitu makanan utama, pelengkap, tambahan, dan pengganti. Makanan utama adalah makanan dengan nilai IRP lebih dari 40%. Jika nilai IRP berada di antara 4% sampai 40%, makanan tersebut termasuk makanan pelengkap. Sementara itu, makanan dengan nilai IRP kurang dari 4% dikategorikan sebagai makanan tambahan. Selain itu, makanan pengganti adalah makanan yang dikonsumsi ketika makanan utama tidak tersedia.

Pengujian Logam Berat Merkuri

Logam berat merkuri diuji dengan menggunakan metode uji yang tertuang dalam SNI: 2354.6.2016 (BSN, 2016). Metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) digunakan untuk menganalisis kandungan logam berat dan merkuri (Hg) pada jaringan otot ikan tembang.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebiasaan Makan

Kebiasaan makan ikan tembang berdasarkan ukuran yakni kecil, sedang dan besar memperlihatkan bahwa status makanan utama semakin menurun seiring meningkatnya ukuran ikan, namun makanan pelengkap semakin meningkat seiring bertambahnya ukuran. Pada sisi lain, frekuensi kejadian makanan utama juga semakin menurun seiring bertambahnya ukuran dan frekuensi kejadian makanan pelengkap semakin meningkat sejalan bertambahnya ukuran ikan tembang (Tabel 1).

Tabel 1:

rekuensi kejadian dan status makanan Ikan tembang selama penelitian

Ukuran Ikan (mm)	Status Makanan (%)		Frekuensi Kejadian (%)	
	Utama	Pelengkap	Utama	Pelengkap
Kecil (< 50)	94,99	5,01	81,25	18,75
Sedang (50-90)	90,00	10,00	77,27	22,73
Besar (> 90)	88,74	11,26	73,33	26,67

Sumber: hasil analisis data penelitian

Kebiasaan makan ikan tembang yang tertangkap di perairan Selat Makassar berdasarkan ukuran tubuh kecil, sedang, dan besar menunjukkan pola ontogenetik yang ditandai oleh menurunnya proporsi makanan utama seiring bertambahnya ukuran ikan. Sementara kontribusi makanan pelengkap cenderung meningkat. Pola ini mencerminkan adaptasi ekologis ikan tembang terhadap dinamika lingkungan perairan Selat Makassar yang dikenal memiliki produktivitas primer tinggi, variabilitas oseanografi yang kuat, serta ketersediaan plankton yang berfluktuasi secara spasial dan temporal.

Pada fase ukuran kecil, ikan tembang di Selat Makassar umumnya bersifat planktivora spesialis, dengan dominasi konsumsi fitoplankton dan zooplankton berukuran kecil sebagai makanan utama. Ketergantungan yang tinggi terhadap makanan utama ini berkaitan dengan keterbatasan morfologis seperti bukaan mulut yang relatif kecil dan kemampuan berenang yang masih terbatas, sehingga ikan juvenil lebih efisien memanfaatkan plankton mikro yang melimpah pada lapisan permukaan perairan. Kondisi ini sejalan dengan karakter Selat Makassar yang dipengaruhi oleh Arus Lintas Indonesia, yang berperan dalam membawa nutrisi dan meningkatkan ketersediaan plankton sebagai sumber makanan utama ikan pelagis kecil (Nontji, 2007; FAO, 2022).

Seiring pertambahan ukuran menuju fase sedang dan besar, ikan tembang di Selat Makassar menunjukkan perluasan spektrum trofik, yang tercermin dari meningkatnya konsumsi makanan pelengkap seperti zooplankton berukuran lebih besar, larva krustasea, serta partikel organik tersuspensi. Peningkatan proporsi makanan pelengkap ini menyebabkan kontribusi relatif makanan utama dalam lambung menurun, meskipun secara absolut masih tetap dikonsumsi. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa ikan tembang dewasa bersifat lebih oportunistik, dengan kemampuan memanfaatkan berbagai sumber makanan yang tersedia sebagai respons terhadap fluktuasi ketersediaan plankton akibat dinamika musiman dan variabilitas oseanografi Selat Makassar (Karachle & Stergiou, 2019; Nikolioudakis et al., 2021).

Selain faktor ontogenetik, kondisi perairan Selat Makassar yang bersifat terbuka dan dinamis turut memperkuat pola diversifikasi makanan pada ikan tembang berukuran besar. Variasi arus, pencampuran massa air, serta perubahan produktivitas primer menyebabkan distribusi plankton tidak selalu stabil, sehingga ikan tembang dewasa cenderung mengoptimalkan strategi makan dengan meningkatkan konsumsi makanan pelengkap guna memenuhi kebutuhan energi yang lebih besar, terutama untuk pemeliharaan dan reproduksi (Pauly *et al.*, 2020; Llopiz *et al.*, 2020).

Pergeseran komposisi makanan ikan tembang berdasarkan ukuran di Selat Makassar dari sudut pandang ekologi perikanan menunjukkan perubahan peran trofik dalam jaring-jaring makanan pelagis. Ikan berukuran kecil berfungsi sebagai konsumen tingkat rendah yang secara langsung memanfaatkan produksi primer, sedangkan ikan berukuran besar berperan sebagai penghubung antar tingkat trofik dengan relung makan yang lebih luas. Peran ini sangat penting mengingat ikan tembang merupakan salah satu komponen utama dalam sistem perikanan pelagis kecil di Selat Makassar dan berkontribusi dalam transfer energi menuju predator tingkat tinggi serta mendukung produktivitas perikanan regional.

Kecenderungan menurunnya proporsi makanan utama dan meningkatnya makanan pelengkap seiring bertambahnya ukuran ikan tembang di Selat Makassar tidak mencerminkan penurunan kualitas makanan, melainkan merupakan strategi adaptif yang mencerminkan fleksibilitas trofik dan efisiensi pemanfaatan sumber daya dalam lingkungan perairan yang dinamis dan produktif (Kantun *et al.*, 2019).

Penurunan frekuensi kejadian makanan utama seiring bertambahnya ukuran ikan tembang, disertai meningkatnya frekuensi kejadian makanan pelengkap, menunjukkan adanya pergeseran strategi pemanfaatan sumber makanan secara ontogenetik. Pola ini mencerminkan perubahan kuantitas konsumsi, dan menggambarkan perubahan konsistensi dan keteraturan pemanfaatan jenis makanan tertentu oleh individu pada kelas ukuran yang berbeda.

Pada ikan tembang berukuran kecil, tingginya frekuensi kejadian makanan utama mengindikasikan bahwa jenis pakan tersebut dikonsumsi secara relatif konsisten oleh sebagian besar individu. Kondisi ini berkaitan dengan keterbatasan morfologis dan fisiologis, seperti bukaan mulut yang kecil dan kapasitas seleksi makanan yang sempit, sehingga ikan juvenil cenderung mengandalkan sumber

makanan utama yang berukuran kecil, mudah ditangkap, dan tersedia secara kontinyu di perairan. Ikan pelagis kecil, fase awal kehidupan umumnya ditandai oleh pola makan yang lebih seragam dan spesifik, sehingga frekuensi kejadian makanan utama menjadi tinggi (Karachle & Stergiou, 2019; Peck *et al.*, 2020).

Seiring bertambahnya ukuran tubuh, frekuensi kejadian makanan utama pada ikan tembang menurun, yang menunjukkan bahwa tidak semua individu berukuran sedang dan besar secara konsisten mengonsumsi jenis makanan utama yang sama. Penurunan ini mencerminkan melemahnya ketergantungan terhadap satu sumber makanan dominan, sejalan dengan meningkatnya kemampuan ikan untuk mengeksplorasi berbagai jenis makanan alternatif. Pada fase ini, ikan tembang mulai menunjukkan fleksibilitas trofik yang lebih tinggi, sehingga komposisi makanan antarindividu menjadi lebih bervariasi dan menyebabkan frekuensi kejadian makanan utama relatif menurun (Nikolioudakis *et al.*, 2021).

Sebaliknya, meningkatnya frekuensi kejadian makanan pelengkap pada ikan tembang berukuran lebih besar menunjukkan bahwa jenis makanan tambahan tersebut semakin sering dijumpai dalam lambung sebagian besar individu. Hal ini mengindikasikan bahwa makanan pelengkap tidak lagi bersifat insidental, melainkan telah menjadi bagian integral dari strategi makan ikan tembang dewasa. Fenomena ini berkaitan dengan meningkatnya kebutuhan energi untuk pemeliharaan dan reproduksi, serta kondisi lingkungan perairan yang dinamis, yang mendorong ikan untuk mengoptimalkan peluang makan dari berbagai sumber yang tersedia (Llopiz *et al.*, 2020; FAO, 2022).

Pergeseran frekuensi kejadian tersebut mencerminkan perluasan relung trofik populasi ikan tembang seiring bertambahnya ukuran tubuh. Ikan berukuran kecil cenderung menempati relung makan yang sempit dengan pola konsumsi yang homogen, sedangkan ikan berukuran besar menempati relung yang lebih luas dengan pola konsumsi yang heterogen antarindividu. Perluasan relung ini berperan penting dalam meningkatkan ketahanan populasi terhadap fluktuasi ketersediaan plankton utama dan menjaga stabilitas aliran

energi dalam jaring-jaring makanan pelagis (Pauly et al., 2020; Smith et al., 2021).

Kecenderungan menurunnya frekuensi kejadian makanan utama dan meningkatnya frekuensi kejadian makanan pelengkap seiring bertambahnya ukuran ikan tembang menegaskan bahwa perubahan kebiasaan makan merupakan strategi adaptif yang mencerminkan peningkatan fleksibilitas trofik dan efisiensi pemanfaatan sumber daya (Kantun dan Latif., 2025) pada fase kehidupan yang lebih lanjut, bukan sekadar variasi acak dalam komposisi makanan.

Tabel 2:

Jenis makanan utama dan pelengkap ikan tembang berukuran kecil

Jenis Makanan	W		F		IRP	Status Makanan
	Volume (g)	%	Kejadian	%		
Skeletonema	1,21	26,36	4	25,00	659,04	Makanan utama
Dinoflagellata	1,08	23,53	2	12,50	294,12	Makanan utama
Nauplii copepoda	1,05	22,88	4	25,00	571,90	Makanan utama
Rotifera	0,13	2,83	2	12,50	35,40	Makanan pelengkap
Fitoflagellata kecil	0,1	2,18	1	6,25	13,62	Makanan pelengkap
Tidak teridentifikasi	1,02	22,22	3	18,75	416,67	Makanan utama
Jumlah	4,59	100,00	16	100,00		

Sumber: hasil analisis data penelitian

Tabel 3:

Jenis makanan utama dan pelengkap ikan tembang berukuran sedang

Jenis Makanan	W		F		IRP	Status Makanan
	Volume (g)	%	Kejadian	%		
Larva udang kecil	2,23	43,73	5	22,73	993,76	Makanan utama
Copepoda	0,82	16,08	3	13,64	219,25	Makanan utama
Cladocera	1,35	26,47	6	27,27	721,93	Makanan utama
Larva moluska	0,2	3,92	2	9,09	35,65	Makanan pelengkap
Ostracoda	0,12	2,35	2	9,09	21,39	Makanan pelengkap
Detritus	0,19	3,73	1	4,55	16,93	Makanan pelengkap
Tidak teridentifikasi	0,19	3,73	3	13,64	50,80	Makanan utama
Jumlah	5,1	100,00	22	100,00		

Sumber: hasil analisis data penelitian

Tabel 4:

Jenis makanan utama dan pelengkap ikan tembang berukuran besar

Jenis Makanan	W		F		IRP	Status Makanan
	Volume (g)	%	Kejadian	%		
Copepoda	3,2	36,04	7	23,33	840,84	Makanan utama
Euphausiid kecil	1,32	14,86	5	16,67	247,75	Makanan utama
Chaetognatha kecil	2,27	25,56	8	26,67	681,68	Makanan utama
Amphipoda kecil	0,28	3,15	3	10,00	31,53	Makanan pelengkap
Appendicularia	0,41	4,62	2	6,67	30,78	Makanan pelengkap
Gelatinous	0,31	3,49	3	10,00	34,91	Makanan pelengkap
Tidak teridentifikasi	1,09	12,27	2	6,67	81,83	Makanan utama
Jumlah	8,88	100,00	30	100,00		

Sumber: hasil analisis data penelitian

Pada ikan tembang berukuran kecil, dominasi Skeletonema, Dinoflagellata, dan nauplii copepoda sebagai makanan utama menunjukkan bahwa fase ini dicirikan oleh pola makan planktivor berbasis plankton mikro. Skeletonema dan Dinoflagellata

merupakan fitoplankton berukuran kecil dengan ketersediaan tinggi di perairan produktif, sehingga menjadi sumber energi yang efisien bagi ikan juvenil. Sementara itu, nauplii copepoda berperan sebagai komponen zooplankton mikro yang kaya energi dan mudah dicerna. Ketergantungan terhadap organisme berukuran kecil ini berkaitan dengan keterbatasan bukaan mulut dan kemampuan seleksi mangsa pada ikan ukuran kecil, sehingga pakan yang berukuran mikro dan berlimpah menjadi pilihan utama (Peck et al., 2020; Nikolioudakis et al., 2021).

Pada ikan tembang berukuran sedang, komposisi makanan utama bergeser menjadi larva udang kecil, copepoda, dan cladocera. Pergeseran ini menunjukkan transisi dari planktivor mikro menuju planktivor mesozooplankton, seiring dengan meningkatnya ukuran bukaan mulut dan kemampuan berenang. Kehadiran larva udang kecil dan cladocera sebagai makanan utama mengindikasikan bahwa ikan tembang pada fase ini telah mampu mengeksploitasi mangsa yang lebih besar dan bergerak aktif, yang memberikan asupan energi lebih tinggi dibandingkan fitoplankton. Copepoda tetap menjadi komponen penting karena ketersediaannya yang luas dan perannya sebagai penghubung utama antara produksi primer dan tingkat trofik yang lebih tinggi (Karachle & Stergiou, 2019; Llopiz et al., 2020).

Pada ikan tembang berukuran besar, makanan utama didominasi oleh copepoda, euphausiid kecil, dan chaetognatha kecil. Komposisi ini mencerminkan perluasan relung trofik menuju tingkat trofik yang lebih tinggi, meskipun ikan tembang tetap diklasifikasikan sebagai planktivor. Euphausiid kecil dan chaetognatha merupakan organisme zooplankton dengan kandungan energi tinggi, sehingga sesuai untuk memenuhi kebutuhan energi ikan dewasa, terutama terkait pemeliharaan dan reproduksi. Dominasi organisme ini menunjukkan bahwa ikan tembang ukuran besar bersifat lebih oportunistik dan memiliki fleksibilitas trofik yang lebih tinggi dibandingkan fase sebelumnya (Pauly et al., 2020; Nikolioudakis et al., 2021).

Perubahan makanan utama dari fitoplankton dan zooplankton mikro pada ikan

tembang ukuran kecil, menuju zooplankton yang lebih besar dan kompleks pada ikan ukuran sedang dan besar, menunjukkan adanya pola peningkatan ukuran mangsa (prey size spectrum) seiring pertumbuhan ikan. Pola ini merupakan strategi adaptif yang memungkinkan ikan tembang memaksimalkan efisiensi energi dan mempertahankan perannya sebagai komponen kunci dalam transfer energi pada jaring-jaring makanan pelagis (Smith et al., 2021; FAO, 2022).

Kandungan Logam Berat Merkuri Ikan Tembang

Kandungan logam berat merkuri (Hg) berkisar 0,2606-0,3637 mg/kg. Kandungan terendah merkuri ditemukan pada ikan tembang berukuran kecil sebesar 0,2606 mg/kg dan kandungan merkuri tertinggi ditemukan pada ikan tembang berukuran sedang yang mencapai 0,3637 mg/kg (Tabel 5).

Tabel 5:

Kandungan logam berat Merkuri berdasarkan ukuran pada ikan tembang

No	Ukuran ikan (mm)	Logam Berat	Kisaran logam berat (mg/kg)	Nilai Rataan dan Deviasi
	Kecil (< 50)	Merkuri (Hg)	0,2606-0,2766	0,2676 ± 0,0082
	Sedang (50–90)		0,3436-0,3637	0,3536 ± 0,0101
	Besar (> 90)		0,2954-0,3039	0,2996 ± 0,0043

Sumber: hasil analisis data penelitian

Kandungan merkuri (Hg) pada ikan tembang menunjukkan variasi antar kelas ukuran, dengan konsentrasi terendah terdeteksi pada ikan berukuran kecil sebesar 0,2606 mg/kg, sedangkan konsentrasi tertinggi ditemukan pada ikan berukuran sedang sebesar 0,3637 mg/kg. Pola ini mengindikasikan bahwa akumulasi merkuri pada ikan tembang tidak selalu meningkat secara linier seiring pertambahan ukuran tubuh, melainkan dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara umur, kebiasaan makan, dan dinamika bioakumulasi dalam rantai makanan.

Jika dikaitkan dengan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan No. 37/PERMEN-KP/2019, yang menetapkan batas maksimum cemaran merkuri pada ikan dan hasil perikanan, kandungan merkuri pada ikan tembang ukuran kecil maupun sedang masih berada di bawah ambang batas maksimum yang diperbolehkan. Hal ini menunjukkan bahwa secara regulatif, ikan tembang dari lokasi penelitian masih memenuhi persyaratan mutu dan keamanan pangan dari aspek cemaran merkuri.

Hal serupa juga ditegaskan dalam Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) No. 9

Tahun 2022, yang mengatur batas maksimum cemaran logam berat, termasuk merkuri, dalam pangan segar dan olahan. Nilai merkuri yang terdeteksi pada ikan tembang masih berada dalam kisaran yang dapat diterima menurut ketentuan tersebut, sehingga konsumsi ikan tembang secara umum tidak menimbulkan risiko kesehatan, selama berada dalam pola konsumsi yang wajar.

Perbedaan kandungan merkuri antar ukuran ikan tembang disebabkan mekanisme bioakumulasi dan biomagnifikasi merkuri yang lebih kuat dibandingkan logam berat lain (Kantun dan Sutapa, 2023). Merkuri, khususnya dalam bentuk metilmerkuri, memiliki afinitas tinggi terhadap jaringan biotik dan cenderung terakumulasi melalui rantai makanan. Pada ikan tembang berukuran kecil, rendahnya kandungan merkuri mencerminkan paparan yang masih terbatas pada tingkat trofik rendah, dengan makanan utama berupa fitoplankton dan zooplankton mikro yang relatif memiliki kandungan merkuri lebih rendah.

Sebaliknya, meningkatnya kandungan merkuri pada ikan tembang berukuran sedang menunjukkan bahwa fase ukuran ini berpotensi mengalami paparan merkuri yang lebih intensif, seiring dengan pergeseran makanan ke arah zooplankton yang lebih besar dan organisme larva dengan posisi trofik lebih tinggi. Ikan tembang sebagai ikan pelagis kecil dengan pertumbuhan cepat dan umur relatif pendek memiliki kecenderungan mengalami growth dilution, yaitu pengenceran konsentrasi merkuri akibat pertumbuhan biomassa yang cepat pada fase dewasa.

Pengujian kandungan merkuri yang dilakukan sesuai dengan SNI 2354.6:2016 tentang metode uji merkuri pada produk perikanan menjamin bahwa hasil yang diperoleh memiliki tingkat akurasi dan presisi yang memadai. Penerapan metode standar ini menjamin bahwa perbedaan kandungan merkuri antar ukuran ikan mencerminkan kondisi biologis dan ekologis yang sesungguhnya, bukan akibat variasi prosedur analisis. Kandungan merkuri terendah terdapat pada ikan tembang berukuran kecil dan tertinggi pada ukuran sedang menunjukkan adanya pola akumulasi merkuri yang dipengaruhi oleh fase kehidupan dan strategi makan.

Penurunan kandungan merkuri (Hg) pada ikan tembang berukuran besar, dibandingkan dengan ukuran sedang, menunjukkan bahwa proses akumulasi merkuri pada ikan pelagis kecil tidak selalu meningkat secara linier seiring pertambahan ukuran tubuh. Meskipun merkuri dikenal memiliki sifat biomagnifikasi yang kuat dalam ekosistem perairan, hubungan antara ukuran tubuh dan kandungan merkuri sangat dipengaruhi oleh karakteristik biologis spesies serta dinamika pertumbuhan dan paparan lingkungan. Pada ikan tembang, yang memiliki umur relatif pendek dan laju pertumbuhan cepat, ukuran tubuh yang lebih besar tidak selalu mencerminkan akumulasi merkuri yang lebih tinggi (Trudel & Rasmussen, 2006; Lavoie et al., 2013).

Salah satu mekanisme yang menjelaskan fenomena ini adalah efek pengenceran pertumbuhan (*growth dilution*). Pada fase ukuran besar, pertambahan biomassa ikan berlangsung lebih cepat dibandingkan laju akumulasi merkuri, sehingga merkuri yang telah terakumulasi tersebar dalam massa jaringan yang lebih besar dan menghasilkan konsentrasi yang lebih rendah per satuan berat jaringan. Mekanisme ini telah banyak dilaporkan pada ikan pelagis kecil dan spesies dengan pertumbuhan cepat, di mana peningkatan ukuran tubuh justru diikuti oleh penurunan atau stabilisasi konsentrasi merkuri (Karimi et al., 2007; Trudel & Rasmussen, 2006).

Selain itu, penurunan kandungan merkuri pada ikan tembang berukuran besar juga berkaitan dengan pergeseran pola makan tanpa peningkatan tingkat trofik. Meskipun ikan berukuran besar mengonsumsi mangsa yang lebih besar, seperti copepoda besar, euphausiid kecil, dan chaetognatha kecil, organisme tersebut masih berada dalam rantai makanan planktonik. Biomagnifikasi merkuri paling kuat terjadi pada predator tingkat tinggi, konsumsi zooplankton besar tidak selalu menyebabkan peningkatan merkuri yang berarti pada ikan tembang dewasa (Karachle & Stergiou, 2019; Lavoie et al., 2013).

Faktor fisiologis juga berperan dalam menurunkan konsentrasi merkuri pada ikan tembang berukuran besar. Seiring bertambahnya ukuran dan kematangan fisiologis, ikan memiliki kemampuan yang lebih baik dalam eliminasi dan detoksifikasi merkuri, baik melalui ekskresi maupun pengikatan merkuri oleh protein tertentu dalam jaringan tubuh. Proses ini membatasi akumulasi merkuri dalam jangka panjang dan berkontribusi terhadap stabilisasi

atau penurunan konsentrasi merkuri pada fase dewasa (Wang & Wong, 2003; Rainbow, 2018).

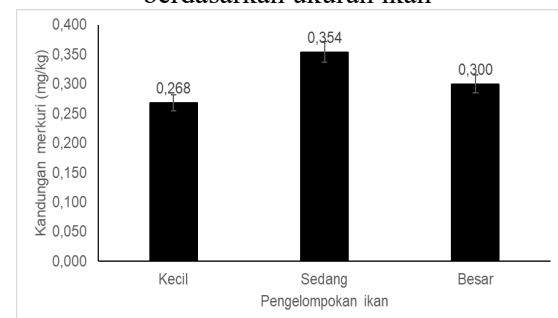
Pada sisi lain, ukuran besar pada ikan tembang tidak selalu identik dengan umur yang jauh lebih tua. Variasi laju pertumbuhan antarindividu memungkinkan sebagian ikan mencapai ukuran besar dalam waktu relatif singkat, sehingga durasi paparan merkuri tidak berbeda dibandingkan ikan berukuran sedang. Kondisi ini memperkuat efek pengenceran pertumbuhan dan menjelaskan mengapa kandungan merkuri tidak terus meningkat pada ukuran yang lebih besar (Trudel & Rasmussen, 2006).

Penurunan kandungan merkuri pada ikan tembang berukuran besar mencerminkan kombinasi pertumbuhan cepat, keterbatasan biomagnifikasi dalam rantai makanan planktonik, peningkatan kemampuan fisiologis untuk mengendalikan akumulasi merkuri, serta paparan lingkungan yang relatif homogen. Hal ini menegaskan bahwa pola akumulasi merkuri pada ikan pelagis kecil bersifat kompleks dan sangat dipengaruhi oleh strategi hidup spesies serta kondisi ekosistem perairan tempat ikan tersebut hidup (Burger & Gochfeld, 2005; Lavoie et al., 2013).

Hubungan ukuran ikan dengan kandungan logam berat

Kandungan logam berat merkuri (Hg) ikan tembang berdasarkan ukuran diperoleh hasil bahwa kandungan logam berat tidak selalu meningkat seiring meningkatnya ukuran ikan, seperti diperlihatkan pada Gambar 1.

Gambar 1:
Kandungan logam berat merkuri rata-rata berdasarkan ukuran ikan



Sumber: hasil analisis data penelitian

Kandungan merkuri (Hg) menunjukkan pola variasi yang jelas antar ukuran ikan tembang pada perairan Selat Makassar. Kandungan merkuri terendah ditemukan pada ikan berukuran kecil dengan rata-rata sebesar 0,2676 mg/kg, yang mencerminkan fase awal kehidupan ikan dengan durasi paparan yang masih terbatas serta pola makan yang didominasi oleh fitoplankton dan zooplankton mikro. Pada tingkat trofik ini, transfer merkuri ke jaringan ikan relatif rendah karena biomagnifikasi belum berlangsung secara intensif (Lavoie et al., 2013).

Peningkatan kandungan merkuri pada ikan tembang berukuran sedang mencapai rata-rata 0,3536 mg/kg mengindikasikan fase akumulasi maksimum yang terkait dengan pergeseran kebiasaan makan. Pada perairan Selat Makassar, ikan tembang ukuran sedang mulai memanfaatkan zooplankton berukuran lebih besar dan larva krustasea, yang berada pada tingkat trofik lebih tinggi dan berpotensi membawa beban merkuri yang lebih besar. Pada fase ini, laju asupan merkuri melalui makanan meningkat, sementara pertumbuhan biomassa belum cukup cepat untuk menghasilkan efek pengenceran pertumbuhan (growth dilution), sehingga konsentrasi merkuri dalam jaringan ikan mencapai nilai tertinggi relatif (Karimi et al., 2007; Trudel & Rasmussen, 2006).

Pada ikan tembang berukuran besar, kandungan merkuri mengalami penurunan dengan nilai rata-rata sebesar 0,2996 mg/kg. Penurunan ini mencerminkan berjalannya mekanisme growth dilution yang lebih efektif, di mana penambahan biomassa tubuh ikan pada perairan produktif Selat Makassar berlangsung lebih cepat dibandingkan laju akumulasi merkuri. Selain itu, ikan berukuran besar memiliki kemampuan fisiologis yang lebih baik dalam mengatur dan mengeliminasi merkuri, serta tetap berada dalam rantai makanan planktonik tanpa beralih ke predator tingkat tinggi. Kondisi ini membatasi terjadinya biomagnifikasi lanjutan, sehingga konsentrasi merkuri tidak terus meningkat pada ukuran yang lebih besar (Karachle & Stergiou, 2019; Rainbow, 2018).

Pola kandungan logam berat pada ikan tembang di perairan Selat Makassar menunjukkan bahwa dinamika oseanografi regional, karakteristik rantai makanan planktonik, serta strategi hidup ikan pelagis kecil berperan penting dalam mengendalikan akumulasi logam berat. Hg memperlihatkan respons yang lebih sensitif terhadap perubahan ukuran, kebiasaan makan, dan laju pertumbuhan ikan. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa evaluasi cemaran logam berat pada ikan tembang di Selat Makassar

perlu mempertimbangkan interaksi antara faktor lingkungan regional dan biologi spesies secara terpadu.

IV. KESIMPULAN

Ikan tembang di perairan Selat Makassar menunjukkan pergeseran kebiasaan makan seiring pertambahan ukuran tubuh, dari dominasi fitoplankton dan zooplankton mikro pada ukuran kecil, menuju zooplankton berukuran lebih besar dan larva krustasea pada ukuran sedang, serta zooplankton besar pada ukuran besar. Pergeseran ini tetap berada dalam rantai makanan planktonik dan mencerminkan perubahan ontogenetik tanpa peningkatan tingkat trofik yang tajam.

Kandungan logam berat merkuri (Hg) bervariasi antar ukuran, dengan nilai terendah pada ikan berukuran kecil, meningkat pada ukuran sedang, dan menurun kembali pada ukuran besar. Ukuran ikan tembang berkontribusi terhadap pola akumulasi Hg. Variasi kandungan Hg mencerminkan interaksi antara kebiasaan makan, durasi paparan, dan laju pertumbuhan ikan, ketika fase ukuran sedang merupakan tahap akumulasi maksimum, sedangkan pada ukuran besar terjadi pengenceran konsentrasi akibat pertumbuhan biomassa dan mekanisme fisiologis ikan.

V. REFERENSI

- Andini, N., Kantun, W. & Akmal, M.I. (2025). Feeding Pattern of the Purple-spotted Bigeye (*Priacanthus tayenus* Richardson, 1846) Based on Otolith Analysis in the Makassar Strait, Indonesia. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*. 27 (7): 167-176
- Asriyana. (2004). Kebiasaan makan ikan tembang (*Sardinella fimbriata*) di Teluk Kendari. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 4(2), 45–52.
- Badrudin, & Wudianto. (2004). Dinamika populasi ikan pelagis kecil di Laut Jawa dan sekitarnya. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 10(2), 45–58.
- Blaxter, J. H. S. (1986). ICES Marine Science Symposium, 191, 98–114.
- BSN. 2016. SNI 2354.6: 2016. Cara uji kimia Bagian 6: Penentuan kadar logam berat merkuri (Hg) pada produk perikanan.

- Badan Standarisasi Nasional. ICS 67.050. Jakarta.
- Burger, J., & Gochfeld, M. (2005). Heavy metals in commercial fish in New Jersey. *Environmental Research*, 99(3), 403–412.
- Dalal, S. G., & Goswami, S. C. (2001). *Indian Journal of Marine Sciences*, 30, 50–56.
- Darmono. (2020). *Logam Berat dalam Lingkungan dan Pengaruhnya terhadap Makhluk Hidup*. Jakarta: UI Press.
- Deafatmi, L. (2020). *Aspek Biologi Ikan Tembang (Sardinella fimbriata) di Perairan Indonesia*. Universitas Brawijaya, Malang.
- Dwiponggo, A. et al. (1986). *Biology and fisheries of small pelagic fish in Indonesia*.
- FAO. (2022). *The state of world fisheries and aquaculture 2022: Towards blue transformation*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fan, W., Jian, Z., Chu, Z., Dang, H., Wang, Y., Bassinot, F., Han, X., & Bian, Y. (2018). Variability of the Indonesian Throughflow in the Makassar Strait. *Scientific Reports*, 8(1), 5678
- Ikeda, T. (1990). *Bulletin of the Plankton Society of Japan*, 36, 1–20
- Kantun, W. & Norman, B. (2017). Komposisi jenis dan kebiasaan makan ikan yang tertangkap pada Fish Apartement dan Rumpon Dasar. *Seminar Nasional Perikanan XIV UGM*. 2: 39-44.
- Kantun, W., Cahyono, I. & Arsana, I.W.S. (2019). Biological Aspect Of Bullet Tuna *Auxis rochei* (Risso, 1810) in the Makassar Strait, West Sulawesi, Indonesia. *Croatian Journal of Fisheries*. 77 (3): 118-125
- Kantun, D. & Sutapa, W. (2023). Detecting bioaccumulation of heavy metal in yellowfin tuna (*Thunnus albacares* Bonnaterre, 1788) in Southwest Pacific Waters, Indonesia. *AIP Conference Proceedings*. 2588 (1). 020004
- Kantun, W., Moka, W.J.C & Rapi, N.L. (2024). Bioaccumulation of heavy metals in Bungo Fish (*Glossogobius giuris* Hamilton, 1822) in Lake Tempe, South Sulawesi, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1420 (1): 012048
- Kantun, W. & Latif, N. (2025). Food Habits and Stomach Content Analysis of Skip Jack Tuna (*Katsuwonus pelamis* Linnaeus 1758) Caught in Mamuju Waters, South Sulawesi, Indonesia. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*. 27 (5): 42-49
- Karachle, P. K., & Stergiou, K. I. (2019). Ontogenetic shifts in trophic level and diet composition of marine fishes. *Journal of Fish Biology*, 95(2), 353–370
- Karimi, R., Chen, C. Y., Pickhardt, P. C., Fisher, N. S., & Folt, C. L. (2007). Stoichiometric controls of mercury dilution by growth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(18), 7477–7482.
- Kendall, A. W., Ahlstrom, E. H., & Moser, H. G. (1984). Ontogeny and systematics of fishes.
- Irsandi, & Kantun, W. (2025). Variation in Growth Patterns and Condition Factors of Fringe Scale *Sardinella fimbriata* Based on the Moon Phase in Takalar Waters, Makassar Strait. *Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan*, 18(1), 289–295
- Lavoie, R. A., Jardine, T. D., Chumchal, M. M., Kidd, K. A., & Campbell, L. M. (2013). Biomagnification of mercury in aquatic food webs: A worldwide meta-analysis. *Environmental Science & Technology*, 47(23), 13385–13394.
- Llopiz, J. K., Cowen, R. K., Hauff, M. J., Ji, R., Munday, P. L., Muhling, B. A., & Peck, M. A. (2020). Early life history and fisheries oceanography: New questions in a changing world. *Oceanography*, 33(3), 26–41
- Lubis, M. Z., Fadhlullah, M., & Pranowo, W. S. (2025). Spatial and Temporal Variability of the Indonesian Throughflow and Its Implications for Marine Ecosystem Dynamics. *Indonesian Journal of Marine Science*, 30(1), 45–58.
- Mehouel, F., Bouayad, L., Hammoudi, A. H., Ayadi, O., & Regad, F. (2019). Evaluation of the heavy metals (mercury, lead, and cadmium) contamination of sardine (*Sardina pilchardus*) and swordfish (*Xiphias gladius*) fished in three Algerian coasts. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(11), 695
- Möller, H. (1984). *Marine Ecology Progress Series*, 21, 1–5.
- Natarajan, A.V., & Jhingran, A.G. (1961). Index of Preponderance, a Method of Grading the Food Elements in the

- Stomach of Fishes. Indian. J.Fish. 8(1): 54-59.
- Nikolioudakis, N., Isari, S., Pitta, P., Somarakis, S., & Koutsikopoulos, C. (2021). Feeding ecology and trophic flexibility of small pelagic fishes under variable environmental conditions. *Marine Ecology Progress Series*, 671, 1–16.
- Nontji, A. (2007). Laut nusantara (Ed. revisi). Jakarta: Djambatan.
- Turner, J. T. (1984). *Marine Ecology Progress Series*, 19, 65–77.
- Trudel, M., & Rasmussen, J. B. (2006). Bioenergetics and mercury dynamics in fish: A modelling perspective. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63(8), 1890–1902.
- Pauly, D., Zeller, D., & Palomares, M. L. D. (2020). Marine fisheries catches and the carrying capacity of the ocean. *Fish and Fisheries*, 21(3), 695–706.
- Peraturan Menteri Kelautan Dan Perikanan Republik Indonesia nomor 37/permen-kp/2019. Tentang pengendalian residu pada kegiatan pembudidayaan ikan konsumsi. 28p.
- Pertami, N. D. (2019). Food and feeding habit of Bali *Sardinella* (*Sardinella lemuru*) in Bali Strait waters. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 19(1), 67–74.
- Pet, J. S., van Densen, W. L. T., Machiels, M. A. M., Sukkel, M., Setyohadi, D., & Tumuljadi, A. (1997). Length-based analysis of population dynamics and stock identification in the sardine fisheries around East Java, Indonesia. *Fisheries Research*, 31(1), 17-35.
- Purwanto. (2024). Peran ikan pelagis kecil dalam rantai makanan laut Indonesia. *Jurnal Oseanografi Tropis*, 9(2), 101–115.
- Rainbow, P. S. (2018). Trace metals in the environment and living organisms: The British Isles as a case study. Cambridge: Cambridge University Press.
- Saputri, R., Kantun, W., & Irsandi. (2023). Variation in growth patterns and condition factors of Fringe scale *Sardinella* (*Sardinella fimbriata*) based on the moon phase in Takalar Waters, Makassar Strait. *Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan*, 18(1), 289–295.
- Smith, J. A., Mazumder, D., Suthers, I. M., & Taylor, M. D. (2021). To fit or not to fit: Evaluating stable isotope mixing models in fish trophic ecology. *Methods in Ecology and Evolution*, 12(6), 1070–1084.
- Suleman, S., & Yulianti, M. (2022). Morfometrik dan aspek biologi ikan tembang (*Sardinella fimbriata*) di perairan Kupang. *Jurnal Salamata*, 4(1), 56–64.
- Suwarso & Hariati, T. (2003). *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*.
- Toding, M. (2023). Dinamika populasi ikan tembang (*Sardinella gibbosa*) di perairan Barru, Selat Makassar. Universitas Hasanuddin
- Wandi, A., Kantun, w.& Awaluddin. (2021). Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Ikan Bungo (*Glossogobius Giuris*) Yang Ditangkap di Danau Tempe. *SIGANUS: Journal of Fisheries and Marine Science*. 3 (1): 184-187
- Wang, W. X., & Rainbow, P. S. (2010). Significance of metallothioneins in metal accumulation by marine animals. *Marine Ecology Progress Series*, 406, 1–17.
- Whitehead, P. J. P. (1985). *FAO Species Catalogue Vol. 7*.
- Vicente, J. A., Pombo-Ayora, L., & Berumen, M. L. (2025). Feeding habits of the Fringe-scale *Sardinella* (*Sardinella fimbriata*) in tropical Indo-Pacific waters. *Marine and Fisheries Journal*, 15(1), 45–54.