

ANALISIS KANDUNGAN TIMBAL (PB) PADA SEDIMEN DI TELUK TOTOK KABUPATEN MINAHASA TENGGARA

Stanley Klemens Ferdinand Posumah¹, Sri Seprianto Maddusa², Vennetia Ryckerens Danes³

^{1, 2, 3}Universitas Sam Ratulangi, Jl. Kampus Unsrat, Manado, Sulawesi Utara, Indonesia

Email: stanleyposumah121@student.unsrat.ac.id

Article History

Received: 17-04-2026

Revision: 18-05-2026

Accepted: 22-05-2026

Published: 25-05-2026

Abstract. Lead (Pb) heavy metal contamination in coastal areas adjacent to mining activities poses a serious threat to aquatic ecosystems and public health. This study aimed to analyze Pb content in sediment at Totok Bay, Southeast Minahasa Regency, and assess its compliance with applicable quality standards. A laboratory-based descriptive quantitative study was conducted in November–December 2025 using purposive sampling at 16 coordinate points in Totok Bay waters. Pb concentration was analyzed using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) at the Ministry of Health Laboratory (Labkesmas Makassar I), and results were compared against the Australia and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality (ANZG) with a DGV of 50 mg/kg. Results showed Pb concentrations in sediment ranging from 7.45–53.74 mg/kg, with a mean value of 13.81 mg/kg. Fifteen out of 16 sampling points (93.75%) were below the threshold, while Point 13 recorded 53.74 mg/kg, exceeding the ANZG DGV. Localized contamination at Point 13 was associated with its proximity to mining operations, sand dredging activities, and fine-grained sediment characteristics with higher Pb sorption capacity. This study concludes that Totok Bay has experienced localized Pb contamination requiring continuous environmental monitoring and risk-based coastal management.

Keywords: Coastal Pollution, Heavy Metals, ICP-MS, Mining, Sediment

Abstrak. Pencemaran logam berat timbal (Pb) di wilayah pesisir yang berdekatan dengan aktivitas pertambangan merupakan ancaman serius bagi ekosistem perairan dan kesehatan masyarakat. Penelitian ini bertujuan menganalisis kandungan Pb pada sedimen di Teluk Totok, Kabupaten Minahasa Tenggara, serta menilai kesesuaiannya dengan baku mutu yang berlaku. Penelitian deskriptif kuantitatif berbasis laboratorium dilaksanakan pada bulan November–Desember 2025 dengan teknik purposive sampling pada 16 titik koordinat di perairan Teluk Totok. Analisis kadar Pb dilakukan menggunakan metode Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) di Laboratorium Kementerian Kesehatan Labkesmas Makassar I, dan hasilnya dibandingkan dengan baku mutu Australia and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality (ANZG) dengan nilai DGV 50 mg/kg. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi Pb pada sedimen berkisar antara 7,45–53,74 mg/kg, dengan nilai rata-rata 13,81 mg/kg. Sebanyak 15 dari 16 titik sampling (93,75%) berada di bawah ambang batas, sementara Titik 13 mencatat kadar 53,74 mg/kg yang melampaui nilai DGV ANZG. Pencemaran lokal pada Titik 13 berkaitan dengan kedekatan lokasi terhadap area aktivitas pertambangan, pengoperasian perahu penyedot pasir, serta karakteristik granulometri sedimen halus yang memiliki kapasitas sorpsi Pb lebih tinggi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa Teluk Totok mengalami pencemaran Pb bersifat lokal yang memerlukan pemantauan lingkungan berkelanjutan dan pengelolaan berbasis risiko sebagai upaya perlindungan ekosistem pesisir.

Kata Kunci: ICP-MS, Logam Berat, Pencemaran Pesisir, Pertambangan, Sedimen

How to Cite: Posumah, S. K. F., Maddusa, S. S., & Danes, V. R. (2026). Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Sedimen di Teluk Totok Kabupaten Minahasa Tenggara. *HORIZON: Indonesian Journal of Multidisciplinary*, 4 (3), 1052-1061. <http://doi.org/10.54373/hijm.v4i3.5393>

PENDAHULUAN

Pencemaran logam berat di wilayah pesisir merupakan permasalahan kesehatan lingkungan global yang semakin meningkat seiring intensifikasi aktivitas industri dan pertambangan. Timbal (Pb) merupakan logam berat non-esensial yang bersifat persisten, tidak dapat terdegradasi secara biologis, dan cenderung terakumulasi dalam matriks sedimen dasar perairan dalam jangka panjang. Sedimen dasar perairan berperan ganda sebagai penyerap (sink) logam berat dari berbagai sumber sekaligus berpotensi menjadi sumber pencemar sekunder melalui proses resuspensi yang melepaskan logam ke kolom air (Schneider et al., 2021). Paparan Pb secara kronis, bahkan pada konsentrasi rendah, dapat menyebabkan anemia, hipertensi, gangguan ginjal, dan neurotoksisitas, terutama pada populasi rentan (Jomova et al., 2025; Simatupang et al., 2024).

Teluk Totok, Kecamatan Ratatotok, Kabupaten Minahasa Tenggara, merupakan kawasan pesisir yang terpapar langsung oleh aktivitas pertambangan emas tradisional tanpa izin (Tongkotow et al., 2023). Aktivitas ini berpotensi melepaskan logam berat, termasuk Pb, ke lingkungan perairan melalui aliran sungai, erosi material tambang, dan limpasan permukaan. Karakteristik hidrodinamika Teluk Totok yang semi-tertutup menyebabkan sirkulasi air relatif lemah, sehingga kontaminan yang masuk cenderung mengendap dan terakumulasi di sedimen dasar. Kondisi ini menjadikan sedimen Teluk Totok sebagai indikator penting dalam penilaian kualitas lingkungan perairan setempat.

Studi sebelumnya di Sulawesi Utara oleh Maddusa et al., (2022) di Kabupaten Bolaang Mongondow menunjukkan kadar Pb sedimen yang melampaui baku mutu pada kawasan terdampak pertambangan. Namun, penelitian tersebut berfokus pada analisis risiko kesehatan masyarakat melalui konsumsi ikan yang terpapar logam berat dan belum mengevaluasi distribusi Pb pada media sedimen secara spasial. Berbeda dengan penelitian Maddusa et al., (2022), penelitian ini secara khusus menganalisis distribusi konsentrasi Pb pada sedimen dasar perairan di Teluk Totok menggunakan 16 titik sampling yang mewakili variasi sumber pencemar pesisir, seperti area pertambangan, muara sungai, dermaga, dan aktivitas dredging. Selain itu, penelitian ini menggunakan metode *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS) yang memiliki sensitivitas dan presisi lebih tinggi dibandingkan metode konvensional yang umum digunakan pada penelitian sebelumnya.

Penelitian ini juga memiliki perbedaan mendasar dibandingkan studi Fathona (2023) di perairan Belitung. Jika penelitian di Belitung berfokus pada wilayah bekas pertambangan timah dengan karakteristik oseanografi terbuka, maka Teluk Totok merupakan perairan semi-

tertutup dengan dinamika hidrodinamika yang lebih lemah sehingga berpotensi meningkatkan akumulasi logam berat pada sedimen. Dengan demikian, pola distribusi Pb di Teluk Totok diperkirakan memiliki karakteristik spasial yang berbeda dan lebih dipengaruhi oleh akumulasi lokal di sekitar sumber pencemar. Penelitian serupa di perairan Cina oleh Li et al., (2025) menegaskan bahwa distribusi logam berat dalam sedimen pesisir bersifat heterogen dan sangat dipengaruhi oleh kedekatan dengan sumber pencemar serta karakteristik lingkungan lokal. Akan tetapi, penelitian Li et al., (2025) dilakukan pada ekosistem oyster reef di wilayah subtropis dengan karakteristik geologi dan aktivitas antropogenik yang berbeda dengan kawasan pesisir pertambangan emas tradisional di Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan kebaruan (*novelty*) berupa data distribusi spasial Pb pada sedimen di Teluk Totok sebagai kawasan pesisir semi-tertutup yang dipengaruhi aktivitas pertambangan emas tradisional, sekaligus mengidentifikasi faktor-faktor lokal yang berkontribusi terhadap akumulasi Pb pada sedimen. Penelitian ini bertujuan menganalisis konsentrasi Pb pada sedimen di 16 titik pengambilan sampel Teluk Totok menggunakan metode ICP-MS dan membandingkan hasilnya dengan baku mutu ANZG (2020), guna memberikan data ilmiah sebagai dasar pengelolaan lingkungan pesisir dan kebijakan perlindungan kesehatan masyarakat di kawasan pertambangan Minahasa Tenggara.

METODE

Penelitian ini merupakan studi deskriptif kuantitatif dengan desain survei berbasis laboratorium. Penelitian dilaksanakan di perairan Teluk Totok, Kecamatan Ratatotok, Kabupaten Minahasa Tenggara, Provinsi Sulawesi Utara (koordinat berkisar antara 0°51'53"–0°52'8" LU dan 124°42'31"–124°42'45" BT), pada bulan November–Desember 2025. Lokasi ini dipilih berdasarkan potensi pencemaran akibat aktivitas pertambangan, aktivitas dermaga, dan muara sungai di sekitar kawasan pesisir.

Pengambilan sampel sedimen dilakukan pada 16 titik koordinat menggunakan teknik purposive sampling, dengan penentuan titik sampling didasarkan pada kedekatan dengan sumber pencemar potensial: aliran sungai, area operasional perahu penyedot pasir, lokasi penghancuran batuan hasil tambang, dan zona aktivitas dermaga. Sampel diambil menggunakan pipa PVC pada kedalaman 120 cm dari permukaan sedimen, disimpan dalam kantong plastik zipper lock berlabel, dan diangkut menggunakan cool box bersuhu rendah ke laboratorium.

Analisis kadar Pb dilakukan menggunakan metode *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS) di Laboratorium Kesehatan Masyarakat Kementerian Kesehatan RI (Labkesmas Makassar I). Metode ICP-MS dipilih karena memiliki batas deteksi sangat rendah, sensitivitas tinggi, dan presisi yang baik dalam pengukuran logam berat pada matriks sedimen. Preparasi sampel dilakukan melalui prosedur destruksi asam standar sebelum pengukuran. Berat sampel per titik adalah 250 mg. Interpretasi hasil mengacu pada *Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality* (ANZG, 2020) untuk sedimen, dengan nilai Default Guideline Value (DGV) sebesar 50 mg/kg sebagai batas kualitas sedimen Memenuhi Syarat (MS) dan GV-high 220 mg/kg. Data hasil laboratorium disajikan dalam bentuk tabel dan dianalisis secara deskriptif komparatif.

HASIL

Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Teluk Totok terletak di wilayah administratif Kecamatan Ratatotok, kecamatan dengan luas terbesar di Kabupaten Minahasa Tenggara ($\pm 14\%$ dari total luas kabupaten), berbatasan dengan Laut Maluku di sebelah timur dan Kecamatan Belang di sebelah utara. Teluk ini merupakan perairan semi-tertutup yang menerima aliran dari beberapa sungai kecil, muara, serta limpasan permukaan dari daratan. Di sekitar kawasan pesisir terdapat aktivitas pertambangan emas tradisional, lalu lintas perahu nelayan, kegiatan bongkar muat dermaga, dan operasional perahu penyedot pasir. Karakteristik semi-tertutup teluk dengan arus yang relatif lemah menyebabkan material tersuspensi, termasuk partikel pembawa logam berat, cenderung mengendap dan terakumulasi di dasar perairan.

Konsentrasi Timbal (Pb) pada Sedimen Teluk Totok

Tabel 1. Hasil pengukuran konsentrasi timbal (Pb) pada sedimen di 16 titik sampling Teluk Totok

Titik Sampling	Konsentrasi Pb (mg/kg)	Baku Mutu ANZG DGV (mg/kg)	Keterangan
Titik 1	8,92 mg/kg	50 mg/kg (DGV)	Memenuhi Syarat
Titik 2	10,96 mg/kg	50 mg/kg (DGV)	Memenuhi Syarat
Titik 3	11,49 mg/kg	50 mg/kg (DGV)	Memenuhi Syarat
Titik 4	11,45 mg/kg	50 mg/kg (DGV)	Memenuhi Syarat
Titik 5	9,63 mg/kg	50 mg/kg (DGV)	Memenuhi Syarat
Titik 6	9,89 mg/kg	50 mg/kg (DGV)	Memenuhi Syarat
Titik 7	13,50 mg/kg	50 mg/kg (DGV)	Memenuhi Syarat

Titik Sampling	Konsentrasi Pb (mg/kg)	Baku Mutu ANZG DGV (mg/kg)	Keterangan
Titik 8	14,36 mg/kg	50 mg/kg (DGV)	Memenuhi Syarat
Titik 9	10,55 mg/kg	50 mg/kg (DGV)	Memenuhi Syarat
Titik 10	11,74 mg/kg	50 mg/kg (DGV)	Memenuhi Syarat
Titik 11	7,45 mg/kg	50 mg/kg (DGV)	Memenuhi Syarat
Titik 12	8,30 mg/kg	50 mg/kg (DGV)	Memenuhi Syarat
Titik 13	53,74 mg/kg	50 mg/kg (DGV)	Tidak Memenuhi Syarat
Titik 14	13,67 mg/kg	50 mg/kg (DGV)	Memenuhi Syarat
Titik 15	12,63 mg/kg	50 mg/kg (DGV)	Memenuhi Syarat
Titik 16	13,63 mg/kg	50 mg/kg (DGV)	Memenuhi Syarat

Sumber: Laboratorium Kementerian Kesehatan Labkesmas Makassar I, 2025. MS = Memenuhi Syarat; TMS = Tidak Memenuhi Syarat. (*) Titik 13 melebihi nilai DGV ANZG (50 mg/kg).

Berdasarkan Tabel 1, konsentrasi Pb pada sedimen Teluk Totok berkisar antara 7,45 mg/kg (Titik 11) hingga 53,74 mg/kg (Titik 13), dengan nilai rata-rata 13,81 mg/kg dan nilai median 11,62 mg/kg. Dari 16 titik pengambilan sampel, 15 titik (93,75%) menunjukkan kadar Pb di bawah nilai DGV ANZG sebesar 50 mg/kg dan dinyatakan Memenuhi Syarat (MS). Satu titik, yaitu Titik 13, mencatat konsentrasi Pb sebesar 53,74 mg/kg yang melampaui ambang batas DGV dan dinyatakan Tidak Memenuhi Syarat (TMS), mengindikasikan adanya pencemaran lokal pada lokasi tersebut. Seluruh titik sampling berada jauh di bawah nilai GV-high ANZG (220 mg/kg), menunjukkan tidak terjadi pencemaran berat secara keseluruhan. Secara spasial, konsentrasi Pb tertinggi ditemukan pada Titik 13 yang berlokasi berdekatan dengan area operasional perahu penyedot pasir dan lokasi penghancuran batuan hasil tambang.

DISKUSI

Distribusi Spasial Pb pada Sedimen dan Faktor Penentu

Konsentrasi rata-rata Pb sedimen Teluk Totok (13,81 mg/kg) secara umum masih tergolong dalam kategori tidak terkontaminasi hingga terkontaminasi rendah berdasarkan klasifikasi indeks geoakumulasi (Igeo). Pola ini sejalan dengan temuan Li et al. (2025) pada kawasan pesisir oyster reef di Guangdong, China, yang melaporkan bahwa 67,6% stasiun sampling termasuk kategori tidak terkontaminasi, namun pencemaran Pb tingkat sedang hingga berat masih ditemukan secara terlokalisasi pada stasiun-stasiun tertentu yang berdekatan dengan sumber pencemar. Dalam konteks Teluk Totok, distribusi Pb yang heterogen antartitik sampling mencerminkan adanya faktor lokal yang dominan dalam

menentukan akumulasi logam berat. Keberadaan Titik 13 dengan kadar Pb 53,74 mg/kg yang melampaui DGV ANZG menunjukkan pencemaran lokal yang dipengaruhi oleh interaksi multifaktorial. Pertama, faktor geologi alami: kawasan Teluk Totok secara geologis berada pada formasi batuan yang mengandung mineral sulfida pembawa logam berat, termasuk Pb. Pelapukan batuan bermineral sulfida secara alami melepaskan Pb ke lingkungan perairan dan menciptakan latar belakang geokimia yang relatif lebih tinggi dibandingkan kawasan pesisir tanpa formasi geologi serupa (Wilkin, 2025; Mishra et al., 2025). Kedua, faktor antropogenik: aktivitas pertambangan emas tradisional di Kecamatan Ratatotok mempercepat mobilisasi Pb melalui proses penghancuran batuan yang menghasilkan partikel halus kaya mineral; partikel ini mudah terdispersi ke perairan melalui aliran sungai dan limpasan permukaan (Tongkotow et al., 2023).

Ketiga, faktor hidrodinamika dan resuspensi: aktivitas penyedotan pasir (dredging) di sekitar Titik 13 memicu pengadukan sedimen (bioturbasi mekanis), sehingga logam berat yang sebelumnya terikat pada sedimen halus terlepas kembali ke kolom air dan mengalami pengendapan ulang secara siklikal. Proses ini, yang dikenal sebagai remobilisasi sekunder, dapat secara signifikan meningkatkan bioavailabilitas Pb di lokasi setempat (Wang et al., 2022; Schneider et al., 2021). Keempat, faktor granulometri: sedimen berbutir halus (lanau-lempung) memiliki luas permukaan spesifik lebih besar dibandingkan sedimen kasar, sehingga kapasitas adsorpsi terhadap ion Pb^{2+} jauh lebih tinggi. Hal ini konsisten dengan hasil Que et al., (2024) yang membuktikan korelasi positif signifikan antara fraksi halus sedimen dengan konsentrasi logam berat di kawasan tambang Provinsi Hunan, China.

Temuan penelitian ini juga dapat dibandingkan dengan studi Fathona (2023) di perairan utara Kabupaten Belitung yang melaporkan konsentrasi Pb sedimen berkisar 10,08–60,72 mg/kg pada kawasan dengan riwayat aktivitas pertambangan timah; beberapa titik melebihi baku mutu ANZECC/ARMCANZ dengan pola distribusi yang juga heterogen dan dipengaruhi oleh kedekatan dengan sumber pencemar. Perbandingan ini memperkuat argumen bahwa kawasan pesisir dengan aktivitas pertambangan di Indonesia secara konsisten menunjukkan risiko kontaminasi Pb sedimen yang bervariasi namun nyata, dan memerlukan pendekatan monitoring yang berbasis spasial.

Peran Sedimen sebagai Sumber Pencemar Sekunder

Aspek kritis yang perlu digarisbawahi adalah fungsi ganda sedimen dalam ekosistem perairan. Sedimen tidak hanya berfungsi sebagai penyerap (sink) logam berat, tetapi juga berpotensi menjadi sumber pencemar sekunder (*secondary source*) yang melepaskan kembali

Pb ke kolom air melalui proses resuspensi, fluktuasi pH, perubahan potensial redoks, dan aktivitas organisme bioturbasi (Schneider et al., 2021). Dalam konteks Teluk Totok, karakteristik semi-tertutup teluk dengan aliran air yang relatif lemah membatasi kemampuan dispersi dan pengenceran kontaminan (point of exit terbatas), sehingga logam berat cenderung terperangkap dan bertahan lama dalam sistem perairan.

Implikasi ekotoksikologis dari kondisi ini sangat signifikan. Meski secara keseluruhan 93,75% titik sedimen masih di bawah DGV, keberadaan satu titik dengan kadar Pb melebihi ambang batas merupakan sinyal peringatan dini bahwa sistem perairan Teluk Totok berada dalam tekanan kontaminasi yang berpotensi berkembang jika aktivitas pertambangan terus berlanjut tanpa pengelolaan yang memadai. Penelitian oleh Mishra et al., (2025) dalam kajian globalnya menegaskan bahwa Pb seringkali terdeteksi melebihi nilai ambang batas pada sedimen kawasan pertambangan dan akumulasi tersebut berkaitan erat dengan sumber antropogenik yang berlangsung persisten.

Implikasi bagi Kesehatan Lingkungan dan Kebijakan

Dari perspektif kesehatan lingkungan, kontaminasi Pb pada sedimen Teluk Totok memiliki relevansi langsung terhadap kesehatan masyarakat pesisir melalui beberapa jalur paparan (*exposure pathway*). Pertama, biota perairan yang hidup dekat substrat dasar terutama organisme benthik dan ikan demersal terpapar langsung terhadap Pb dalam sedimen melalui insang, kulit, dan rantai makanan, sehingga berpotensi mentransfer Pb ke konsumen ikan melalui jalur alimenter. Data Puskesmas Ratatotok (2025) mencatat 325 kasus hipertensi, 260 kasus dispepsia, dan 220 kasus gastritis sebagai penyakit terbanyak, yang secara epidemiologis berpotensi berkaitan dengan paparan kronis logam berat, meskipun diperlukan studi analitik lebih lanjut untuk membuktikan hubungan kausal.

Secara kebijakan, temuan ini memperkuat urgensi penerapan sistem pemantauan kualitas sedimen secara berkala di Teluk Totok sebagai bagian dari surveilans kesehatan lingkungan terpadu. Pendekatan berbasis risiko (*risk-based approach*) perlu diterapkan melalui identifikasi titik masuk (*point of entry*) pencemar meliputi muara sungai, area tambang, dan lokasi *dredging* serta pengendalian jalur paparan terhadap manusia. Pengelolaan wilayah pesisir yang mengintegrasikan data monitoring logam berat sedimen dengan penilaian risiko kesehatan akan memberikan landasan ilmiah yang kuat bagi kebijakan regulasi aktivitas pertambangan di sekitar kawasan pesisir Minahasa Tenggara.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa konsentrasi timbal (Pb) pada sedimen di Teluk Totok, Kabupaten Minahasa Tenggara, berkisar antara 7,45–53,74 mg/kg dengan nilai rata-rata 13,81 mg/kg. Dari 16 titik pengambilan sampel, 15 titik (93,75%) memenuhi baku mutu ANZG DGV (50 mg/kg), sementara satu titik (Titik 13: 53,74 mg/kg) melampaui ambang batas dan mengindikasikan pencemaran lokal. Tingginya konsentrasi Pb pada Titik 13 merupakan hasil interaksi antara faktor geologi alami berupa kandungan mineral sulfida pembawa Pb, intensifikasi aktivitas pertambangan dan dredging yang mempercepat mobilisasi logam, serta karakteristik granulometri sedimen halus dengan kapasitas sorpsi tinggi pada kondisi hidrodinamika teluk semi-tertutup yang mendukung akumulasi. Temuan ini menegaskan pentingnya pemantauan kualitas sedimen secara berkala dan pengelolaan lingkungan pesisir berbasis risiko di kawasan Teluk Totok.

Keterbatasan Penelitian. Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, penelitian hanya menganalisis kandungan Pb pada media sedimen sehingga belum dapat menggambarkan secara komprehensif distribusi Pb pada kolom air dan biota perairan. Kedua, pengambilan sampel dilakukan dalam satu periode waktu (November–Desember 2025), sehingga belum mampu merepresentasikan variasi musiman yang dapat memengaruhi distribusi logam berat di Teluk Totok. Ketiga, penelitian ini belum melakukan analisis granulometri sedimen, kandungan bahan organik, maupun parameter hidrodinamika secara kuantitatif yang berpotensi memengaruhi proses adsorpsi dan akumulasi Pb. Keempat, penelitian masih bersifat deskriptif sehingga belum dilakukan analisis risiko ekologis dan analisis statistik inferensial untuk menentukan hubungan antarvariabel lingkungan secara lebih mendalam. Oleh karena itu, penelitian lanjutan dengan pendekatan spasial-temporal dan analisis risiko ekologis diperlukan untuk memperoleh gambaran pencemaran Pb yang lebih komprehensif.

REKOMENDASI

Berdasarkan temuan penelitian, terdapat beberapa rekomendasi yang dapat dijadikan pertimbangan, yaitu: (1) Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Minahasa Tenggara perlu menetapkan program pemantauan logam berat sedimen secara periodik (minimal dua kali per tahun) mencakup seluruh titik Teluk Totok, dengan prioritas pada zona berdekatan aktivitas pertambangan dan dredging; (2) Perlu dilakukan kajian analisis risiko ekologis (*Ecological Risk Assessment*) secara kuantitatif menggunakan indeks Igeo dan Risk Quotient untuk

memetakan distribusi risiko secara spasial; (3) Penelitian lanjutan disarankan untuk memperluas cakupan analisis ke media air dan biota bentik, serta melakukan karakterisasi granulometri sedimen secara sistematis guna memahami mekanisme distribusi Pb secara lebih komprehensif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sri Seprianto Maddusa, SKM., M.Kes. dan Prof. dr. Vennetia Ryckerens Danes, M.Sc., Ph.D., Sp. KKLK atas bimbingan dalam penelitian ini; Laboratorium Kementerian Kesehatan Labkesmas Makassar I atas dukungan analisis ICP-MS; serta masyarakat Kecamatan Ratatotok yang telah memfasilitasi pengambilan sampel di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Australian and New Zealand Governments Initiative (ANZG). (2020). Toxicant Default Guideline Values for Sediment Quality. In Australia and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality. <https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/guideline-values/default/water-quality-toxicants>
- Fathona, S. (2023). Studi Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) di Perairan Utara Kabupaten Belitung [Tugas Akhir]. Institut Teknologi Bandung. <https://digilib.itb.ac.id/>
- Jomova, K., Alomar, S. Y., Nepovimova, E., Kuca, K., & Valko, M. (2025). Heavy metals: toxicity and human health effects. *Archives of toxicology*, 99(1), 153-209.
- Li, X., Ye, J., Wang, H., Chen, Y., & Zhou, Z. (2025). Spatial Distribution and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediment Around the Coastal Oyster Reefs in Guangdong, China. *Marine Pollution Bulletin*, 222, 118609. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118609>
- Maddusa, S., Asrifuddin, A., & Mantjoro, E. (2022). Public Health Risk Analysis Due to Consuming Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) Containing Heavy Metals in Bakan Village, Lolayan District, Bolaang Mongondow Regency. *International Journal of Community Medicine and Public Health*, 10(1), 45. <https://doi.org/10.18203/2394-6040.ijcmph20223524>
- Mishra, P., Ali, S., Kumar, R., & Shekhar, S. (2025). Global Lead Contamination in Soils, Sediments, and Aqueous Environments: Exposure, Toxicity, and Remediation. *Journal of Trace Elements and Minerals*, 14, 100259. <https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2025.100259>
- Puskesmas Ratatotok. (2025). Laporan 10 Penyakit Terbanyak Puskesmas Ratatotok. Minahasa Tenggara: Puskesmas Ratatotok.
- Que, W., Yi, L., Wu, Y., & Li, Q. (2024). Analysis of Heavy Metals in Sediments with Different Particle Sizes and Influencing Factors in a Mining Area in Hunan Province. *Scientific Reports*, 14, 20654. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71502-3>
- Schneider, A., Meili, M., & Nilsson, M. (2021). Sediments as Secondary Sources of Heavy Metals Due to Resuspension Processes. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 107, 123–130. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03254-9>

- Simatupang, M. M., Veronika, E., Irfandi, A., & Azteria, V. (2024). Potential Impacts of Lead on Health: A Review of Environmental Exposure, Population at Risk, and Toxic Effects. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 16(3), 277–288. <https://doi.org/10.20473/jkl.v16i3.2024.277-288>
- Tongkotow, E., Pati, A., & Posumah, D. (2023). Konflik pada Pertambangan Emas Tanpa Izin di Kecamatan Rataotok Kabupaten Minahasa Tenggara. *Jurnal Sam Ratulangi Politics Review*, 1(1), 12.
- Wang, Y., Liu, X., Zhang, H., & Chen, L. (2022). Impacts of Sand Mining on Heavy Metal Remobilization in Riverine and Coastal Sediments. *Environmental Pollution*, 308, 119638. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119638>
- Wilkin, R. T. (2025). Source Apportionment of Lead in Watershed Sediments Influenced by Mineral Weathering. *ACS Environmental Au*. <https://doi.org/10.1021/acsenvironau.4c00052>
- World Health Organization (WHO). (2024). Lead Poisoning. Fact sheet. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>