

EVALUASI TROFIK-LOGAM MERKURI (HG) DALAM EKOSISTEM SUNGAI TROPIS PERKOTAAN : STUDI BIOAKUMULASI PADA DAS TALLO, MAKASSAR

Iin Indrawati^{1*}, Nasruddin Syam², Hidayat³, Abd. Gafur⁴

Peminatan Kesehatan Lingkungan, Program Studi Kesehatan Masyarakat, Universitas Muslim Indonesia^{1,2,3,4}

*Corresponding Author : iinsyamnur077@gmail.com

ABSTRAK

Merkuri (Hg) merupakan logam berat toksik yang dapat terakumulasi di lingkungan perairan dan berdampak pada kesehatan melalui rantai makanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi merkuri dalam media lingkungan (air dan sedimen) serta biota seperti alga, ikan cere (*Gambusia affinis*), dan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di Daerah Aliran Sungai (DAS) Tallo, Kota Makassar. Penelitian ini bersifat observasional dengan pendekatan deskriptif. Populasi penelitian meliputi masyarakat dan lingkungan, dengan 30 responden dipilih melalui kuota sampling, serta 15 sampel lingkungan mewakili lima kompartemen di tiga lokasi: Kaluku Badoa, Parangloe, dan Kapasa. Analisis kadar merkuri dilakukan menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (AAS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa alga memiliki kadar merkuri tertinggi dan melebihi baku mutu. Ikan cere dan ikan nila menunjukkan nilai Bioaccumulation Factor (BAF) lebih dari 1 di sebagian besar lokasi, yang menandakan telah terjadi akumulasi merkuri dalam jaringan biota. Proses biomagnifikasi hanya terdeteksi di Kaluku Badoa pada tingkat trofik dari ikan cere ke ikan nila, sedangkan di Parangloe dan Kapasa tidak ditemukan indikasi biomagnifikasi. Simpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa akumulasi dan transfer merkuri dalam rantai makanan di DAS Tallo bersifat lokal, tidak merata, dan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan masing-masing lokasi.

Kata kunci : bioakumulasi, biomagnifikasi, das Tallo, ikan air tawar, merkuri (Hg)

ABSTRACT

*Mercury (Hg) is a toxic heavy metal that can accumulate in aquatic environments and impact health through the food chain. This study aims to determine the concentration of mercury in environmental media (water and sediment) as well as biota such as algae, mosquitofish (*Gambusia affinis*), and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the Tallo River Basin (DAS Tallo), Makassar City. This research is observational with a descriptive approach. The study population includes the community and the environment, with 30 respondents selected through quota sampling, and 15 environmental samples representing five compartments across three locations: Kaluku Badoa, Parangloe, and Kapasa. Mercury levels were analyzed using the Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) method. The results show that algae contained the highest mercury levels, exceeding quality standards. Mosquitofish and Nile tilapia demonstrated Bioaccumulation Factor (BAF) values greater than 1 in most locations, indicating that mercury accumulation had occurred in biotic tissues. Biomagnification was detected only in Kaluku Badoa at the trophic level from mosquitofish to Nile tilapia, while no biomagnification was observed in Parangloe and Kapasa. The study concludes that mercury accumulation and transfer within the food chain in the Tallo River Basin are localized, uneven, and influenced by the environmental conditions of each site.*

Keywords : bioaccumulation, biomagnification, das Tallo, freshwater fish, mercury (Hg)

PENDAHULUAN

Sungai yang memiliki kualitas lingkungan baik mampu mendukung keberlangsungan hidup berbagai biota air seperti ikan, tumbuhan, plankton, bentos, perifiton, krustasea, dan gastropoda. Kondisi air yang bersih memungkinkan organisme tersebut tumbuh dan berkembang tanpa gangguan dari pencemar seperti logam berat. Dengan demikian, sungai tetap

dapat menjalankan fungsi ekologisnya dan memberikan manfaat berkelanjutan bagi masyarakat di sekitarnya (Septriani dkk, 2023). Logam berat mencemari sungai dan menimbulkan risiko bagi manusia serta lingkungan. Sumber utamanya meliputi aktivitas pertambangan, limbah domestik, pertanian, dan industri, yang menyebabkan penumpukan zat berbahaya di air dan sedimen (Hama Aziz dkk, 2023). Sungai Tallo di Kota Makassar berperan penting sebagai jalur transportasi dan sumber irigasi bagi masyarakat serta industri. Namun, kurangnya pengelolaan limbah dari aktivitas sosial dan ekonomi menyebabkan pencemaran air dan sedimen oleh logam berat seperti merkuri (Tiwow dkk, 2022).

Merkuri merupakan logam berat beracun yang mudah larut dan berikatan dengan jaringan organisme akuatik. Keberadaannya di perairan berdampak signifikan karena bersifat stabil dalam sedimen dan terakumulasi dalam biota melalui biokonsentrasi, bioakumulasi, dan biomagnifikasi (Mariwy dkk, 2019). Biokonsentrasi adalah proses masuknya logam berat dari lingkungan perairan langsung ke jaringan organisme seperti alga, melalui permukaan tubuh. Proses ini menjadi jalur awal kontaminan masuk ke dalam rantai makanan. Setelah terserap, merkuri dapat terakumulasi secara bertahap dalam tubuh organisme akibat paparan berulang dari air, sedimen, atau makanan, yang dikenal sebagai bioakumulasi. Selanjutnya, lewat rantai trofik, konsentrasi merkuri dapat meningkat pada organisme pemangsa melalui biomagnifikasi, yakni akumulasi zat toksik yang semakin tinggi di tingkat trofik atas. Ketiga mekanisme ini saling berkaitan dan menjelaskan bagaimana merkuri menyebar dalam ekosistem perairan serta menimbulkan risiko bagi lingkungan dan kesehatan manusia (Haryanti & Tri Martuti, 2020).

Proses ini menjadi pintu awal masuknya kontaminan ke dalam rantai makanan. Setelah terakumulasi, merkuri dapat mengalami bioakumulasi yakni penumpukan zat pencemar secara bertahap dalam tubuh organisme akibat paparan yang terus-menerus dari air, sedimen, atau makanan. Selanjutnya, melalui proses makan-memakan dalam ekosistem, konsentrasi merkuri dapat meningkat pada tingkat trofik yang lebih tinggi melalui proses biomagnifikasi, yaitu peningkatan kadar zat beracun dalam jaringan organisme predator. Ketiga proses ini saling berhubungan dan menggambarkan bagaimana logam berat seperti merkuri dapat menyebar dan menguat dalam sistem perairan sehingga berpotensi membahayakan kesehatan ekosistem dan manusia yang mengonsumsinya (Haryanti & Tri Martuti, 2020). *World Health Organization* (WHO) menetapkan ambang aman merkuri bagi manusia sebesar 0,005 µg/g per minggu, serta 0,0015 µg/g per minggu untuk metil merkuri. WHO juga merekomendasikan batas maksimum kandungan merkuri dalam ikan sebesar 0,3 µg/g (Lensoni dkk, 2020). Masuknya merkuri ke tubuh manusia melalui air, sedimen, atau konsumsi biota yang terkontaminasi seperti ikan dan kerang, dapat menyebabkan risiko kesehatan yang serius (J. J. Kim dkk, 2019).

Masyarakat sering mengaitkan merkuri dengan kasus pencemaran metil merkuri seperti yang terjadi di Teluk Minamata Jepang pada 1956, dimana kandungan merkuri dalam ikan mencapai 9-24 ppm dan menyebabkan 111 orang meninggal (Ishar & Abbas, 2024). Di Indonesia, Teluk Buyat Sulawesi Utara tercemar merkuri sejak 1996 akibat pembuangan tailing PT. Newmont Minahasa Raya, berdampak pada kesehatan masyarakat yang mengonsumsi ikan. Penelitian di Pesisir Makassar juga menemukan konsentrasi merkuri tinggi pada sedimen, ikan, dan kerang di Kelurahan Cambayya dengan risiko konsumsi berbahaya (Maksum, 2019). Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 menyatakan bahwa batas merkuri dalam air adalah 0,001 mg/L, sedangkan Peraturan BPOM No. 5 Tahun 2018 menetapkan batas merkuri dalam ikan sebesar 0,5 mg/kg (Rahmadani & Alawiyah, 2022). Selain itu, Peraturan Gubernur Sulawesi Selatan No. 69 Tahun 2010 menetapkan batas aman merkuri di perairan sebesar 0,002 mg/L (Ramlia dkk, 2018).

Tingkat kandungan logam berat di perairan baik sungai maupun laut seringkali berkaitan langsung dengan kadar logam berat yang terdapat pada sedimen dan tubuh biota air. Sebagai contoh, alga dan ikan yang hidup di perairan sering terpapar polutan lebih banyak dibandingkan dengan organisme lainnya. Alga sebagai organisme fotosintetik (Alhafizoh, 2021). Selain itu,

pencemaran lingkungan telah menyebabkan beberapa jenis ikan mengandung kadar metil merkuri yang tinggi, yang berisiko bagi kesehatan manusia (J. J. Kim dkk, 2019). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Nordan dkk. (2020) menunjukkan bahwa paparan merkuri pada biota air di lokasi Penambangan Emas Tradisional di Kabupaten Lebong Provinsi Bengkulu menunjukkan variasi konsentrasi yang berbeda di tiap sampel. Pada ikan kolam, kadar merkuri tercatat sebesar 155,7 ppb, dan ikan sungai sebesar 81,1 ppb. Pada tumbuhan air, kandungan merkuri mencapai 50,9 ppb. Hasil ini menunjukkan bahwa konsentrasi ion merkuri pada biota air yang diuji melebihi ambang batas aman, sehingga biota tersebut tidak aman untuk dikonsumsi.

Selain itu, Penelitian yang dilakukan oleh Sriwulandari (2012) di Waduk Bitowa Makassar menunjukkan kandungan merkuri pada daging ikan mujair 0,0094 g/g, lele 0,0171 g/g, gabus 0,0661 g/g, dan nila 0,0187 g/g. Di sisi lain, di Sungai Tallo belum ada penelitian khusus mengenai biomagnifikasi merkuri pada rantai makanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi merkuri dalam media lingkungan (air dan sedimen) serta biota seperti alga, ikan cere (*Gambusia affinis*), dan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di Daerah Aliran Sungai (DAS) Tallo, Kota Makassar.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif observasional dengan pendekatan kuantitatif, yang dilaksanakan pada bulan Februari 2025 di Daerah Aliran Sungai (DAS) Tallo, Kota Makassar. Lokasi penelitian ditentukan secara purposive pada tiga titik pengamatan yang mewakili bagian hulu, tengah, dan hilir sungai, yaitu Kelurahan Kaluku Badoa, Parangloe, dan Kapasa. Sampel lingkungan terdiri atas air, sedimen, alga, ikan cere (*Gambusia affinis*), dan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang dikumpulkan dengan metode grab sampling. Total terdapat 15 sampel lingkungan yang mewakili lima jenis kompartemen pada tiga titik lokasi pengamatan. Selain itu, dilakukan wawancara terhadap 30 responden masyarakat yang tinggal di sekitar DAS Tallo untuk mengetahui karakteristik sosial ekonomi dan pola konsumsi ikan sebagai potensi paparan merkuri. Analisis laboratorium menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (AAS) untuk menentukan kadar merkuri (Hg) pada setiap sampel. Data dianalisis secara deskriptif, sedangkan tingkat akumulasi dan transfer merkuri dievaluasi melalui perhitungan Bioaccumulation Factor (BAF) dan Biomagnification Factor (BMF), kemudian hasil disajikan dalam bentuk tabel dan uraian naratif untuk menggambarkan distribusi serta pola bioakumulasi dan biomagnifikasi merkuri di DAS Tallo.

HASIL

Tabel 1. Distribusi Frekuensi Responden Berdasarkan Data Karakteristik

Karakteristik Responden	Frekuensi (n)	Persentase (%)
Usia		
20-30 Tahun	8	26,7
31-40 Tahun	8	26,7
41-50 Tahun	10	33,3
51-60 Tahun	4	13,3
Jenis Kelamin		
Laki-laki	18	60
Perempuan	12	40
Pendidikan		
SD	10	33,3
SMP	9	30
SMA	8	26,7
S1	3	10

Pekerjaan		
Buruh	4	13,3
IRT	3	10
Nelayan	8	26,7
Pedagang	5	16,7
Pegawai Swasta	3	10
PNS	2	6,7
Wiraswasta	2	6,7
Tidak Bekerja	3	10,0
Jumlah	120	100

Berdasarkan tabel 1, mayoritas responden berusia 41–50 tahun (33,3%) dan paling sedikit berusia 51–60 tahun (13,3%). Berdasarkan jenis kelamin, laki-laki lebih banyak (60%) dibandingkan perempuan (40%). Tingkat pendidikan terbanyak adalah SD (33,3%), sedangkan paling sedikit berpendidikan S1 (10%). Pekerjaan responden didominasi oleh nelayan (26,7%), sementara pekerjaan lainnya seperti buruh, pedagang, dan wiraswasta memiliki proporsi lebih kecil.

Tabel 2. Karakteristik Responden Berdasarkan Gangguan Kesehatan di Das Tallo Kota Makassar

Dampak Kesehatan Mengonsumsi Ikan Nila Yang Mengandung Merkuri (Hg)	Jumlah				Total	
	Ya n	% %	Tidak n	% %	n	%
Gangguan Pencernaan (Mual dan Muntah)	12	43,3	17	56,7	30	100
Sering Sakit Kepala	15	50	15	50	30	100
Gangguan Sistem Saraf	12	40	18	60	30	100
Gangguan Ginjal	7	23,3	23	76,7	30	100

Berdasarkan tabel 2, sebanyak 43,3% responden pernah mengalami gangguan pencernaan seperti mual dan muntah yang dialami selama mengonsumsi ikan nila yang mengandung merkuri (Hg), sementara 56,7% tidak mengalami keluhan tersebut. Selain itu, 50% responden mengaku pernah sakit kepala, 40% pernah mengalami gangguan sistem saraf, dan 23,3% mengalami gangguan ginjal selama mengonsumsi ikan tersebut. Meskipun mayoritas responden tidak mengalami gangguan ginjal (76,7%), data ini menunjukkan adanya dampak kesehatan yang pernah dialami oleh sebagian masyarakat akibat konsumsi ikan nila yang terkontaminasi merkuri.

Tabel 3. Data Parameter Fisik Kimia Perairan di DAS Tallo Kota Makassar

Titik	Parameter		Ket.
	Suhu (°C)	pH	
I (Kaluku Badoa)	31,0	6,36	MS
II (Parangloe)	31,2	6,39	MS
III (Kapasa)	31,4	7,36	MS

Berdasarkan tabel 3, menunjukkan rata-rata hasil dari penelitian diperoleh parameter suhu berkisar antara 31,0–31,4°C yang mana hasil pengukuran ini memenuhi syarat berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 yaitu $\leq 3^{\circ}\text{C}$ sedangkan hasil pengukuran *pH* berkisar antara 6,36–7,36 yang mana hasil pengukuran ini termasuk dalam kategori memenuhi syarat berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 yaitu 6,0–0,9^(d).

Berdasarkan tabel 4, menunjukkan bahwa sedimen di seluruh titik masih dalam batas aman (<1,0 mg/kg), namun titik Parangloe memiliki kadar tertinggi (0,103 mg/kg). Pada air, hanya Parangloe yang terdeteksi mengandung merkuri (0,001 mg/L), dan sudah mencapai ambang

batas maksimal, menunjukkan potensi pencemaran lokal. Alga di semua titik menunjukkan kadar merkuri sangat tinggi (1,16–10,06 ppm) dan tidak memenuhi syarat (<0,001 ppm), menandakan terjadinya biokonsentrasi yang signifikan. Kandungan merkuri pada ikan cere (0,061–0,117 mg/kg) dan ikan nila (0,024–0,101 mg/kg) masih dalam batas aman (<0,5 mg/kg), namun menunjukkan adanya bioakumulasi.

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Logam Berat Hg di DAS Tallo Kota Makassar

Jenis Sampel	Titik Lokasi	Hg	Satuan	Ket.
Sedimen	I (Kaluku Badoa)	0,042	mg/kg	MS
Sedimen	II (Parangloe)	0,103	mg/kg	MS
Sedimen	III (Kapasa)	0,037	mg/kg	MS
Air	I (Kaluku Badoa)	Tt	mg/L	Tt
Air	II (Parangloe)	0,001	mg/L	MS
Air	III (Kapasa)	Tt	mg/L	Tt
Alga	I (Kaluku Badoa)	1,16	ppm	TMS
Alga	II (Parangloe)	10,06	ppm	TMS
Alga	III (Kapasa)	6,10	ppm	TMS
Ikan Cere	I (Kaluku Badoa)	0,061	mg/kg	MS
Ikan Cere	II (Parangloe)	0,117	mg/kg	MS
Ikan Cere	III (Kapasa)	0,086	mg/kg	MS
Ikan Nila	I (Kaluku Badoa)	0,101	mg/kg	MS
Ikan Nila	II (Parangloe)	0,024	mg/kg	MS
Ikan Nila	III (Kapasa)	0,064	mg/kg	MS

MS : “Memenuhi Syarat”

TMS : “Tidak Memenuhi Syarat”

Tt : “Tidak Terdeteksi”

Faktor Bioakumulasi (BAF)

Faktor bioakumulasi (BAF) dihitung dengan membandingkan konsentrasi merkuri dalam organisme dengan lingkungan tempat akumulasi terjadi. Untuk alga digunakan konsentrasi Hg dalam air karena alga menyerap langsung dari air. Sedangkan untuk ikan cere dan ikan nila digunakan konsentrasi Hg dalam sedimen, karena ikan cenderung mengakumulasi logam berat melalui makanan dan interaksi dengan dasar perairan.

Tabel 5. Hasil BAF Logam Berat Merkuri (Hg)

Titik	Nilai BAF Hg					
	Alga	Kat.	Ikan Cere	Kat.	Ikan Nila	Kat.
I (Kaluku Badoa)	0	Nihil	1,45	TMS	2,40	TMS
II (Parangloe)	10,60	TMS	1,14	TMS	0,23	MS
III (Kapasa)	0	Nihil	2,32	TMS	1,73	TMS

MS : Memenuhi Syarat

TMS : Tidak Memenuhi Syarat

Berdasarkan tabel 5, hasil perhitungan BAF menunjukkan bahwa alga hanya mengakumulasi merkuri secara signifikan di Titik II dengan nilai sangat tinggi (10.060), sementara di Titik I dan II nilai BAF alga tidak terdeteksi. Ikan cere di ketiga lokasi menunjukkan akumulasi merkuri yang melebihi batas aman dengan nilai BAF di atas 1. Sedangkan ikan nila hanya mengalami akumulasi merkuri yang aman di Titik II (0,23), tetapi di Titik I dan II konsentrasi merkuri sudah melebihi batas aman.

Faktor Biomagnifikasi (BMF)

Faktor biomagnifikasi (BMF) dihitung berdasarkan dua tingkat trofik pada ekosistem perairan DAS Tallo Kota Makassar. Trofik 1 merupakan perpindahan merkuri dari alga sebagai produsen primer ke ikan cere sebagai produsen primer, sedangkan trofik 2 menggambarkan perpindahan dari ikan cere ke ikan nila sebagai konsumen sekunder.

Tabel 6. Hasil BMF Logam Berat Merkuri (Hg)

Titik	Nilai BMF Hg			
	Trofik 1	Kat.	Trofik 2	Kat.
I (Kaluku Badoa)	0,052	TMS	1,656	TMS
II (Parangloe)	0,0116	MS	0,2051	MS
III (Kappasa)	0,0141	MS	0,7441	MS

MS : "Memenuhi Syarat"

TMS : "Tidak Memenuhi Syarat"

Berdasarkan tabel 6, menunjukkan nilai biomagnifikasi (BMF) pada Trofik 1 (Alga → Ikan Cere) menunjukkan bahwa tidak terjadi biomagnifikasi pada ketiga lokasi penelitian. Nilai BMF tertinggi terdapat di Kaluku Badoa sebesar 0,0526, kemudian diikuti oleh Kapasa sebesar 0,0141, dan yang terendah di Parangloe sebesar 0,0116. Seluruh nilai tersebut berada jauh di bawah ambang batas biomagnifikasi ($BMF > 1$), sehingga termasuk dalam kategori Memenuhi Syarat (MS). Sementara itu, pada Trofik 2 (Ikan Cere → Ikan Nila) hanya Kaluku Badoa yang menunjukkan nilai $BMF > 1$, yaitu sebesar 1,656 yang termasuk dalam kategori Tidak Memenuhi Syarat (TMS) dan mengindikasikan terjadinya biomagnifikasi. Hal ini berarti terjadi peningkatan konsentrasi merkuri dari ikan cere ke ikan nila di lokasi tersebut. Di lokasi Parangloe (0,2051) dan Kapasa (0,7441), nilai BMF masih berada di bawah 1 dan tergolong Memenuhi Syarat (MS).

PEMBAHASAN

Parameter Fisik Kimia Perairan

Suhu dan *pH* merupakan parameter fisik-kimia penting yang memengaruhi kelarutan, reaktivitas, dan toksisitas logam berat dalam perairan. Suhu air berkaitan erat dengan laju reaksi kimia dan metabolisme organisme akuatik, sedangkan *pH* memengaruhi bentuk kimia logam termasuk kelarutan merkuri. Selain itu, distribusi dan akumulasi merkuri juga sangat tergantung pada interaksi antara air, sedimen, dan biota seperti alga dan ikan. Kandungan logam berat merkuri (Hg) dalam air, sedimen, alga, dan jaringan ikan digunakan sebagai indikator utama pencemaran lingkungan perairan karena senyawa Hg bersifat toksik, persisten, dan dapat mengalami biomagnifikasi dalam rantai makanan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa suhu perairan di ketiga lokasi berada pada kisaran 31,0–31,4°C, *pH* berkisar antara 6,36–7,36, dan kadar merkuri di air titik II sebesar 0,001 mg/L, sedangkan titik I dan III tidak terdeteksi. Kandungan Hg dalam sedimen berkisar antara 0,037–0,103 mg/kg, sementara kadar Hg pada alga cukup tinggi yaitu 1,16–10,06 ppm. Kandungan Hg pada ikan cere dan ikan nila berada pada rentang aman menurut standar yang berlaku, masing-masing 0,061–0,117 mg/kg dan 0,024–0,101 mg/kg.

Secara umum, suhu dan *pH* di seluruh lokasi pengambilan sampel tergolong memenuhi standar karena tidak berada pada ekstrem yang dapat memperparah toksisitas merkuri. Dalam kondisi *pH* netral hingga sedikit asam seperti ini, merkuri cenderung berada dalam bentuk larut namun belum sepenuhnya termetilasi menjadi metilmerkuri yang jauh lebih berbahaya. Kondisi suhu yang stabil juga tidak memicu peningkatan pelepasan merkuri dari sedimen secara signifikan. Oleh karena itu, suhu dan *pH* di ketiga titik dapat dikatakan tidak memperburuk resiko pencemaran merkuri secara langsung.

Konsentrasi Merkuri pada Media Lingkungan

Konsentrasi merkuri (Hg) pada media lingkungan di DAS Tallo memberikan gambaran mengenai tingkat kontaminasi awal yang menjadi sumber bioakumulasi dan biomagnifikasi dalam rantai makanan akuatik. Dalam penelitian ini, sampel diambil dari tiga lokasi berbeda, yaitu Kaluku Badoa, Parangloe, dan Kapasa. Lima jenis media diuji: sedimen, air, alga, ikan

cere (*Gambusia affinis*), dan ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Pada sedimen, konsentrasi merkuri berkisar antara 0,037 mg/kg hingga 0,103 mg/kg, dengan nilai tertinggi terdapat di lokasi Parangloe. Walaupun masih berada di bawah ambang batas baku mutu nasional untuk sedimen (<1 mg/kg), nilai ini menunjukkan bahwa DAS Tallo telah mengalami paparan kronis oleh logam berat, yang berisiko tinggi menjadi sumber kontaminasi bagi organisme dasar seperti alga dan invertebrata bentik.

Pada air, kandungan merkuri terdeteksi hanya di lokasi Parangloe dengan nilai 0,001 mg/L, mendekati batas maksimum yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 yaitu 0,001 mg/L untuk kualitas air kelas II, dan Peraturan Gubernur Sulawesi Selatan No. 69 Tahun 2010 sebesar 0,002 mg/L. Ini menunjukkan adanya pencemaran terlarut yang meskipun tipis, tetap berpotensi menyebabkan akumulasi logam berat pada biota air melalui kontak langsung. Konsentrasi merkuri tertinggi ditemukan pada alga, yaitu mencapai 10,06 ppm di lokasi Parangloe. Nilai ini sangat jauh melebihi ambang batas aman WHO untuk logam berat dalam tumbuhan air, yaitu $<0,001$ ppm. Hal ini menandakan bahwa alga sebagai organisme produsen telah menyerap merkuri dalam jumlah besar langsung dari air melalui proses biokonsentrasi. Mengingat posisi alga di dasar rantai makanan, keberadaan merkuri dalam kadar tinggi pada alga menjadi awal penting dari proses akumulasi zat pencemar ke organisme konsumen.

Pada ikan cere, kadar merkuri berada dalam rentang 0,061–0,117 mg/kg, sementara pada ikan nila berkisar antara 0,024–0,101 mg/kg. Meskipun nilai-nilai ini masih berada di bawah ambang batas konsumsi manusia menurut Peraturan BPOM No. 5 Tahun 2018 yaitu 0,5 mg/kg, keberadaan merkuri dalam tubuh ikan mencerminkan bahwa akumulasi zat berbahaya telah terjadi melalui rantai makanan. Ikan cere sebagai konsumen primer dan ikan nila sebagai konsumen sekunder menyerap merkuri baik secara langsung dari lingkungan maupun secara tidak langsung melalui makanan yang telah terkontaminasi. Kehadiran merkuri di seluruh media lingkungan mulai dari sedimen, air, hingga organisme hidup seperti alga dan ikan menunjukkan bahwa pencemaran merkuri di DAS Tallo tidak hanya terjadi secara parsial, tetapi telah menyebar secara sistemik dalam ekosistem perairan. Hal ini memperkuat indikasi bahwa lingkungan tersebut telah menjadi reservoir kontaminan yang aktif, dan menjadi sumber risiko ekologis serta kesehatan masyarakat apabila rantai makanan ini terus berlanjut.

Faktor Bioakumulasi (BAF)

Bioakumulasi adalah proses penyerapan dan penumpukan suatu zat oleh organisme melalui berbagai jalur paparan termasuk air, sedimen, dan sumber makanan dalam lingkungan alamnya. Proses ini terjadi ketika laju penyerapan suatu zat lebih cepat daripada laju pengeluarannya oleh organisme tersebut sehingga konsentrasi zat dalam tubuh organisme dapat meningkat dibandingkan dengan konsentrasinya di lingkungan sekitarnya (Gómez-Regalado *et al.*, 2023). Pada alga, nilai BAF tertinggi hanya ditemukan di titik II (Parangloe) sebesar 10.060 termasuk dalam kategori akumulasi tinggi. Di titik I dan III nilai BAF nihil. Ini memperkuat temuan pada BCF (o-w), bahwa alga di titik II menyerap merkuri dalam jumlah besar secara langsung dari air. Fenomena ini bisa dikaitkan dengan keberadaan limbah rumah tangga atau limbah industri dari hulu yang memperkaya air dengan merkuri.

Pada ikan cere, nilai BAF di seluruh lokasi tergolong rendah (<100) yaitu 1,45 pada titik I (Kaluku Badoa), 1,14 titik II (Parangloe), dan 2,32 titik III (Kapasa). Meskipun kecil, angka ini menegaskan bahwa ikan cere telah mengalami paparan logam berat yang bersumber terutama dari sedimen, karena spesies ini memiliki kebiasaan makan dan habitat yang dekat dengan dasar perairan. Nilai BAF > 1 mengindikasikan adanya penumpukan logam meskipun masih dalam tingkat yang relatif aman. Pada ikan nila, pola bioakumulasi juga tergolong rendah di seluruh titik, 2,40 titik I (Kaluku Badoa), 0,23 titik II (Parangloe), dan 1,73 titik III (Kapasa). Perbedaan nilai ini bisa dipengaruhi oleh variasi pola makan dan mobilitas ikan. Nilai yang

paling rendah ditemukan di titik II (Parangloe) meskipun alga memiliki BAF sangat tinggi, menunjukkan kemungkinan bahwa ikan nila di titik tersebut tidak mengandalkan alga sebagai sumber utama makanannya atau baru berpindah dari area lain.

Secara umum, meskipun seluruh nilai BAF pada ikan masih tergolong rendah keberadaan nilai di atas 1 pada ikan cere dan nila tetap menunjukkan bahwa bioakumulasi aktif sedang berlangsung di seluruh lokasi dan bisa meningkat jika paparan terus berlanjut Hasri Ainun & Gafur, (2021) Bioakumulasi diartikan terdapatnya pencemar dalam organisme, dalam konsentrasi jauh lebih besar dari pada konsentrasi didalam lingkungannya. Bioakumulasi sering menjadi ukuran pencemaran bagi suatu organisme dalam ekosistem tercemar karena logam tidak dapat dipecah dalam bentuk yang sederhana. Mengukur bioakumulasi logam berat sangat kompleks karena pengaruh interaksi logam dan spesies atau biota yang spesifik, serta pengaruh lingkungan.

Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Penelitian oleh Praicylia & Tamalawe, (2024) di perairan pantai Kecamatan Tabukan Selatan Tengah, Kabupaten Kepulauan Sangihe, yang menunjukkan nilai *Bioaccumulation Factor* (BAF) merkuri (Hg) pada ikan tergolong tinggi. Konsentrasi merkuri rata-rata dalam tubuh ikan mencapai 0,2597 mg/kg, sedangkan dalam air sebesar 0,0013 mg/L, menghasilkan nilai BAF sekitar 199. Ini menunjukkan bahwa ikan di wilayah tersebut mampu mengakumulasi merkuri dari air hingga 199 kali lipat. Nilai BAF yang tinggi ini menandakan potensi bahaya paparan logam berat melalui rantai makanan terutama jika konsumsi ikan yang terpapar berlangsung jangka panjang.

Faktor Biomagnifikasi (BMF)

Biomagnifikasi adalah proses dimana zat beracun tertentu masuk ke lingkungan seperti badan air dan kemudian naik ke rantai makanan dalam konsentrasi yang lebih tinggi. Fenomena ini terjadi karena organisme di puncak rantai makanan memakan banyak organisme yang lebih kecil yang masing-masing telah mengumpulkan sejumlah zat tersebut. Seiring waktu, hal ini mengakibatkan penumpukan zat tertentu dalam jaringan organisme yang lebih tinggi dalam rantai makanan (Radisson, 2023). Pada trofik 1 (alga → ikan cere) hasil menunjukkan tidak terjadi biomagnifikasi di seluruh titik karena nilai BMF < 1. Nilai 0,052 pada titik I (Kaluku Badoa), 0,0116 titik II (Parangloe), dan 0,0141 titik III (Kapasa) Ini menunjukkan bahwa meskipun alga terpapar merkuri, transfer logam ke ikan cere sebagai konsumen primer tidak efisien. Faktor-faktor seperti efisiensi pencernaan, preferensi makan, dan laju metabolisme dapat berperan dalam menghambat biomagnifikasi pada tingkat ini.

Namun, pada trofik 2 (ikan cere → ikan nila), terjadi biomagnifikasi nyata di titik I (Kaluku Badoa) dengan nilai BMF sebesar 1,656 yang mana sudah melebihi ambang batas. Ini menunjukkan bahwa ikan nila mengakumulasi merkuri dalam jumlah lebih tinggi daripada ikan cere, yang mungkin disebabkan oleh intensitas konsumsi terhadap ikan cere atau karena akumulasi terjadi dari jalur makanan tambahan lainnya yang terkontaminasi. Di titik II (Parangloe) dan III (Kapasa), nilai BMF masing-masing adalah 0,2051 dan 0,7441 yang mana masih di bawah ambang batas, sehingga tidak terjadi biomagnifikasi secara signifikan di kedua lokasi tersebut. Kondisi biomagnifikasi yang hanya terjadi di Kaluku Badoa menunjukkan kompleksitas dalam sistem trofik dan kemungkinan adanya faktor lokal seperti jenis mangsa dominan, struktur rantai makanan yang lebih sederhana, atau tingkat pencemaran laten di sedimen yang tidak terdeteksi dalam pengukuran saat ini.

Fenomena biomagnifikasi ini selaras dengan konsep yang dikemukakan oleh McMullen dkk (2024). Mereka menjelaskan bahwa biomagnifikasi adalah peningkatan konsentrasi zat kimia dalam organisme pada tingkat trofik yang lebih tinggi dalam rantai makanan. Studi mereka, yang menggunakan model ekosistem untuk mengevaluasi biomagnifikasi mikroplastik pada rantai makanan penguin Galápagos, menunjukkan bahwa eliminasi zat yang lambat meningkatkan risiko biomagnifikasi. Ini memberikan dasar teoritis mengapa peningkatan

konsentrasi merkuri diamati pada titik I, di mana ikan nila sebagai predator puncak mengakumulasi lebih banyak merkuri dari mangsanya.

Lebih lanjut, hasil ini juga konsisten dengan penelitian yang dilakukan oleh Kim dkk, (2023) di perairan tawar Korea Selatan diperoleh hasil bahwa nilai *Biomagnification Factor* (BMF') untuk merkuri berada pada kisaran 1,2 hingga 27,8. Nilai ini dihitung menggunakan pendekatan struktur jaring makanan berdasarkan isotop stabil asam amino ($\delta^{15}\text{N}_{\text{AA}}$) dan isotop karbon ($\delta^{13}\text{C}$), serta dianalisis melalui model MixSIAR untuk menentukan kontribusi diet dan posisi trofik organisme. Hasil tersebut menunjukkan bahwa terjadi proses biomagnifikasi merkuri yang signifikan dalam ekosistem perairan, dan pendekatan BMF' dianggap lebih representatif dibandingkan metode tradisional seperti *Trophic Magnification Factor* (TMF), terutama dalam konteks evaluasi risiko paparan merkuri pada konsumen tingkat trofik yang lebih tinggi.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses bioakumulasi merkuri terdeteksi pada alga, ikan cere, dan ikan nila di seluruh lokasi penelitian. Nilai BAF > 1 pada ikan nila di Kaluku Badoa dan Kapasa mengindikasikan akumulasi merkuri yang signifikan, meskipun kadar merkuri pada alga nihil. Hal ini mengarah pada kemungkinan paparan kronis dari sumber lain seperti detritus, pergerakan ikan, atau variasi pakan. Sebaliknya, di Parangloe meskipun alga mengandung merkuri tinggi, nilai BAF pada ikan rendah yang mungkin disebabkan oleh waktu paparan yang singkat, perbedaan pola makan, atau kemampuan detoksifikasi ikan. Biomagnifikasi hanya terdeteksi di Kaluku Badoa pada trofik kedua (ikan cere ke ikan nila), sementara di Parangloe dan Kapasa tidak terjadi biomagnifikasi. Temuan ini menunjukkan bahwa transfer merkuri dalam rantai makanan bersifat lokal dan kompleks. Oleh karena itu, diperlukan pemantauan rutin, penegakan hukum terhadap pencemaran, serta edukasi masyarakat terkait risiko konsumsi ikan tercemar. Penelitian lanjutan yang fokus pada bentuk spesifik seperti metilmerkuri (MeHg) dan cakupan biota yang lebih luas disarankan untuk memperdalam pemahaman terhadap dinamika biomagnifikasi di wilayah ini.

UCAPAN TERIMAKASIH

Saya menyampaikan terimakasih kepada Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Muslim Indonesia, serta Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sulawesi Selatan, Instalasi Laboratorium Tanah, Kabupaten Maros atas dukungan fasilitas dan bantuan analisis yang diberikan. Apresiasi juga saya sampaikan kepada seluruh pihak yang turut membantu dalam pengambilan sampel, pengolahan data, dan penyusunan naskah penelitian ini di DAS Tallo.

DAFTAR PUSTAKA

- Alhafizoh, F. (2021). Kandungan Logam Berat Pada Alga Hijau *Spirogyra* Sp. Di Perairan Way Ratai Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung.
- Hama Aziz, K. H., Mustafa, F. S., Omer, K. M., Hama, S., Hamarawf, R. F., & Rahman, K. O. (2023). *Heavy Metal Pollution In The Aquatic Environment: Efficient And Low-Cost Removal Approaches To Eliminate Their Toxicity: A Review*. *Rsc Advances*, 13(26), 17595–17610.
- Haryanti, E., & Kariada Tri Martuti, N. (2020). Analisis Cemar Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kadmium (Cd) Dalam Daging Ikan Kakap Merah (*Lutjanus Sp.*) Di Tpi Kluwut Brebes. *Life Science*, 9(2), 149–160.
- Hasri Ainun, N., & Gafur, A. (2021). Bioakumulasi Logam Berat Chromium (Cr) Dan

- Cadmium (Cd) Pada Sedimen Dan Kerang (*Anadara Sp.*) Di Muara Sungai Tallo Kota Makassar. *Window Of Public Health Journal*, 2(3), 960–973.
- Kim, D., Won, E.-J., Cho, H.-E., Lee, J., & Shin, K.-H. (2023). *New Insight Into Biomagnification Factor Of Mercury Based On Food Web Structure Using Stable Isotopes Of Amino Acids*. *Water Research*, 245, 120591.
- Kim, J. J., Kim, Y. S., & Kumar, V. (2019). *Heavy Metal Toxicity: An Update Of Chelating Therapeutic Strategies*. *Journal Of Trace Elements In Medicine And Biology*, 54(November 2018), 226–231.
- Lensoni, Nurdin, A., & Zaini, Z. I. (2020). Pengaruh Kandungan Merkuri (Hg) Pada Air Di Sungai Krueng Sabee Terhadap Peningkatan Kadar Merkuri Pada Ikan Dan Kerang Di Sungai Krueng Sabee Kabupaten Aceh Jaya. *Jurnal Aceh Medika*, 4(2), 102–112.
- Maksum, T. S. (2019). Faktor-Faktor Yang Berhubungan Dengan Konsentrasi Sianida Dalam Urin Masyarakat Kawasan Pesisir. *Journal Health & Science : Gorontalo Journal Health And Science Community*, 1(2), 60–70.
- Mariwy, A., Tuasamu, Y., & Warinah, W. (2019). Analisis Kadar Merkuri (Hg) Pada Badan Air Di Beberapa Titik Sungai Waiapu Kabupaten Buru. *Molluca Journal Of Chemistry Education (Mjoce)*, 9(2), 116–122.
- Nordan, H., Firdaus, M. L., & Elvia, R. (2020). Analisis Kadar Merkuri Pada Biota Air Dengan Nanopartikel Perak Secara Citra Digital Di Lokasi Penambangan Emas Kabupaten Lebong. *Alotrop*, 4(1), 8–15.
- Praicylia, V., & Tamalawe, L. (2024). Konsentrasi Merkuri Di Perairan Pantai Kecamatan Tabukan Selatan Tengah Dan Implikasinya Pada Risiko Kesehatan Skripsi Konsentrasi Merkuri Di Perairan Pantai Kecamatan Tabukan Selatan Tengah Dan Implikasinya Pada Risiko Kesehatan.
- Septriani, M., Adzidzah, H. Z. N., Apriyanti, H., Pauziah, S., & Sulistiyorini, D. (2023). Cemaran Merkuri (Hg) Dan Timbal (Pb) Pada Produk Perikanan: Studi Literatur. *Jurnal Masyarakat Sehat Indonesia*, 2(01), 7–16.
- Tiwow, V. A., Rampe, M. J., & Sulistiawaty, S. (2022). Suseptibilitas Magnetik Dan Konsentrasi Logam Berat Sedimen Sungai Tallo Di Makassar. *Jurnal Ilmiah Sains*, 22(1), 60.