



Window of Public Health
JOURNAL

Journal homepage : <http://jurnal.fkm.umi.ac.id/index.php/woph>



ARTIKEL RISET

URL artikel: <http://jurnal.fkm.umi.ac.id/index.php/woph/article/view/woph7412>

**BIOAKUMULASI DAN BIOMAGNIFIKASI LOGAM BERAT
MERKURI (Hg) DI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) TALLO KOTA MAKASSAR**

^KIin Indrawati¹, Nasruddin Syam², Hidayat³

^{1,2,3}Peminatan Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Muslim Indonesia,

Email Penulis Koresponden (^K): iinsyamnur077@gmail.com

iinsyamnur077@gmail.com¹, nasruddin.syam@umi.ac.id², risikokesehatanlingkungan@gmail.com³

ABSTRAK

Merkuri (Hg) merupakan logam berat toksik yang dapat terakumulasi di lingkungan perairan dan berpindah melalui rantai makanan sehingga berpotensi menimbulkan risiko terhadap kesehatan lingkungan dan manusia. Penelitian ini bertujuan menganalisis konsentrasi merkuri pada media lingkungan (air dan sedimen) serta biota yang meliputi alga, ikan cere (*Gambusia affinis*), dan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di Daerah Aliran Sungai (DAS) Tallo, Kota Makassar, serta mengkaji bioakumulasi dan biomagnifikasinya. Penelitian menggunakan desain ekologis dengan pendekatan deskriptif. Pengambilan sampel dilakukan pada tiga lokasi, yaitu Kaluku Badoa, Parangloe, dan Kapasa. Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi merkuri tertinggi pada sedimen (0,103 mg/kg) dan air (0,001 mg/L) ditemukan di Parangloe. Konsentrasi merkuri pada alga mencapai 10,06 ppm, sedangkan pada ikan cere dan ikan nila masing-masing berkisar 0,061–0,117 mg/kg dan 0,024–0,101 mg/kg. Konsentrasi merkuri pada kedua jenis ikan tersebut masih berada di bawah batas maksimum 0,5 mg/kg. Analisis *bioaccumulation factor* (BAF) menunjukkan nilai tertinggi pada alga di Parangloe (BAF = 10,060), sedangkan merkuri pada alga di dua lokasi lainnya tidak terdeteksi. Ikan cere menunjukkan BAF >1 pada seluruh lokasi pengamatan, sedangkan ikan nila menunjukkan BAF >1 di Kaluku Badoa dan Kapasa, tetapi tidak di Parangloe (BAF = 0,23). Nilai *biomagnification factor* (BMF) tertinggi ditemukan di Kaluku Badoa (BMF = 1,656), yang menunjukkan adanya potensi biomagnifikasi merkuri dalam rantai makanan. Temuan ini menunjukkan bahwa distribusi, bioakumulasi, dan biomagnifikasi merkuri di DAS Tallo bervariasi menurut lokasi dan komponen lingkungan. Pemantauan kualitas perairan dan biota secara berkala serta pengendalian sumber pencemar diperlukan untuk meminimalkan potensi paparan merkuri terhadap ekosistem dan manusia.

Kata kunci : bioakumulasi; biomagnifikasi; biota; DAS Tallo; merkuri.

PUBLISHED BY :

Pusat Kajian dan Pengelola Jurnal
Fakultas Kesehatan Masyarakat UMI

Address :

Jl. Urip Sumoharjo Km. 5 (Kampus II UMI)
Makassar, Sulawesi Selatan.

Email :

jurnal.woph@umi.ac.id

Article history :

Received : 13 Juni 2025

Received in revised form : 10 Agustus 2025

Accepted : 25 Agustus 2026

Available online : 30 Agustus 2026



licensed by [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

ABSTRACT

*Mercury (Hg) is a toxic heavy metal that can accumulate in aquatic environments and move through the food chain, potentially posing risks to environmental and human health. This study aimed to analyze mercury concentrations in environmental media (water and sediment) and biota—specifically algae, mosquitofish (*Gambusia affinis*), and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)—within the Tallo River Basin in Makassar City, as well as to examine its bioaccumulation and biomagnification. An ecological study design with a descriptive approach was employed. Sampling was conducted at three locations: Kaluku Badoa, Parangloe, and Kapasa. Analysis results revealed that the highest mercury concentrations in sediment (0.103 mg/kg) and water (0.001 mg/L) were found in Parangloe. Mercury concentrations in algae reached 10.06 ppm, while concentrations in mosquitofish and Nile tilapia ranged from 0.061–0.117 mg/kg and 0.024–0.101 mg/kg, respectively. Mercury levels in both fish species remained below the maximum permissible limit of 0.5 mg/kg. Bioaccumulation factor (BAF) analysis showed the highest value in algae at Parangloe (BAF = 10,060), whereas mercury was not detected in algae at the other two locations. Mosquitofish exhibited a BAF >1 at all observation sites, while Nile tilapia showed a BAF >1 at Kaluku Badoa and Kapasa but not at Parangloe (BAF = 0.23). The highest biomagnification factor (BMF) was observed at Kaluku Badoa (BMF = 1.656), indicating potential for mercury biomagnification within the food chain. These findings demonstrate that the distribution, bioaccumulation, and biomagnification of mercury in the Tallo River Basin vary according to location and environmental component. Periodic monitoring of water quality and biota, along with the control of pollution sources, is necessary to minimize the potential for mercury exposure to ecosystems and humans.*

Keywords : bioaccumulation; biomagnification; biota; Tallo watershed; mercury.

PENDAHULUAN

Sungai merupakan ekosistem perairan yang memiliki fungsi ekologis sekaligus mendukung berbagai aktivitas manusia. Kualitas perairan yang baik berperan penting dalam mempertahankan keberlangsungan berbagai biota, termasuk tumbuhan air, ikan, krustasea, gastropoda, bentos, plankton, dan perifiton. Namun, meningkatnya aktivitas antropogenik di sekitar daerah aliran sungai dapat menyebabkan masuknya berbagai bahan pencemar ke badan air dan mengganggu keseimbangan ekosistem perairan. Salah satu kelompok pencemar yang perlu mendapat perhatian adalah logam berat karena sifatnya yang toksik, persisten, dan dapat terakumulasi dalam lingkungan maupun organisme.¹

Kontaminasi logam berat di lingkungan perairan dapat berasal dari berbagai sumber, antara lain kegiatan industri, pertambangan, pertanian, transportasi, serta pembuangan limbah domestik. Logam berat yang masuk ke badan air dapat berada dalam kolom air, berikatan dengan partikel tersuspensi, maupun terendapkan dan terakumulasi dalam sedimen.² Kondisi tersebut menjadi perhatian khusus pada sungai yang berada di kawasan perkotaan dan berdekatan dengan berbagai aktivitas masyarakat dan industri, termasuk Sungai Tallo di Kota Makassar. Sungai Tallo memiliki fungsi penting bagi masyarakat di sekitarnya, tetapi berbagai aktivitas antropogenik di sepanjang daerah aliran sungai berpotensi memberikan tekanan terhadap kualitas lingkungannya.³

Salah satu logam berat yang memiliki tingkat toksisitas tinggi adalah merkuri (Hg). Di lingkungan perairan, merkuri dapat mengalami transformasi menjadi berbagai bentuk kimia, termasuk metilmerkuri yang memiliki toksisitas tinggi dan mudah terakumulasi dalam organisme. Merkuri yang berada dalam air maupun sedimen dapat masuk ke dalam tubuh organisme melalui permukaan tubuh, respirasi, maupun konsumsi makanan yang telah terkontaminasi. Selanjutnya, merkuri dapat mengalami bioakumulasi dalam jaringan organisme dan berpindah melalui rantai makanan.⁴ Bioakumulasi menggambarkan akumulasi suatu kontaminan dalam organisme dari lingkungan dan sumber paparan lainnya, sedangkan biomagnifikasi menggambarkan peningkatan konsentrasi kontaminan dari satu tingkat trofik ke tingkat

trofik yang lebih tinggi. Proses tersebut menyebabkan merkuri berpotensi memberikan dampak tidak hanya terhadap organisme perairan, tetapi juga terhadap manusia yang mengonsumsi biota terkontaminasi.⁵

Paparan merkuri dalam jangka panjang dapat memberikan berbagai dampak terhadap kesehatan manusia, terutama pada sistem saraf dan ginjal. Metilmerkuri juga menjadi perhatian khusus karena bersifat neurotoksik dan dapat memberikan dampak terhadap perkembangan sistem saraf, terutama pada janin dan anak.⁶ Dampak pencemaran merkuri melalui rantai makanan telah terdokumentasi dalam berbagai kejadian pencemaran lingkungan. Salah satu kasus yang paling dikenal adalah penyakit Minamata di Jepang, ketika paparan metilmerkuri melalui konsumsi ikan dan kerang yang terkontaminasi menyebabkan gangguan neurologis berat pada masyarakat.⁷ Kejadian tersebut menunjukkan pentingnya pengawasan merkuri dalam lingkungan perairan dan biota yang berpotensi dikonsumsi manusia.

Di Indonesia, pencemaran merkuri pada ekosistem perairan juga telah dilaporkan di berbagai wilayah, terutama pada daerah yang dipengaruhi aktivitas pertambangan dan kegiatan antropogenik lainnya. Penelitian di sekitar wilayah Teluk Buyat, Sulawesi Utara, misalnya, telah mengevaluasi keberadaan logam berat pada lingkungan perairan dan potensi paparannya terhadap masyarakat. Selain itu, penelitian di Kelurahan Cambayya, wilayah pesisir Kota Makassar, melaporkan keberadaan merkuri pada sedimen dan sejumlah biota perairan serta mengidentifikasi potensi risiko akibat konsumsi biota yang terkontaminasi.⁸ Temuan tersebut menunjukkan bahwa kontaminasi merkuri pada lingkungan perairan perlu mendapat perhatian, termasuk pada wilayah perkotaan seperti Kota Makassar.

Berbagai standar dan regulasi telah digunakan untuk mengendalikan paparan merkuri pada lingkungan dan pangan. Di Indonesia, persyaratan kualitas air menetapkan batas tertentu terhadap keberadaan merkuri berdasarkan peruntukan badan air, sedangkan regulasi keamanan pangan menetapkan batas maksimum cemaran merkuri pada ikan dan produk perikanan.⁹ Penilaian terhadap pencemaran merkuri, dengan demikian, tidak hanya perlu mempertimbangkan konsentrasinya pada air, tetapi juga distribusinya pada sedimen dan biota sebagai bagian dari sistem ekologi perairan.

Sedimen dapat berperan sebagai tempat penyimpanan sekaligus sumber sekunder merkuri di lingkungan perairan ketika kondisi fisik dan kimia lingkungan berubah. Sementara itu, organisme seperti alga dan ikan dapat digunakan untuk menggambarkan perpindahan merkuri dalam rantai makanan. Alga memiliki kemampuan menyerap logam dari lingkungan perairan melalui permukaan selnya dan menempati tingkat trofik yang relatif rendah. Ikan selanjutnya dapat terpapar melalui air maupun makanan, termasuk organisme pada tingkat trofik yang lebih rendah. Akumulasi merkuri pada organisme tersebut dapat digunakan untuk mengevaluasi proses bioakumulasi dan potensi perpindahan merkuri antartingkat trofik.¹⁰

Sejumlah penelitian di Indonesia telah menunjukkan keberadaan merkuri pada biota perairan. Penelitian di Kabupaten Lebong, Bengkulu, melaporkan kontaminasi merkuri pada ikan dan tumbuhan air di sekitar kawasan pertambangan emas tradisional. Penelitian lain di Waduk Bitowa, Makassar, juga mengidentifikasi keberadaan merkuri pada beberapa jenis ikan air tawar, termasuk mujair, lele, gabus, dan nila.¹¹ Meskipun demikian, informasi mengenai distribusi merkuri secara simultan pada air, sedimen, dan beberapa tingkat biota serta proses bioakumulasi dan biomagnifikasinya di DAS Tallo masih terbatas.

Kajian yang mengintegrasikan konsentrasi merkuri pada komponen abiotik dan biotik diperlukan untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai perpindahan merkuri dalam ekosistem DAS Tallo. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi merkuri (Hg) pada air, sedimen, alga, ikan cere (*Gambusia affinis*), dan ikan nila (*Oreochromis niloticus*), serta mengkaji bioakumulasi dan biomagnifikasi merkuri pada rantai makanan di DAS Tallo, Kota Makassar. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan bukti ilmiah untuk mendukung pemantauan kualitas lingkungan dan upaya pengendalian pencemaran merkuri di DAS Tallo.

METODE

Penelitian ini menggunakan desain studi ekologis dengan pendekatan deskriptif untuk menganalisis konsentrasi merkuri (Hg), bioakumulasi, dan biomagnifikasi pada komponen lingkungan dan biota perairan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Tallo, Kota Makassar. Penelitian dilaksanakan pada Februari 2025, meliputi observasi lapangan, wawancara menggunakan kuesioner, pengambilan sampel lingkungan dan biota, serta pemeriksaan konsentrasi merkuri di laboratorium.

Pengambilan sampel dilakukan pada tiga lokasi di sepanjang DAS Tallo, yaitu RW 1 Kelurahan Kaluku Badoa, RW 2 Kelurahan Parangloe, dan RW 3 Kelurahan Kappasa. Komponen lingkungan dan biota yang diperiksa meliputi air, sedimen, alga, ikan cere (*Gambusia affinis*), dan ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Pada setiap lokasi diambil satu sampel untuk masing-masing komponen sehingga diperoleh sebanyak 15 sampel. Pemeriksaan konsentrasi merkuri dilakukan di Instalasi Laboratorium Tanah, Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sulawesi Selatan, Kabupaten Maros.

Populasi penelitian terdiri atas populasi masyarakat dan komponen lingkungan. Populasi masyarakat adalah penduduk yang tinggal di sekitar DAS Tallo dan memanfaatkan sumber daya sungai dalam kehidupan sehari-hari. Sebanyak 30 responden dipilih menggunakan *quota sampling*. Kriteria responden meliputi telah tinggal di sekitar DAS Tallo sekurang-kurangnya lima tahun, berprofesi sebagai nelayan atau secara rutin menangkap ikan dari sungai, serta bersedia mengikuti wawancara. Wawancara menggunakan kuesioner dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai pemanfaatan sungai dan konsumsi ikan yang berasal dari DAS Tallo.

Data konsentrasi merkuri pada air, sedimen, alga, ikan cere, dan ikan nila dianalisis secara deskriptif dan disajikan berdasarkan lokasi pengambilan sampel. Selanjutnya, nilai *bioaccumulation factor* (BAF) dihitung untuk menggambarkan tingkat akumulasi merkuri pada biota dibandingkan dengan media lingkungan, sedangkan *biomagnification factor* (BMF) digunakan untuk menggambarkan perpindahan dan peningkatan konsentrasi merkuri antara organisme pada tingkat trofik yang berbeda. Nilai BAF dan BMF kemudian dibandingkan antarlokasi untuk menggambarkan pola bioakumulasi dan potensi biomagnifikasi merkuri pada rantai makanan di DAS Tallo.

HASIL

Parameter Fisika Kimia Perairan

Tabel 1. 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 1, hasil pengukuran suhu air pada tiga lokasi pengamatan di DAS Tallo berkisar antara 31,0–31,4°C, sedangkan nilai pH berkisar antara 6,36–7,36. Nilai pH tersebut masih berada dalam rentang baku mutu kualitas air berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, yaitu 6–9. Sementara itu, penilaian kesesuaian parameter suhu perlu mempertimbangkan deviasi terhadap suhu alamiah perairan sebagaimana ditetapkan dalam baku mutu yang digunakan. Secara umum, variasi suhu antar lokasi relatif kecil, sedangkan nilai pH menunjukkan kondisi perairan dari sedikit asam hingga mendekati netral.

Konsentrasi pada Media Lingkungan

Tabel 2. 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”				

Berdasarkan Tabel 2, konsentrasi merkuri (Hg) pada sedimen di tiga lokasi pengamatan berkisar hingga 0,103 mg/kg, dengan konsentrasi tertinggi ditemukan di Parangloe. Pada sampel air, merkuri hanya terdeteksi di Parangloe dengan konsentrasi sebesar 0,001 mg/L, sedangkan pada lokasi lainnya tidak terdeteksi. Konsentrasi tersebut berada pada nilai batas maksimum baku mutu yang digunakan dalam

penelitian. Konsentrasi merkuri pada alga berkisar antara 1,16–10,06 ppm, dengan nilai tertinggi ditemukan di Parangloe. Sementara itu, konsentrasi merkuri pada ikan cere (*Gambusia affinis*) berkisar antara 0,061–0,117 mg/kg dan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) antara 0,024–0,101 mg/kg. Konsentrasi merkuri pada kedua jenis ikan masih berada di bawah batas maksimum 0,5 mg/kg yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian.

Faktor Bioakumulasi (BAF)

Tabel 3. 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 3, hasil perhitungan *bioaccumulation factor* (BAF) menunjukkan adanya variasi kemampuan akumulasi merkuri pada masing-masing biota dan lokasi pengamatan. Alga menunjukkan nilai BAF tertinggi pada Titik II sebesar 10.060, sedangkan pada Titik I dan III nilai BAF tidak dapat ditentukan karena konsentrasi merkuri pada media acuannya tidak terdeteksi. Ikan cere (*Gambusia affinis*) menunjukkan nilai BAF >1 pada seluruh lokasi pengamatan, yang mengindikasikan adanya akumulasi merkuri dalam tubuh ikan dibandingkan dengan media lingkungan yang digunakan sebagai acuan. Sementara itu, ikan nila (*Oreochromis niloticus*) menunjukkan nilai BAF sebesar 0,23 pada Titik II, sedangkan pada Titik I dan III diperoleh nilai BAF >1. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tingkat akumulasi merkuri pada biota bervariasi menurut jenis organisme dan lokasi pengamatan.

Faktor Biomagnifikasi (BMF)

Tabel 4. Hasil BMF Logam Berat Merkuri (Hg)

Titik	Nilai BMF Logam Berat Hg	Kategori
I (Kaluku Badoa)	1,656	TMS
II (Parangloe)	0,2051	MS
III (Kapasa)	0,7441	MS

MS : “Memenuhi Syarat”

TMS : “Tidak Memenuhi Syarat”

Berdasarkan Tabel 4, nilai *biomagnification factor* (BMF) merkuri (Hg) menunjukkan variasi antar lokasi pengamatan. Pada Titik II dan III, nilai BMF <1, yang menunjukkan bahwa tidak terjadi peningkatan konsentrasi merkuri dari organisme mangsa ke organisme pada tingkat trofik yang lebih tinggi berdasarkan hubungan trofik yang dianalisis. Sebaliknya, pada Titik I diperoleh nilai BMF sebesar 1,656 (BMF >1), yang mengindikasikan adanya potensi biomagnifikasi merkuri pada rantai makanan di lokasi tersebut.

PEMBAHASAN

Parameter Fisik Kimia Perairan

Suhu dan pH merupakan parameter fisik-kimia perairan yang dapat memengaruhi mobilitas, kelarutan, spesiasi, dan bioavailabilitas logam berat, termasuk merkuri (Hg). Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu perairan pada ketiga lokasi pengamatan relatif seragam, yaitu berkisar antara 31,0–31,4°C, sedangkan nilai pH berkisar antara 6,36–7,36. Variasi suhu yang relatif kecil menunjukkan kondisi termal yang hampir serupa antar lokasi pengamatan. Namun, penilaian kesesuaian suhu terhadap baku mutu perlu mempertimbangkan deviasi suhu terhadap kondisi alamiah perairan sebagaimana ditetapkan dalam standar kualitas air yang digunakan.

Nilai pH yang diperoleh menunjukkan kondisi perairan dari sedikit asam hingga mendekati netral. Kondisi pH merupakan salah satu faktor yang penting dalam dinamika merkuri di lingkungan perairan karena perubahan pH dapat memengaruhi bentuk kimia, mobilitas, dan ketersediaan merkuri untuk diserap oleh organisme. Selain karakteristik fisik-kimia air, distribusi merkuri di lingkungan perairan juga dipengaruhi oleh interaksinya dengan sedimen dan biota. Sedimen dapat berperan sebagai tempat akumulasi merkuri sekaligus berpotensi menjadi sumber sekunder ketika terjadi perubahan kondisi lingkungan, sedangkan organisme perairan dapat mengakumulasi merkuri melalui paparan langsung dari lingkungan maupun melalui makanan.

Meskipun suhu dan pH pada ketiga lokasi tidak menunjukkan variasi yang besar, konsentrasi merkuri pada komponen lingkungan dan biota menunjukkan perbedaan antar lokasi. Temuan ini mengindikasikan bahwa distribusi merkuri di DAS Tallo tidak dapat dijelaskan hanya berdasarkan suhu dan pH, tetapi kemungkinan juga dipengaruhi oleh faktor lain, seperti karakteristik sedimen, bahan organik, kondisi hidrodinamika, serta sumber dan intensitas masukan merkuri pada masing-masing lokasi. Oleh karena itu, interpretasi hubungan antara kondisi fisik-kimia perairan dengan bioakumulasi dan biomagnifikasi merkuri perlu mempertimbangkan berbagai faktor lingkungan secara bersamaan.

Konsentrasi Merkuri pada Media Lingkungan

Konsentrasi merkuri (Hg) pada berbagai komponen lingkungan di DAS Tallo memberikan gambaran mengenai distribusi kontaminan antara media abiotik dan biotik serta potensi perpindahannya dalam ekosistem perairan. Dalam penelitian ini, merkuri dianalisis pada sedimen, air, alga, ikan cere (*Gambusia affinis*), dan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang diperoleh dari tiga lokasi pengamatan, yaitu Kaluku Badoa, Parangloe, dan Kapasa.

Konsentrasi merkuri pada sedimen berkisar antara 0,037–0,103 mg/kg, dengan konsentrasi tertinggi ditemukan di Parangloe. Keberadaan merkuri pada sedimen menunjukkan adanya deposisi Hg pada dasar perairan. Sedimen memiliki peran penting dalam dinamika logam berat karena dapat menjadi tempat akumulasi kontaminan yang berasal dari kolom air dan, pada kondisi lingkungan tertentu, berpotensi melepaskan kembali kontaminan ke perairan. Oleh karena itu, keberadaan merkuri pada sedimen perlu diperhatikan meskipun konsentrasinya masih berada di bawah nilai acuan yang digunakan dalam penelitian. Namun, temuan ini belum dapat digunakan untuk menyimpulkan adanya paparan kronis tanpa didukung

data pemantauan dalam periode waktu tertentu.

Pada sampel air, merkuri terdeteksi di Parangloe sebesar 0,001 mg/L, sedangkan pada dua lokasi lainnya tidak terdeteksi. Konsentrasi merkuri yang terukur pada Parangloe menunjukkan adanya Hg pada kolom air di lokasi tersebut pada saat pengambilan sampel. Keberadaan merkuri dalam air menjadi penting secara ekologis karena fraksi merkuri yang tersedia secara biologis dapat masuk ke dalam organisme melalui permukaan tubuh, respirasi, maupun jalur makanan. Meskipun demikian, hasil pengukuran pada satu periode pengambilan sampel belum cukup untuk menggambarkan pola pencemaran merkuri secara temporal sehingga diperlukan kehati-hatian dalam menginterpretasikan tingkat pencemaran perairan secara keseluruhan.

Konsentrasi merkuri pada alga berkisar antara 1,16–10,06 ppm, dengan konsentrasi tertinggi ditemukan di Parangloe. Tingginya konsentrasi merkuri pada alga dibandingkan dengan konsentrasi pada air menunjukkan kemampuan organisme tersebut dalam mengakumulasi merkuri dari lingkungan perairan. Sebagai organisme pada tingkat trofik rendah, alga dapat berperan sebagai salah satu jalur masuk merkuri ke dalam rantai makanan akuatik ketika dikonsumsi oleh organisme lain. Namun, interpretasi mengenai tingkat bioakumulasi atau biokonsentrasi perlu didasarkan pada perhitungan faktor akumulasi yang sesuai dan mempertimbangkan konsistensi satuan antara konsentrasi merkuri pada organisme dan media lingkungan.

Konsentrasi merkuri pada ikan cere (*Gambusia affinis*) berkisar antara 0,061–0,117 mg/kg, sedangkan pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*) berkisar antara 0,024–0,101 mg/kg. Berdasarkan nilai acuan keamanan pangan yang digunakan dalam penelitian, konsentrasi merkuri pada kedua jenis ikan masih berada di bawah batas maksimum 0,5 mg/kg. Meskipun demikian, terdeteksinya merkuri pada jaringan ikan menunjukkan bahwa Hg telah tersedia bagi komponen biotik ekosistem DAS Tallo. Akumulasi merkuri pada ikan dapat terjadi melalui berbagai jalur paparan, baik secara langsung dari lingkungan perairan maupun melalui konsumsi organisme atau bahan makanan yang telah mengandung merkuri. Tingkat akumulasi tersebut dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk spesies, ukuran dan umur ikan, pola makan, posisi trofik, bentuk kimia merkuri, serta karakteristik lingkungan perairan.

Secara keseluruhan, terdeteksinya merkuri pada sedimen dan berbagai jenis biota menunjukkan adanya distribusi Hg pada komponen abiotik dan biotik ekosistem DAS Tallo. Konsentrasi yang berbeda antar media dan lokasi, khususnya nilai yang relatif lebih tinggi pada beberapa komponen di Parangloe, mengindikasikan adanya variasi spasial dalam distribusi merkuri. Namun, berdasarkan desain penelitian dan jumlah sampel yang terbatas, temuan ini belum cukup untuk menyimpulkan adanya pencemaran merkuri yang bersifat kronis atau menyeluruh pada DAS Tallo. Hasil penelitian ini lebih tepat dipandang sebagai indikasi keberadaan dan perpindahan merkuri dalam ekosistem perairan yang selanjutnya perlu dikaji melalui pemantauan dengan cakupan lokasi, jumlah sampel, dan periode pengamatan yang lebih luas.

Faktor Bioakumulasi (BAF)

Bioakumulasi merupakan proses penyerapan dan akumulasi suatu kontaminan dalam organisme melalui berbagai jalur paparan, termasuk air dan makanan, ketika jumlah kontaminan yang masuk ke dalam

tubuh lebih besar daripada yang dieliminasi. Dalam penelitian ini, potensi bioakumulasi merkuri (Hg) dievaluasi menggunakan *bioaccumulation factor* (BAF) dengan membandingkan konsentrasi merkuri pada biota dengan konsentrasi pada media lingkungan yang digunakan sebagai acuan.

Hasil penelitian menunjukkan adanya variasi nilai BAF antarjenis biota dan lokasi pengamatan. Pada alga di Titik II (Parangloe), diperoleh nilai BAF sebesar 10.060. Nilai tersebut menunjukkan konsentrasi merkuri pada alga yang jauh lebih tinggi dibandingkan konsentrasi pada air yang digunakan sebagai media pembanding. Temuan ini mengindikasikan kemampuan alga dalam mengakumulasi merkuri yang tersedia di lingkungan perairan. Sebagai organisme yang memiliki kontak langsung dengan air, alga dapat mengakumulasi logam melalui permukaan sel dan selanjutnya berpotensi menjadi salah satu jalur perpindahan merkuri ke organisme lain dalam rantai makanan.

Pada Titik I (Kaluku Badoa) dan Titik III (Kapasa), konsentrasi merkuri pada air tidak terdeteksi sehingga nilai BAF alga tidak dapat dihitung secara langsung. Kondisi ini tidak dapat diinterpretasikan sebagai tidak terjadinya bioakumulasi, terutama karena merkuri tetap terdeteksi pada jaringan alga di kedua lokasi tersebut. Tidak terdeteksinya merkuri dalam sampel air dapat berkaitan dengan konsentrasi yang berada di bawah batas deteksi metode analisis pada saat pengambilan sampel. Selain itu, konsentrasi kontaminan pada organisme dapat merefleksikan paparan yang terjadi selama periode tertentu, sedangkan konsentrasi dalam air menggambarkan kondisi pada saat pengambilan sampel.

Ikan cere (*Gambusia affinis*) menunjukkan nilai BAF >1 pada lokasi yang dapat dihitung, yang mengindikasikan konsentrasi merkuri dalam jaringan ikan lebih tinggi dibandingkan media lingkungan yang dijadikan acuan. Akumulasi merkuri pada ikan dapat terjadi melalui paparan langsung dari lingkungan maupun melalui konsumsi makanan yang telah mengandung merkuri. Namun, nilai BAF >1 tidak secara langsung menunjukkan bahwa konsentrasi merkuri telah melampaui batas keamanan pangan. Penilaian keamanan konsumsi harus didasarkan pada konsentrasi merkuri dalam jaringan ikan dan dibandingkan dengan standar keamanan pangan yang relevan.

Pola yang berbeda ditemukan pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Pada Titik II, nilai BAF sebesar 0,23 menunjukkan bahwa berdasarkan metode perhitungan yang digunakan, tidak ditemukan faktor akumulasi >1 terhadap media pembanding. Sementara itu, nilai BAF pada Titik I dan III dilaporkan >1 . Perbedaan nilai BAF antar lokasi dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain karakteristik habitat, ketersediaan merkuri secara biologis, pola makan, ukuran dan umur ikan, lama paparan, serta karakteristik fisiologis organisme. Namun, faktor-faktor tersebut tidak diukur dalam penelitian ini sehingga tidak dapat ditentukan sebagai penyebab langsung dari perbedaan nilai BAF yang ditemukan.

Temuan bahwa merkuri terdeteksi pada ikan meskipun konsentrasinya pada air di beberapa lokasi tidak terdeteksi menunjukkan pentingnya mempertimbangkan berbagai jalur paparan dalam mengevaluasi bioakumulasi. Sedimen, detritus, dan organisme lain dalam jejaring makanan dapat berperan dalam perpindahan merkuri ke ikan. Meskipun demikian, penelitian ini tidak menganalisis seluruh komponen jejaring makanan sehingga jalur perpindahan merkuri tersebut belum dapat dipastikan.

Temuan penelitian ini sejalan dengan konsep bioakumulasi yang dikemukakan Saidon *et al.* (2023), bahwa akumulasi logam pada organisme akuatik dipengaruhi oleh sumber paparan dan berbagai

karakteristik lingkungan. Penelitian Praicylia dan Tamalawe (2024) di perairan Kecamatan Tabukan Selatan Tengah, Kabupaten Kepulauan Sangihe, juga melaporkan akumulasi merkuri pada ikan. Penelitian tersebut menemukan konsentrasi merkuri rata-rata sebesar 0,2597 mg/kg pada ikan dan 0,0013 mg/L pada air, dengan faktor akumulasi yang dilaporkan sekitar 199. Perbedaan besarnya faktor akumulasi antara penelitian tersebut dan penelitian di DAS Tallo dapat mencerminkan perbedaan tingkat kontaminasi lingkungan, karakteristik spesies, kondisi habitat, serta metode perhitungan yang digunakan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa merkuri telah terdeteksi dan terakumulasi pada beberapa jenis biota di DAS Tallo dengan pola yang bervariasi antar lokasi dan organisme. Namun, keterbatasan jumlah sampel dan pengambilan sampel yang dilakukan pada satu periode menyebabkan hasil penelitian belum dapat digunakan untuk menyimpulkan adanya paparan kronis maupun menggambarkan pola temporal bioakumulasi merkuri. Pemantauan dengan jumlah sampel yang lebih besar, pengambilan sampel secara berkala, serta analisis komponen jejaring makanan yang lebih luas diperlukan untuk memahami dinamika bioakumulasi merkuri di DAS Tallo secara lebih komprehensif.

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.

Hasil perhitungan Biomagnification Factor (BMF), yaitu rasio kadar merkuri pada ikan nila (predator) terhadap ikan cere (mangsa), menunjukkan bahwa hanya titik I (Kaluku Badoa) yang memiliki nilai $BMF > 1$, yaitu 1,656, yang dikategorikan tidak memenuhi syarat (TMS). Titik II (Parangloe) dan III (Kapasa) masing-masing memiliki nilai BMF 0,2051 dan 0,7441, yang masih memenuhi syarat (MS). Nilai $BMF > 1$ di titik I mengindikasikan terjadinya biomagnifikasi merkuri dari ikan cere ke ikan nila, menandakan perpindahan merkuri yang signifikan ke tingkat trofik yang lebih tinggi.

Sementara itu, nilai $BMF < 1$ pada titik II dan III tidak serta-merta menunjukkan kondisi lingkungan aman. Di titik II, meskipun alga mengandung merkuri tinggi, ikan cere kurang terkontaminasi dan ikan nila memiliki pola makan beragam sehingga transfer merkuri lebih tersebar. Di titik III meskipun sedimen tercemar merkuri biomagnifikasi masih relatif rendah, mungkin karena struktur rantai makanan yang berbeda dan waktu paparan yang belum lama. Biomagnifikasi merupakan proses jangka panjang yang dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk perilaku makan, ketersediaan mangsa, sifat kimia pencemar, dan kondisi fisiologis predator. Oleh karena itu, kondisi di titik I perlu menjadi perhatian serius, karena menunjukkan potensi pencemaran trofik yang dapat membahayakan kesehatan ekosistem dan manusia melalui konsumsi ikan yang terkontaminasi merkuri.

Fenomena biomagnifikasi ini selaras dengan konsep yang dikemukakan oleh McMullen *et al.* (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 *et al.*, (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 ($\delta^{15}\text{N_AA}$) 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 DAN SARAN

Merkuri (Hg) terdeteksi pada komponen lingkungan dan biota di DAS Tallo dengan konsentrasi yang bervariasi antar lokasi dan jenis sampel. Hasil analisis menunjukkan adanya indikasi bioakumulasi merkuri pada biota berdasarkan nilai *bioaccumulation factor* (BAF), meskipun pola akumulasinya berbeda antara alga, ikan cere (*Gambusia affinis*), dan ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Pada lokasi dengan konsentrasi merkuri dalam air yang tidak terdeteksi, nilai BAF tidak dapat diinterpretasikan secara langsung sehingga diperlukan kehati-hatian dalam menyimpulkan tingkat bioakumulasi.

Analisis *biomagnification factor* (BMF) menunjukkan nilai >1 pada Kaluku Badoa, yang mengindikasikan potensi biomagnifikasi merkuri pada hubungan trofik yang dianalisis. Sementara itu, nilai BMF <1 pada Parangloe dan Kapasa tidak menunjukkan peningkatan konsentrasi merkuri antartingkat trofik berdasarkan sampel yang dianalisis. Secara keseluruhan, temuan ini menunjukkan adanya distribusi dan akumulasi merkuri pada komponen abiotik dan biotik DAS Tallo, tetapi keterbatasan jumlah sampel dan periode pengambilan sampel perlu dipertimbangkan dalam menginterpretasikan hasil penelitian.

Pemantauan merkuri pada air, sedimen, dan biota secara berkala diperlukan untuk mengevaluasi perubahan konsentrasi dan potensi paparannya dari waktu ke waktu. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jumlah dan replikasi sampel yang lebih memadai, mencakup organisme pada beberapa tingkat trofik, serta menganalisis bentuk merkuri yang relevan secara toksikologis, terutama metilmerkuri (MeHg), untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai bioakumulasi dan biomagnifikasi merkuri di ekosistem DAS Tallo.

DAFTAR PUSTAKA

1. Arnot, J.A., & Gobas, F.A.P.C. *A physiological modeling approach for predicting chemical bioconcentration in fish. Environmental Toxicology and Chemistry*, 41(5), 1213–1225. (2022)
2. Septriani, M., Adzidzah, H. Z. N., Apriyanti, H., Pauziah, S. & Sulistiyorini, D. Cemaran Merkuri (Hg) Dan Timbal (Pb) Pada Produk Perikanan: Studi Literatur. *J. Masy. Sehat Indones.* **2**, 7–16 (2023).
3. Hama Aziz, K. H. *et al. Heavy metal pollution in the aquatic environment: efficient and low-cost removal approaches to eliminate their toxicity: a review. RSC Adv.* **13**, 17595–17610 (2023).
4. Tiwow, V. A., Rampe, M. J. & Sulistiawaty, S. Suseptibilitas Magnetik dan Konsentrasi Logam Berat Sedimen Sungai Tallo di Makassar. *J. Ilm. Sains* **22**, 60 (2022).
5. Mariwy, A., Tuasamu, Y. & Warinah, W. Analisis Kadar Merkuri (Hg) Pada Badan Air Di Beberapa Titik Sungai Waiapu Kabupaten Buru. *Molluca J. Chem. Educ.* **9**, 116–122 (2020).
6. Haryanti, E. & Kariada Tri Martuti, N. Analisis Cemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Dalam Daging Ikan Kakap Merah (*Lutjanus sp.*) Di TPI Kluwut Brebes. *Life Sci.* **9**, 149–160 (2020).
7. Lensoni, Nurdin, A. & Zaini, Z. I. 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. *J. Aceh Med.* **4**, 102–112 (2020).
8. Kim, J. J., Kim, Y. S. & Kumar, V. *Heavy metal toxicity: An update of chelating therapeutic strategies. J. Trace Elem. Med. Biol.* **54**, 226–231 (2020).
9. Ishar, N. D. & Abbas, H. H. Analisis Konsentrasi Merkuri Pada Rambut Terhadap Neurological Symptoms Masyarakat Kawasan Pasca Tambang. *Wind. Public Heal. J.* **5**, 460–469 (2024).
10. Rahmadani, R. & Alawiyah, T. Deteksi Logam Berat Merkuri (Hg) pada Air dan Ikan Pasca Pertambangan Emas di Sungai Barito Kabupaten Barito Utara. *J. Surya Med.* **8**, 76–80 (2022).
11. Alhafizoh, F. Kandungan Logam Berat Pada Alga Hijau *Spirogyra Sp.* Di Perairan Way Ratai Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung. (2021).
12. Nordan, H., Firdaus, M. L. & Elvia, R. Analisis Kadar Merkuri Pada Biota Air Dengan Nanopartikel Perak Secara Citra Digital Di Lokasi Penambangan Emas Kabupaten Lebong. *Alotrop* **4**, 8–15 (2020).
13. Komala, P. S. *et al. Comparison of bioconcentration factor of heavy metals between endemic fish and aquacultured fish in Maninjau Lake, West Sumatra, Indonesia. Biodiversitas* **23**, 4026–4032 (2022).
14. Praicylia, V. & Tamalawe, L. 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. (2024).
15. Kim, D., Won, E.-J., Cho, H.-E., Lee, J. & Shin, K.-H. *New insight into biomagnification factor of mercury based on food web structure using stable isotopes of amino acids. Water Res.* **245**, 120591 (2023).