

Analisis Kandungan Merkuri (HG) Pada Sedimen dan Ikan di Teluk Buyat

Eka Suci Rahmawati^{1*}, Sri Seprianto Maddusa², Angela Fitriani Clementine Kalesaran³

^{1,2,3}Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Sam Ratulangi

*Corresponding author: ekaasuci14@gmail.com

Abstrak: Teluk Buyat merupakan wilayah perairan pantai di Kabupaten Bolaang Mongondow Timur, Sulawesi Utara, yang berdekatan dengan aktivitas penambangan emas. Merkuri (Hg) merupakan salah satu logam berat yang dapat terdapat dalam sedimen dan biota laut melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kadar merkuri (Hg) dalam sedimen dan ikan di Teluk Buyat. Metode yang digunakan adalah kuantitatif deskriptif dengan survei lapangan dan analisis laboratorium menggunakan Inductively Coupled Plasma-Mass (ICP-MS). Sampel sedimen diambil dari 16 titik koordinat, sedangkan sampel ikan terdiri dari empat spesies yang umum dikonsumsi masyarakat: uhi (*Sphyrna barracuda*), jambrung (*Siganus javus*), kakatua (*Scarus forsteni*), dan geloma (*Johnius carouna*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa lima dari 16 titik sedimen melebihi ambang batas Median Rentang Efek (ERM) NOAA sebesar 0,71 µg/g, dengan tingkat tertinggi pada Titik 4 sebesar 10,0792 µg/g. Sementara itu, semua sampel ikan menunjukkan kadar merkuri di bawah ambang batas SNI 7387:2009 sebesar 0,5 µg/g, dengan tingkat tertinggi pada ikan geloma sebesar 0,2106 µg/g. Kesimpulannya, sebanyak 5 dari 16 titik sedimen di Teluk Buyat memiliki kadar merkuri melebihi ambang batas ERM NOAA, sedangkan kadar merkuri pada ikan uhi, jambrung, kakatua, dan geloma masih berada di bawah ambang batas SNI 7387:2009, sehingga memenuhi batas maksimum yang ditetapkan.

Kata kunci: merkuri (Hg), ekosistem pesisir, sedimen dan ikan, dampak penambangan emas, Teluk Buyat.

Abstract: Buyat Bay is a coastal water area in East Bolaang Mongondow Regency, North Sulawesi, located near gold mining activities. Mercury (Hg) is one of the heavy metals that can be present in sediments and marine biota through bioaccumulation and biomagnification processes. This study aims to analyze mercury (Hg) levels in sediments and fish in Buyat Bay. The method used was descriptive quantitative with field surveys and laboratory analysis using Inductively Coupled Plasma-Mass (ICP-MS). Sediment samples were taken from 16 coordinate points, while the fish samples consisted of four species commonly consumed by the public: uhi (*Sphyrna barracuda*), jambrung (*Siganus javus*), cockatoo (*Scarus forsteni*), and geloma (*Johnius carouna*). The results showed that five of the 16 sediment points exceeded the NOAA Effect Range Median (ERM) threshold of 0.71 µg/g, with the highest level at Point 4 at 10.0792 µg/g. Meanwhile, all fish samples showed mercury levels below the SNI 7387:2009 threshold of 0.5 µg/g, with the highest level in geloma fish at 0.2106 µg/g. In conclusion, five out of sixteen sediment sampling sites in Buyat Bay exhibited mercury concentrations exceeding the NOAA Effect Range Median (ERM) threshold, whereas mercury concentrations in uhi, jambrung, parrotfish (kakatua), and croaker (geloma) were below the maximum limit established by the Indonesian National Standard (SNI 7387:2009), indicating that they met the established maximum limit.

Keywords: mercury (Hg), coastal ecosystem, sediment and fish, gold mining impact, Buyat Bay.

Pendahuluan

Logam berat merupakan salah satu jenis pencemar yang paling berbahaya di lingkungan perairan karena sifatnya yang toksik apabila terakumulasi dalam konsentrasi tinggi. Keberadaannya tidak hanya mengancam kondisi biologis dan kimiawi perairan, tetapi juga dapat mengganggu keseimbangan ekosistem secara keseluruhan (Elfidasari, 2023). Berbagai aktivitas manusia, seperti kegiatan industri, pertambangan, transportasi laut, pembuangan limbah domestik, hingga budidaya perairan, berkontribusi besar terhadap meningkatnya kadar logam berat di air, sedimen, maupun organisme akuatik. Kondisi ini memungkinkan logam berat untuk berpindah dan menumpuk di sepanjang rantai makanan, sehingga tidak hanya mengancam keseimbangan ekosistem, tetapi juga berpotensi membahayakan kesehatan manusia (El-

Sharkawy, 2025). Sifat logam berat yang non-degradable atau tidak dapat terurai secara alami menjadikannya ancaman jangka panjang, baik bagi ekosistem maupun bagi manusia yang terpapar melalui konsumsi organisme perairan (Pinontoan dkk., 2025). Paparan logam berat dalam jangka panjang diketahui dapat mengganggu fungsi sistem saraf, menghambat tumbuh kembang anak, serta meningkatkan risiko berbagai penyakit kronis (Butarbutar dkk., 2024).

Salah satu logam berat yang paling berbahaya adalah merkuri. Merkuri merupakan senyawa toksik yang secara alami terdapat di permukaan bumi, namun dapat menjadi ancaman serius bagi lingkungan apabila terakumulasi secara berlebihan dalam ekosistem perairan, termasuk mengancam keberlanjutan sumber daya perikanan (Sari dkk., 2022). Dalam lingkungan perairan, konsentrasi merkuri umumnya lebih tinggi ditemukan pada sedimen dan organisme laut dibandingkan pada air itu sendiri. Sedimen berperan ganda, yakni sebagai tempat pengendapan sekaligus sumber penyebaran merkuri ke lingkungan sekitarnya. Di dalam sedimen, merkuri dapat diubah oleh aktivitas bakteri menjadi bentuk metilmerkuri yang jauh lebih toksik. Senyawa ini selanjutnya diserap oleh biota laut dan kadarnya semakin meningkat seiring perjalanannya melalui rantai makanan, dalam proses yang dikenal sebagai biomagnifikasi (Irsan dkk., 2025). Bagi manusia, sumber paparan merkuri yang paling utama berasal dari konsumsi ikan dan kerang yang telah terkontaminasi. Tubuh manusia tidak memiliki mekanisme untuk menguraikan merkuri dalam bentuk monometil, sehingga senyawa ini dapat bertahan dan terakumulasi di berbagai organ vital seperti hati, ginjal, otak, dan darah. Penumpukan merkuri dalam jangka panjang dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan yang serius, tergantung pada jenis senyawa merkuri yang terpapar (Pinontoan & Sumampouw, 2020). Berdasarkan standar nasional yang berlaku, SNI 7387:2009 menetapkan batas maksimum cemaran merkuri pada produk pangan hasil laut sebesar 0,5 µg/g. Konsumsi hasil laut yang terkontaminasi merkuri secara berulang dan dalam jangka panjang dapat memberikan dampak negatif yang serius bagi kesehatan manusia (WHO, 2024).

Teluk Buyat pernah mengalami pencemaran akibat aktivitas pertambangan yang dilakukan oleh PT Newmont Minahasa Raya sejak tahun 1996, dimana sekitar 2.000 ton tailing dibuang setiap hari ke dasar perairan teluk. Pembuangan limbah tersebut menimbulkan berbagai dampak lingkungan dan kesehatan, seperti kematian ikan di perairan Teluk Buyat serta munculnya gangguan kesehatan pada masyarakat sekitar. Aktivitas pertambangan kemudian dihentikan pada tahun 2004 setelah produksi emas berakhir, namun pemantauan kondisi lingkungan pascatambang tetap dilakukan hingga tahun 2009 (Kiki Lutifiah, 2011 dalam Rayhan & Pramesty, 2023).

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Rumampuk & Warouw (2015) menunjukkan bahwa kandungan merkuri di Teluk Buyat sudah terdeteksi pada beberapa biota laut, seperti ikan dan gastropoda. Meskipun kadarnya saat itu masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan, keberadaannya tetap perlu diwaspadai mengingat sifat merkuri yang dapat

terakumulasi secara bertahap dan berpindah melalui rantai makanan, sehingga berpotensi menimbulkan dampak ekologis yang signifikan dalam jangka panjang. Temuan ini juga didukung oleh penelitian terbaru tahun 2025 mengenai kualitas air Sungai Buyat yang bermuara langsung ke Teluk Buyat. Hasil penelitian menunjukkan adanya indikasi pencemaran logam berat, terutama merkuri (Hg), yang diduga terbawa dari wilayah daratan menuju perairan pesisir melalui aliran sungai. Masuknya bahan pencemar dari Sungai Buyat tersebut dapat memengaruhi kualitas perairan dan sedimen di Teluk Buyat, karena sedimen dasar perairan berperan sebagai tempat akumulasi logam berat dalam jangka panjang (Lagoari dkk., 2025).

Secara klinis, dampak merkuri terhadap kesehatan sangat beragam, mulai dari kerusakan fungsi ginjal, gangguan sistem saraf, hingga masalah pada kulit (WHO, 2024). Keracunan merkuri juga diketahui dapat menyebabkan gangguan neurologis yang serius, seperti tremor, gerakan motorik yang tidak terkendali, bahkan kelumpuhan (Masruddin & Mulasari, 2021).

Berdasarkan uraian tersebut, penting untuk dilakukan penelitian yang lebih mendalam mengenai kandungan merkuri pada sedimen dan biota laut di Teluk Buyat guna mengetahui kondisi terkini tingkat pencemaran serta pola akumulasinya di lingkungan perairan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai potensi risiko terhadap kesehatan masyarakat yang mengonsumsi hasil laut dari wilayah tersebut, sekaligus menjadi dasar ilmiah dalam upaya pengelolaan lingkungan dan perlindungan ekosistem perairan secara berkelanjutan.

Metode

Penelitian ini menerapkan pendekatan deskriptif kuantitatif melalui metode survei lapangan serta analisis laboratorium. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat kontaminasi logam berat di wilayah perairan Teluk Buyat, Kabupaten Bolaang Mongondow Timur, Sulawesi Utara, yaitu salah satu wilayah pesisir dengan potensi pencemaran logam berat akibat aktivitas pertambangan emas. Pengambilan sampel dilakukan selama 3 sampai 6 bulan, yaitu dari bulan Januari 2026 hingga Mei 2026, sedangkan analisis laboratorium konsentrasi merkuri (Hg) dilakukan di Labkesmas Makassar. Populasi penelitian mencakup sedimen dan ikan yang terdapat di perairan Teluk Buyat. Sampel penelitian terdiri dari sedimen yang diambil pada 16 titik lokasi di Teluk Buyat serta 4 spesies ikan yang umum ditangkap dan dikonsumsi oleh masyarakat setempat.

Penelitian ini diawali dengan survei pendahuluan guna menentukan lokasi pengambilan sampel yang representatif di kawasan Teluk Buyat. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data primer berupa sampel sedimen dan ikan yang diambil dari sejumlah titik yang mencerminkan berbagai karakteristik kondisi perairan. Data sekunder diperoleh melalui studi literatur terkait kondisi lingkungan Teluk Buyat serta ketentuan peraturan mengenai ambang batas logam berat di lingkungan dan organisme perairan. Hasil penelitian kemudian dianalisis dengan cara membandingkannya terhadap nilai ambang batas logam merkuri (Hg) sesuai Standar Nasional

Indonesia (SNI) untuk ikan, dan sesuai NOAA Sediment Quality Guidelines untuk sedimen.

Penentuan 16 titik pengambilan sampel dilakukan dengan metode purposive sampling, yaitu memilih lokasi secara sengaja berdasarkan pertimbangan ilmiah serta kedekatannya dengan sumber pencemar yang berpotensi menimbulkan kontaminasi, seperti muara sungai, area aktivitas perikanan masyarakat yang ditandai dengan adanya perahu tradisional, dan kawasan pertambangan di sepanjang pesisir Teluk Buyat. Sampel ikan dalam penelitian ini diperoleh dari perairan Teluk Buyat, tepatnya pada zona tangkap yang umum digunakan oleh nelayan setempat untuk menangkap ikan konsumsi sehari-hari. Pengambilan sampel dilakukan terhadap empat spesies ikan konsumsi, yaitu ikan uhi (*Sphyrna barracuda*), ikan jambung (*Siganus javus*), ikan geloma (*Johnius carouna*), dan ikan kakatua (*Scarus forsteni*), dengan jumlah 2–3 ekor untuk masing-masing spesies. Setiap individu ikan yang dijadikan sampel di timbang dengan berat rata-rata sekitar 100 gram per sampel.

Hasil dan Pembahasan

Keadaan Geografis

Teluk Buyat merupakan sebuah teluk berukuran relatif kecil yang terletak di kawasan pesisir tenggara Semenanjung Minahasa, tepatnya pada bagian timur Pulau Sulawesi. Secara administratif, kawasan teluk ini termasuk dalam wilayah Kecamatan Kotabunan, yang berada di bawah pemerintahan Kabupaten Bolaang Mongondow Timur, Provinsi Sulawesi Utara, Indonesia. Letaknya yang berada di bagian timur Pulau Sulawesi menjadikan teluk ini sebagai salah satu kawasan pesisir yang langsung terhubung dengan perairan laut yang lebih luas di wilayah timur Indonesia.

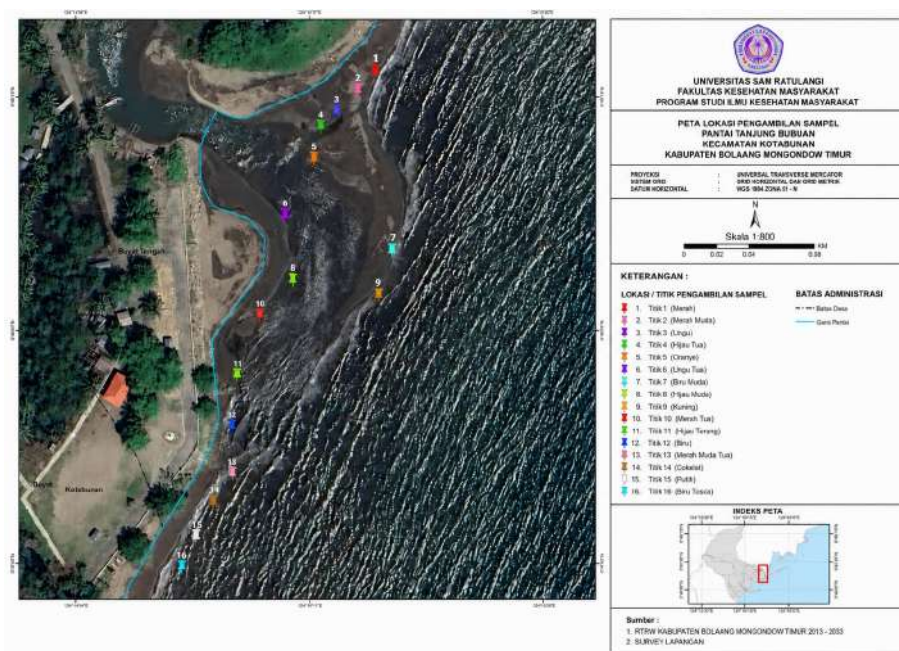
Secara geografis, Teluk Buyat menghadap langsung ke Laut Maluku, sehingga kondisi perairannya sangat dipengaruhi oleh dinamika oseanografi laut terbuka, seperti arus laut, gelombang, serta proses pasang surut yang terjadi di kawasan tersebut. Interaksi antara perairan teluk dengan laut lepas ini turut memengaruhi karakteristik fisik dan kimia perairan, termasuk sirkulasi air, distribusi sedimen, serta penyebaran berbagai unsur yang terbawa oleh arus laut. Berdasarkan letak koordinat geografisnya, Teluk Buyat berada pada kisaran 0°50' hingga 0°52' Lintang Utara dan 124°40' hingga 124°45' Bujur Timur, yang menandakan bahwa wilayah ini berada di daerah tropis yang memiliki karakteristik iklim laut dengan suhu relatif hangat sepanjang tahun.

Di sekitar kawasan teluk terdapat beberapa desa pesisir yang menjadi bagian dari wilayah Kecamatan Kotabunan, di antaranya Desa Buyat dan Desa Buyat Pante, serta beberapa desa lainnya yang tersebar di sepanjang garis pantai. Keberadaan desa-desa tersebut menunjukkan bahwa Teluk Buyat memiliki peran penting dalam menunjang kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat setempat. Sebagian besar penduduk yang tinggal di wilayah pesisir ini

menggantungkan mata pencahariannya pada sektor sumber daya alam, terutama sebagai nelayan yang memanfaatkan potensi perikanan laut, masyarakat yang melakukan aktivitas pertambangan emas skala kecil PESK, serta sebagai petani yang mengelola lahan pertanian di daerah daratan sekitar teluk. Aktivitas ekonomi tersebut menjadikan kawasan Teluk Buyat sebagai salah satu wilayah pesisir yang memiliki keterkaitan erat antara kondisi lingkungan laut dengan kehidupan masyarakat lokal.

Hasil

Hasil pemeriksaan kadar merkuri pada sedimen di Teluk Buyat



Gambar 1. Titik Pengambilan Sampel Sedimen

Tabel 1. Kadar Sedimen Pada Teluk Buyat

Titik Pengambilan Sampel	Kadar Hg ($\mu\text{g/g}$)	NOAA Sediment Quality ($\mu\text{g/g}$)	Hasil
Titik 1	<0,00003	0,71	MS
Titik 2	3,2573	0,71	TMS
Titik 3	0,7634	0,71	TMS
Titik 4	10,0792	0,71	TMS
Titik 5	0,6633	0,71	MS
Titik 6	0,4525	0,71	MS
Titik 7	0,5568	0,71	MS
Titik 8	<0,00003	0,71	MS
Titik 9	<0,00003	0,71	MS
Titik 10	0,0228	0,71	MS
Titik 11	<0,00003	0,71	MS
Titik 12	<0,00003	0,71	MS
Titik 13	<0,00003	0,71	MS
Titik 14	1,3272	0,71	TMS
Titik 15	1,8974	0,71	TMS
Titik 16	0,1415	0,71	MS

Berdasarkan hasil analisis kandungan merkuri (Hg) pada sedimen di perairan Teluk Buyat, diketahui bahwa logam berat Hg terdeteksi pada seluruh titik pengambilan sampel yang berjumlah 16 titik. Konsentrasi Hg pada Titik 1 sebesar $<0,00003 \mu\text{g/g}$, Titik 2 sebesar $3,2573 \mu\text{g/g}$, Titik 3 sebesar $0,7634 \mu\text{g/g}$, Titik 4 sebesar $10,0792 \mu\text{g/g}$, Titik 5 sebesar $0,6633 \mu\text{g/g}$, Titik 6 sebesar $0,4525 \mu\text{g/g}$, Titik 7 sebesar $0,5568 \mu\text{g/g}$, Titik 8 sebesar $<0,00003 \mu\text{g/g}$, Titik 9 sebesar $<0,00003 \mu\text{g/g}$, Titik 10 sebesar $0,0228 \mu\text{g/g}$, Titik 11 sebesar $<0,00003 \mu\text{g/g}$, Titik 12 sebesar $<0,00003 \mu\text{g/g}$, Titik 13 sebesar $<0,00003 \mu\text{g/g}$, Titik 14 sebesar $1,3272 \mu\text{g/g}$, Titik 15 sebesar $1,8974 \mu\text{g/g}$, dan Titik 16 sebesar $0,1415 \mu\text{g/g}$.

Jika dibandingkan dengan standar NOAA Sediment Quality Guidelines (1995) yaitu nilai Effect Range Median (ERM) sebesar $0,71 \mu\text{g/g}$, maka terdapat beberapa titik yang telah melebihi ambang batas tersebut, yaitu Titik 2 sebesar $3,2573 \mu\text{g/g}$, Titik 3 sebesar $0,7634 \mu\text{g/g}$, Titik 4 sebesar $10,0792 \mu\text{g/g}$, Titik 14 sebesar $1,3272 \mu\text{g/g}$, dan Titik 15 sebesar $1,8974 \mu\text{g/g}$. Kondisi ini menunjukkan bahwa sedimen pada lokasi tersebut berpotensi memberikan dampak ekologis terhadap organisme benthik maupun biota perairan lainnya, karena logam berat yang terakumulasi di sedimen dapat kembali terlepas ke kolom air akibat perubahan kondisi lingkungan seperti arus, gelombang, perubahan pH, maupun aktivitas bioturbasi organisme dasar.

Titik 4 menjadi lokasi dengan tingkat pencemaran paling tinggi karena nilainya jauh melampaui ambang batas NOAA. Konsentrasi sebesar $10,0792 \mu\text{g/g}$ menunjukkan adanya indikasi akumulasi Hg yang sangat signifikan. Tingginya kandungan merkuri pada titik tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh aktivitas pertambangan emas, aliran limbah dari daratan melalui sungai, serta proses sedimentasi di kawasan perairan yang relatif tenang sehingga partikel-partikel halus yang membawa logam berat lebih mudah mengendap.

Tabel 2. Hasil pemeriksaan kadar merkuri pada ikan di Teluk Buyat

Jenis Ikan	Gambar Ikan	Kadar Hg ($\mu\text{g/g}$)	Ambang Batas ($\mu\text{g/g}$)	Hasil
Ikan Uhi (<i>Sphyraena barracuda</i>)		$<0,00003$	0,5	MS
Ikan Jambrung (<i>Siganus javus</i>)		0,0529	0,5	MS

Ikan Kakatua (<i>Scarus forsteni</i>)		<0,00003	0,5	MS
Ikan Geloma (<i>Johnius carouna</i>)		0,2106	0,5	MS

Berdasarkan hasil pemeriksaan kadar merkuri (Hg) pada empat jenis ikan yang biasa dikonsumsi masyarakat di Teluk Buyat, diketahui bahwa seluruh sampel ikan masih berada di bawah ambang batas SNI 7387:2009 sebesar 0,5 µg/g sehingga seluruhnya dinyatakan Memenuhi Syarat (MS). Hal ini menunjukkan bahwa secara umum kandungan merkuri pada ikan yang dianalisis masih memenuhi batas maksimum yang ditetapkan bagi masyarakat.

Kadar Hg tertinggi ditemukan pada ikan geloma (*Johnius carouna*) sebesar 0,2106 µg/g, diikuti ikan jambrung (*Siganus javus*) sebesar 0,0529 µg/g. Sementara itu, ikan uhi (*Sphyræna barracuda*) dan ikan kakatua (*Scarus forsteni*) menunjukkan kadar Hg di bawah batas deteksi alat (<0,00003 µg/g). Perbedaan kandungan merkuri antar spesies ikan dapat dipengaruhi oleh habitat, pola makan, umur, ukuran tubuh, serta posisi ikan dalam rantai makanan. Ikan yang hidup dekat dasar perairan atau sering berinteraksi dengan sedimen cenderung memiliki peluang lebih besar untuk terpapar logam berat dibandingkan ikan yang hidup di kolom perairan atas.

Pembahasan

Logam Berat Pada Sedimen di Teluk Buyat

Berdasarkan hasil analisis laboratorium terhadap 16 titik pengambilan sampel sedimen di Teluk Buyat, merkuri (Hg) berhasil terdeteksi di seluruh titik dengan konsentrasi yang bervariasi cukup besar, mulai dari <0,00003 µg/g hingga 10,0792 µg/g. Sebagai acuan penilaian, digunakan standar NOAA Sediment Quality Guidelines dengan nilai Effect Range Median (ERM) sebesar 0,71 µg/g. Di atas nilai ERM ini, merkuri dianggap berpotensi menimbulkan dampak ekologis bagi organisme yang hidup di atau di dekat sedimen. Dari seluruh titik yang diperiksa, lima titik dinyatakan Tidak Memenuhi Syarat (TMS) karena kadar Hg-nya melampaui ambang batas tersebut, yakni Titik 2 (3,2573 µg/g), Titik 3 (0,7634 µg/g), Titik 4 (10,0792 µg/g), Titik 14 (1,3272 µg/g), dan Titik 15 (1,8974 µg/g). Variasi konsentrasi yang sangat mencolok ini menunjukkan bahwa sebaran merkuri di sedimen Teluk Buyat bersifat tidak merata, dan pencemaran cenderung terkonsentrasi di titik-titik tertentu.

Perbedaan kadar Hg yang signifikan antar titik sampling ini tidak terjadi begitu saja, melainkan dipengaruhi oleh sejumlah faktor lingkungan yang saling berinteraksi. Faktor yang berperan

penting adalah pola arus perairan, yang menentukan ke mana partikel pembawa merkuri terdistribusi setelah lepas ke kolom air. Arus yang lebih lemah di suatu zona menyebabkan partikel sedimen berukuran halus cenderung mengendap dan terakumulasi di dasar perairan, sementara arus yang lebih kuat di zona lain justru mendispersikan partikel sehingga konsentrasinya lebih rendah. Hal ini didukung oleh temuan Pawitra, Indrayanti, Yusuf & Zainuri (2022) bahwa kecepatan arus yang kecil cenderung mengendapkan sedimen berukuran halus, yang memiliki kapasitas adsorpsi logam berat lebih besar. Prinsip hidrodinamika ini juga konsisten dengan kajian geokimia sedimen permukaan di Estuari Baturusa, Bangka, yang menunjukkan bahwa stasiun dengan dominasi fraksi pasir berkaitan dengan kecepatan arus yang relatif kuat, sementara fraksi halus (lumpur dan liat) cenderung terakumulasi pada zona yang arusnya lebih lemah (Nugraha dkk., 2023).

Keterkaitan antara tekstur sedimen dan kemampuan adsorpsi merkuri ini didukung oleh bukti ilmiah yang cukup kuat. Sedimen dengan fraksi lumpur (silt) yang lebih tinggi terbukti memiliki kapasitas adsorpsi logam berat yang lebih besar. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Alkautsar, Suryono, dan Pratikto (2022) di Perairan Morodemak, Kabupaten Demak, yang menemukan korelasi positif yang signifikan antara persentase fraksi silt dan kandungan bahan organik dalam sedimen. Hal serupa juga ditunjukkan pada penelitian mengenai kandungan merkuri pada sedimen di Desa Batuboy, Pulau Buru, yang melaporkan bahwa stasiun dengan persentase lumpur lebih besar memiliki kecenderungan akumulasi merkuri yang lebih tinggi dibandingkan stasiun yang didominasi pasir (Rumkorem, 2023). Logikanya sederhana, semakin besar proporsi sedimen bertekstur halus (non-pasir) di suatu lokasi, semakin tinggi pula kandungan bahan organik yang terperangkap di dalamnya, karena partikel-partikel halus tersebut efektif menjebak dan menahan material organik yang terbawa arus. Bahan organik inilah yang kemudian berperan sebagai media pengikat yang sangat efektif bagi ion-ion merkuri terlarut. Partikel sedimen yang halus dengan luas permukaan yang lebih besar memungkinkan lebih banyak ion Hg terikat pada permukaannya secara kimiawi melalui mekanisme adsorpsi, sebagaimana ditegaskan pula dalam kajian mengenai sifat dan ciri tanah yang memengaruhi proses adsorpsi-desorpsi merkuri pada lahan bekas pengolahan emas di Taliwang, bahwa ukuran butir yang lebih halus menghasilkan daya serap (adsorpsi) yang lebih tinggi terhadap ion logam dibandingkan partikel berukuran kasar (Hurum, 2023). Dengan demikian, titik-titik yang kaya sedimen halus dan bahan organik berpotensi menjadi perangkap merkuri yang efektif, menjelaskan mengapa konsentrasi di Titik 4 dan titik-titik TMS lainnya jauh lebih tinggi dibandingkan titik-titik yang didominasi oleh pasir kasar.

Temuan di Teluk Buyat ini menunjukkan kemiripan pola dengan hasil penelitian serupa di perairan Indonesia. Penelitian Ramadhan dkk. (2024) di Perairan Pulau Panjang, Banten, misalnya, melaporkan bahwa sedimen di area tersebut mengandung merkuri rata-rata sebesar 285,89 µg/g, dan penyebaran Hg di sana sangat dipengaruhi oleh faktor angin dan arus pantai, sehingga

konsentrasi tertinggi justru cenderung ditemukan lebih jauh dari garis pantai, mengikuti arah dominan transportasi partikel. Sementara itu, penelitian Haryati, Prartono & Hindarti (2022) di Perairan Cirebon, Jawa Barat, juga menemukan bahwa logam berat Hg terdeteksi dengan kadar yang bervariasi antar lokasi. Penelitian tersebut secara khusus menegaskan bahwa perbedaan karakteristik perairan di setiap lokasi, meliputi pH, salinitas, suhu, dan ukuran butir sedimen, secara nyata memengaruhi pola akumulasi merkuri di sedimen. Kondisi perairan seperti nilai pH yang rendah, misalnya, diketahui dapat memperlemah ikatan merkuri dengan partikel dan meningkatkan kelarutannya dalam air, sementara kondisi anaerob di sedimen mendorong konversi merkuri anorganik menjadi metilmerkuri oleh aktivitas bakteri.

Dengan demikian, tingginya konsentrasi Hg di Titik 4 dan titik-titik TMS lainnya secara ilmiah lebih tepat dijelaskan sebagai hasil interaksi antara kondisi hidrodinamika, yaitu arus yang relatif lemah sehingga mendukung pengendapan partikel halus, dan karakteristik tekstur sedimen berupa fraksi lumpur/liat serta kandungan bahan organik yang tinggi di lokasi tersebut. Kedua faktor ini bekerja bersama-sama menciptakan kondisi yang secara fisik dan kimiawi mendukung akumulasi merkuri pada sedimen, tanpa perlu mengasumsikan kedekatan atau keberadaan sumber pencemar tertentu yang tidak diverifikasi secara langsung melalui pengukuran di lapangan.

Logam Berat Pada Ikan di Teluk Buyat

Berdasarkan hasil pengukuran kadar merkuri (Hg) pada empat spesies ikan konsumsi yang umum ditangkap dan dikonsumsi oleh masyarakat di sekitar Teluk Buyat, yaitu ikan uhi (*Sphyrna barracuda*), ikan jambrung (*Siganus javus*), ikan geloma (*Johnius carouna*), dan ikan kakatua (*Scarus forsteni*), diketahui bahwa seluruh sampel masih berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan dalam SNI 7387:2009 sebesar 0,5 µg/g. Ikan geloma mencatat kadar Hg tertinggi sebesar 0,2106 µg/g, diikuti ikan jambrung sebesar 0,0529 µg/g. Sementara itu, ikan uhi dan ikan kakatua keduanya menunjukkan kadar di bawah batas deteksi alat (<0,00003 µg/g), yang secara praktis berarti bebas dari kontaminasi merkuri yang terukur. Adanya perbedaan kadar Hg yang cukup mencolok antar keempat spesies ini menunjukkan bahwa akumulasi logam berat pada tubuh ikan tidak hanya ditentukan oleh kondisi lingkungan perairan semata, melainkan juga sangat dipengaruhi oleh faktor biologis dan ekologis yang bersifat spesifik untuk masing-masing spesies, seperti posisi dalam rantai makanan, kebiasaan makan, habitat, serta kemampuan fisiologis tubuh ikan dalam menyerap dan mengekskresi logam berat.

Temuan Tsui dkk. (2023) menegaskan bahwa posisi trofik dan usia ikan adalah dua faktor penentu utama konsentrasi metilmerkuri dalam tubuh ikan. Kedua, jenis habitat tempat ikan mencari makan juga sangat berpengaruh. Ikan geloma (*Johnius carouna*) yang ditemukan memiliki kadar Hg tertinggi merupakan jenis ikan demersal, yakni ikan yang aktif mencari makan di dekat atau di dasar perairan. Kebiasaan ini membuat ikan geloma lebih banyak bersentuhan dengan

sedimen yang mengandung merkuri, serta mengonsumsi organisme bentik yang telah mengakumulasi Hg dari sedimen tersebut. Sebaliknya, ikan kakatua (*Scarus forsteni*) yang bersifat herbivora dan mengandalkan alga serta karang sebagai sumber makanan, memiliki paparan terhadap merkuri yang jauh lebih rendah, yang menjelaskan mengapa kadarnya tidak terdeteksi.

Selain posisi trofik dan kebiasaan makan, ukuran dan umur ikan juga terbukti memengaruhi pola akumulasi merkuri secara signifikan. Hasil penelitian Husna & Kantun (2025) mengenai akumulasi logam berat merkuri pada ikan tembang (*Sardinella fimbriata*) di Perairan Selat Makassar menunjukkan bahwa kandungan Hg pada tubuh ikan bervariasi berdasarkan ukuran tubuh secara tidak linear. Nilai terendah ditemukan pada ikan berukuran kecil, meningkat pada ikan berukuran sedang, dan cenderung menurun kembali pada ikan berukuran besar. Pola ini diduga berkaitan erat dengan dinamika antara laju pertumbuhan tubuh ikan dan laju akumulasi merkuri. Pada ikan berukuran sedang, pertumbuhan tubuh mulai melambat sementara paparan terhadap lingkungan tercemar sudah berlangsung cukup lama, sehingga konsentrasi Hg mencapai puncaknya. Pada ikan yang lebih besar dan lebih tua, mekanisme distribusi Hg ke dalam jaringan tubuh yang berkembang lebih masif dapat menyebabkan efek pengenceran (*dilution effect*), sehingga konsentrasinya per satuan berat tampak menurun. Temuan ini menjadi pengingat bahwa hubungan antara ukuran ikan dan kadar merkurnya tidak selalu linear dan perlu ditelaah lebih lanjut pada setiap spesies secara terpisah.

Hasil yang diperoleh dari Teluk Buyat ini sejalan dengan temuan dari berbagai penelitian serupa di perairan Indonesia. Penelitian Pelu, Tuharea & Walalayo (2022) di Kecamatan Teluk Kaiely, Kabupaten Buru, mendapati bahwa dari tiga sampel ikan yang diuji, dua sampel mengandung merkuri namun masih di bawah ambang batas aman, sementara satu sampel tidak terdeteksi sama sekali. Penelitian tersebut secara khusus menegaskan bahwa jenis ikan, morfologi tubuh, siklus hidup, umur ikan, serta jarak titik pengambilan sampel dari area pertambangan secara nyata memengaruhi hasil analisis yang diperoleh. Sementara itu, Saputri dkk. (2023) yang meneliti enam jenis ikan komersial di perairan Kendari, Sulawesi Tenggara, menemukan bahwa konsentrasi Hg pada ikan tidak hanya berbeda antar spesies, tetapi juga berfluktuasi antar tahun, mencerminkan pengaruh dinamis dari kebiasaan makan, habitat, serta posisi trofik masing-masing spesies. Temuan Elvince & Evnaweri (2024) di Kota Palangka Raya, Kalimantan Tengah, juga menunjukkan pola serupa, di mana kadar merkuri pada ikan patin dan nila tidak terdeteksi, sementara ikan baung terdeteksi rata-rata sebesar 0,216 µg/g, yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan kedua spesies lainnya.

Meskipun seluruh sampel ikan di Teluk Buyat masih memenuhi standar aman konsumsi berdasarkan SNI 7387:2009, terdeteksinya merkuri pada semua sampel tetap perlu diwaspadai dari sudut pandang kesehatan masyarakat. Penelitian di Perairan Morosi, Kabupaten Konawe oleh Tosepu & Nasaruddin (2025) menunjukkan bahwa meskipun kandungan merkuri pada ikan nila

berada pada kisaran 0,000971–0,0021 $\mu\text{g/g}$ dan masih berada di bawah ambang batas Badan Standardisasi Nasional dalam SNI 2009 sebesar 1,0 $\mu\text{g/g}$. Namun, nilai Risk Quotient (RQ) untuk paparan harian sebesar 1,643 dan paparan jangka panjang sebesar 4,383 menunjukkan bahwa konsumsi ikan nila tetap berpotensi menimbulkan risiko kesehatan. Hal ini sejalan dengan hasil kajian literatur Septriani dkk. (2023) yang menyimpulkan bahwa masyarakat perlu meningkatkan pemahamannya mengenai cara memilih dan mengonsumsi produk perikanan yang aman dari cemaran merkuri, karena paparan jangka panjang meskipun di bawah ambang batas dapat memicu gangguan kesehatan, termasuk risiko kanker.

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis dan perbandingan dengan penelitian-penelitian sebelumnya, diperlukan upaya pemantauan dan pengendalian pencemaran yang berkelanjutan guna melindungi ekosistem perairan dan kesehatan masyarakat di sekitar Teluk Buyat, mencakup pengendalian sumber pencemar serta pemantauan konsentrasi secara berkala. Perlu ditegaskan bahwa penelitian ini hanya mengukur kadar merkuri pada sedimen dan ikan serta membandingkannya dengan ambang batas NOAA dan SNI, tanpa melakukan analisis risiko konsumsi secara kuantitatif seperti Estimated Daily Intake (EDI), Target Hazard Quotient (THQ), atau Risk Quotient (RQ) terhadap sampel ikan yang diteliti. Oleh karena itu, simpulan mengenai potensi risiko kesehatan masyarakat dalam penelitian ini bersifat indikatif berdasarkan perbandingan kadar Hg, dan penilaian risiko konsumsi yang lebih menyeluruh memerlukan kajian EDI/THQ/RQ pada penelitian selanjutnya.

Keterkaitan Kadar Merkuri pada Sedimen dan Ikan di Teluk Buyat

Salah satu temuan penting dalam penelitian ini adalah adanya ketidaksesuaian pola antara kadar Hg pada sedimen dan pada ikan. Titik 4 mencatat kadar Hg tertinggi pada sedimen (10,0792 $\mu\text{g/g}$ atau sekitar 14,2 kali ambang batas ERM NOAA), namun seluruh sampel ikan yang diperiksa tetap berada jauh di bawah ambang batas SNI 7387:2009 (0,5 $\mu\text{g/g}$), dengan kadar tertinggi hanya 0,2106 $\mu\text{g/g}$ pada ikan geloma. Pola ini pada awalnya tampak kontradiktif, namun secara ilmiah dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme yang saling berkaitan.

Faktor pertama bioavailabilitas, yaitu proporsi merkuri dalam sedimen yang benar-benar dapat diserap oleh organisme hidup. Tidak seluruh Hg yang terukur dalam sedimen berada dalam bentuk yang tersedia secara biologis; sebagian besar terikat kuat pada partikel lumpur, liat, dan bahan organik melalui mekanisme adsorpsi kimiawi, sehingga relatif stabil dan tidak mudah lepas ke kolom air maupun masuk ke jaringan tubuh biota. Merkuri baru benar-benar berbahaya secara biologis setelah diubah oleh aktivitas bakteri anaerob dalam sedimen menjadi metilmerkuri, bentuk organik yang jauh lebih mudah diserap oleh organisme. Proses metilasi ini sendiri bergantung pada kondisi spesifik sedimen, seperti kandungan bahan organik, konsentrasi sulfur, dan status oksidasi lingkungan, sehingga tingginya kadar Hg total pada sedimen tidak secara otomatis berbanding

lurus dengan besarnya paparan terhadap biota di atasnya (Merritt & Amirbahman dalam Bradford dkk., 2024). Dengan kata lain, sebagian besar Hg di Titik 4 kemungkinan berada dalam bentuk yang relatif terikat dan belum tentu tersedia secara biologis dalam jumlah besar bagi ikan di sekitarnya.

Faktor kedua adalah karakteristik habitat dan mobilitas ikan. Keempat spesies ikan yang diteliti tidak seluruhnya beraktivitas di zona yang sama dengan titik sedimen bertitik Hg tinggi. Ikan bersifat mobile dan dapat berpindah mencari makan di berbagai bagian teluk, sehingga individu yang tertangkap belum tentu pernah tinggal atau mencari makan tepat di Titik 4. Sebaliknya, sedimen bersifat relatif statis dan mencerminkan akumulasi pada satu titik koordinat tertentu. Ikan geloma (*Johnius carouna*) yang bersifat demersal dan mencatat kadar Hg tertinggi di antara sampel ikan tetap menunjukkan konsentrasi yang jauh lebih rendah dibandingkan sedimen di titik terparah, yang mengindikasikan bahwa kontak dengan sedimen tercemar tidak terjadi secara terus-menerus maupun pada intensitas yang setara dengan konsentrasi puncak di sedimen.

Mekanisme di atas juga didukung oleh temuan-temuan penelitian terbaru yang secara khusus mengkaji hubungan antara kadar Hg di sedimen dan di tubuh ikan. Penelitian Indrawati, Syam, Hidayat & Gafur (2025) di DAS Tallo, Makassar, yang mengukur merkuri secara bersamaan pada air, sedimen, dan biota (alga, ikan cere, serta ikan nila), menemukan bahwa nilai Bioaccumulation Factor (BAF) ikan justru bervariasi antar lokasi meski kadar Hg pada media lingkungan relatif seragam, sehingga perbedaan pola makan dan mobilitas ikanlah yang lebih menentukan besar-kecilnya akumulasi Hg pada tubuh ikan dibandingkan kadar Hg pada sedimen semata. Temuan ini memperkuat argumen bahwa tingginya Hg sedimen di Titik 4 tidak otomatis berbanding lurus dengan kadar Hg pada ikan di Teluk Buyat. Sejalan dengan itu, kajian mekanisme metilasi Hg di sedimen pesisir (Adilistiono dkk., dikutip dalam kajian AL-ARD, 2023) juga menegaskan bahwa metilmerkuri yang terbentuk di sedimen bersifat tidak stabil dan baru terlepas ke kolom air secara bertahap sebelum dapat diakumulasi biota, sehingga jeda waktu dan proses biokimia inilah yang menjelaskan mengapa lonjakan Hg pada satu titik sedimen tidak serta-merta tercermin pada kadar Hg ikan di titik yang sama. Dengan kata lain, hubungan sedimen dan ikan bukan hubungan sebab-akibat yang langsung dan seketika, melainkan hubungan yang diperantarai oleh serangkaian proses biogeokimia dan ekologis yang berlangsung secara bertahap.

Dengan demikian, tingginya kadar Hg pada sedimen di Titik 4 dan rendahnya kadar Hg pada seluruh sampel ikan bukan merupakan temuan yang saling bertentangan, melainkan menggambarkan dua tempat penyimpanan logam berat dengan cara kerja yang berbeda. Sedimen berperan sebagai tempat penyimpanan jangka panjang yang mencatat seluruh akumulasi Hg pada satu titik selama bertahun-tahun, sehingga wajar apabila nilainya dapat sangat tinggi. Sementara itu, kadar Hg pada ikan tidak serta-merta mencerminkan seluruh Hg yang terdapat pada sedimen,

karena tidak seluruh Hg pada sedimen berada dalam bentuk yang dapat diserap oleh tubuh organisme, ikan juga bersifat mobile dan dapat berpindah tempat mencari makan, sehingga tidak selalu berada terus-menerus di titik yang paling tercemar. Ketiga

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis dan perbandingan dengan penelitian-penelitian sebelumnya, diperlukan upaya pemantauan dan pengendalian pencemaran yang berkelanjutan guna melindungi ekosistem perairan dan kesehatan masyarakat di sekitar Teluk Buyat, mencakup pengendalian sumber pencemar serta pemantauan konsentrasi secara berkala. Perlu ditegaskan bahwa penelitian ini hanya mengukur kadar merkuri pada sedimen dan ikan serta membandingkannya dengan ambang batas NOAA dan SNI, tanpa melakukan analisis risiko konsumsi secara kuantitatif seperti Estimated Daily Intake (EDI), Target Hazard Quotient (THQ), atau Risk Quotient (RQ) terhadap sampel ikan yang diteliti. Oleh karena itu, simpulan mengenai potensi risiko kesehatan masyarakat dalam penelitian ini bersifat indikatif berdasarkan perbandingan kadar Hg, dan penilaian risiko konsumsi yang lebih menyeluruh memerlukan kajian EDI/THQ/RQ pada penelitian selanjutnya.

Kesimpulan

Kadar merkuri di Teluk Buyat menunjukkan bahwa pada sedimen terdapat variasi antar titik dengan rentang $<0,00003$ – $10,0792 \mu\text{g/g}$, di mana 5 dari 16 titik (Titik 2, 3, 4, 14, dan 15) tidak memenuhi syarat karena melebihi ambang batas ERM NOAA ($0,71 \mu\text{g/g}$), dengan kadar tertinggi ditemukan pada Titik 4 sebesar $10,0792 \mu\text{g/g}$. Sementara itu, kadar merkuri pada biota ikan (uhi, jambung, kakatua, dan geloma) seluruhnya berada di bawah ambang batas SNI 7387:2009 ($0,5 \mu\text{g/g}$), sehingga dinyatakan memenuhi syarat dan memenuhi batas maksimum yang ditetapkan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih secara khusus disampaikan kepada para dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan bimbingan selama proses penelitian dan penyusunan naskah. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah dan masyarakat Teluk Buyat yang telah memberikan izin serta membantu dalam proses pengambilan sampel di lapangan, seluruh pihak yang terlibat dalam pengumpulan dan pengolahan data penelitian, serta Laboratorium Kesehatan Masyarakat Makassar yang telah melakukan analisis kandungan merkuri (Hg) pada sampel sedimen dan ikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Referensi

- Adilistiono, A., Rachmawati, N., & Sudarmadji, S. (2023). Bahaya kontaminasi logam berat merkuri (Hg) dalam ikan laut. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 2(2), 36–41.
- Alkautsar, M. D., Suryono, C. A., & Pratikto, I. (2022). Korelasi antara ukuran butir sedimen non pasir dengan kandungan bahan organik di Perairan Morodemak, Kabupaten Demak. *Journal of Marine Research*, 11(3), 391–398. <https://doi.org/10.14710/jmr.v11i3.35020>
- Badan Standardisasi Nasional. (2009). Batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan (SNI 7387:2009). Badan Standardisasi Nasional.
- Bradford, M. A., Mallory, M. L., & O'Driscoll, N. J. (2024). Ecology and environmental characteristics influence methylmercury bioaccumulation in coastal invertebrates. *Chemosphere*, 346, 140502. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140502>
- Butarbutar, A. R., Dewi, L. P., Auliani, R., Farlina, B. F., Oktavia, S., Wiranti, B., & Apsari, D. A. (2024). Evaluasi risiko kesehatan akibat paparan logam berat dalam air minum: Studi epidemiologi lingkungan. *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran*, 7(1), 3078–3086.
- El-Sharkawy, M., Alotaibi, M. O., Li, J., Du, D., & Mahmoud, E. (2025). Heavy metal pollution in coastal environments: Ecological implications and management strategies: A review. *Sustainability*, 17(2), 701.
- Elfidasari, D. (2023). *Pterygoplichthys pardalis* dan potensinya sebagai agen bioremediasi cemaran logam berat di perairan. *Karya Bakti Makmur*.
- Elvince, R., & Evnaweri, E. (2024). Kandungan merkuri pada ikan air tawar dan risiko bagi kesehatan masyarakat di Kota Palangka Raya Kalimantan Tengah. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 12(1), 47–52.
- Haryati, A., Prartono, T., & Hindarti, D. (2022). Konsentrasi merkuri (Hg) di sedimen perairan Cirebon, Jawa Barat pada musim peralihan timur. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 14(3), 321–335. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v14i3.33788>
- Hurum, M. C. (2023). Sifat dan ciri tanah yang mempengaruhi adsorpsi-desorpsi merkuri (Hg) pada pengolahan emas tanpa izin di lahan kering Taliwang. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, 9(3).
- Indrawati, I., Syam, N., Hidayat, H., & Gafur, A. (2025). Evaluasi trofik-logam merkuri (Hg) dalam ekosistem sungai tropis perkotaan: Studi bioakumulasi pada DAS Tallo, Makassar. *Jurnal Kesehatan Tambusai*, 6(4), 14668–14677. <https://doi.org/10.31004/jkt.v6i4.46858>
- Irsan, Male, Y. T., Ismail, I., Koto, S., Mangesa, R., Hadi, N., & Kasmawati. (2025). Logam berat merkuri (Hg): Penggunaannya pada pertambangan emas skala kecil (PESK) dan dampaknya terhadap ekosistem perairan. CV Budi Utama.
- Kantun, W., & Husna, A. (2025). Akumulasi logam berat merkuri pada ikan tembang (*Sardinella fimbriata Valenciennes, 1847*) ditinjau dari kebiasaan makan di Perairan Selat Makassar. *Jurnal Riset Diwa Bahari (JRDB)*, 118–128.
- Lagoari, M. C., Riogilang, H., & Hendratta, L. A. (2025). Analisis kualitas air Sungai Buyat sebagai dampak kegiatan pertambangan emas rakyat. *TEKNO*, 23(91).
- Long, E. R., MacDonald, D. D., Smith, S. L., & Calder, F. D. (1995). Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19(1), 81–97. <https://doi.org/10.1007/BF02472006>
- Mariwy, A., Septory, A. N., & Untailawan, R. (2023). Analisis kandungan logam berat merkuri (Hg) pada sedimen di perairan Desa Batuboy Teluk Kayeli Pulau Buru. *Molluca Journal of Chemistry Education (MJoCE)*, 13(1), 23–31. <https://doi.org/10.30598/MJoCEvol13iss1pp23-31>
- Masruddin, M., & Mulasari, S. A. (2021). Gangguan kesehatan akibat pencemaran merkuri (Hg) pada penambangan emas ilegal. *Jurnal Kesehatan Terpadu (Integrated Health Journal)*, 12(1), 8–15.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (1995). Sediment quality guidelines developed for the National Status and Trends Program. Office of Ocean Resources Conservation and Assessment, National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Nugraha, M. A., Akhrianti, I., Pratiwi, F. D., & Priyambada, A. (2023). Geokimia dan asesmen pencemaran logam berat Cd, Cu dan Zn pada sedimen permukaan Estuari Baturusa, Bangka. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(1), 35–48. <https://doi.org/10.14710/jkt.v26i1.16467>
- Pawitra, M. D., Indrayanti, E., Yusuf, M., & Zainuri, M. (2022). Sebaran sedimen dasar perairan dan pola arus laut di Muara Sungai Loji, Pekalongan. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(3),

- 22–32. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i3.13443>
- Pelu, A. D., Tuharea, A., & Walalayo, N. H. (2022). Analisis kadar merkuri (Hg) pada ikan di Kecamatan Teluk Kaiely Kabupaten Buru menggunakan metode mercury analyzer. *Jurnal Rumpun Ilmu Kesehatan*, 2(1), 99–108.
- Pinontoan, O. R., Mawo, F. H. M., Dwiseli, F., & Lopian, L. G. (2025). Pencemaran lingkungan khusus logam berat. Yayasan Bina Lentera Insan.
- Pinontoan, O., & Sumampouw, O. (2020). Toksikologi lingkungan. Deepublish.
- Ramadhan, R. A., Maharani, N. M. S., Ling, M. G., Al Fauzan, A., Utami, D. A., Sasongko, A. S., Cahyadi, F. D., & Cahyarini, S. Y. (2024). Analisis konsentrasi merkuri (Hg) pada sampel sedimen di Perairan Pulau Panjang Banten. *Journal of Marine Research*, 13(1), 127–136. <https://doi.org/10.14710/jmr.v13i1.40868>
- Rayhan, A., & Pramesty, W. A. (2023). Implementasi Minamata Convention on Mercury terhadap kasus pencemaran merkuri dan arsen di Teluk Buyat Indonesia. *Tirtayasa Journal of International Law*, 2(1).
- Rumampuk, N. D., & Warouw, V. (2015). Bioakumulasi total merkuri, arsen, kromium, kadmium, timbal di Teluk Totok dan Teluk Buyat, Sulawesi Utara. *Jurnal LPPM Bidang Sains dan Teknologi*, 2(2), 49–59.
- Saputri, M., Yasnaini, Y., Sara, L., Widowati, I., Guyot, T., Fichet, D., & Radenac, G. (2023). Multi-year monitoring of the toxicological risk of heavy metals related to fish consumption by the population of the Kendari Region (Southeast Sulawesi, Indonesia). *Toxics*, 11(7), 592.
- Sari, A. A., Pertiwi, S., Ariyani, M., Ridwan, S. Y., & Fryantoni, D. (2022). Buku saku merkuri: Menuju penghapusan merkuri pertambangan skala kecil. BRIN.
- 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(1), 7–16.
- Tosepu, R., & Nasaruddin, N. (2025). Parameter fisik dan risiko kesehatan lingkungan akibat paparan merkuri (Hg) pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di Perairan Morosi Kabupaten Konawe. Banua: *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 5(1), 26–41.
- Tsui, M. T. K., Kwon, S. Y., Li, M. L., & Bishop, K. (2023). Revisiting the relationship between mercury emission and bioaccumulation. *Environment & Health*, 1(1).
- World Health Organization. (2024). Mercury and health. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>