

ANALISIS RISIKO EKOLOGIS CROMIUM (Cr) PADA SEDIMEN DAN KERANG DI TELUK MANADO

Brigita C. Winerungan^{1*}, Sri Seprianto Maddusa², Ricky Sondakh³

S1 Kesehatan Masyarakat, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Sam Ratulangi Manado^{1,2,3}

*Corresponding Author : brigitawinerungan121@student.unsrat.ac.id

ABSTRAK

Penelitian menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan Ecological Risk Assessment (ERA). Sampel sedimen diambil dari 10 titik lokasi, sedangkan kerang dari 3 titik lokasi. Analisis laboratorium dilakukan dengan metode Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). Hasil penelitian menunjukkan rata-rata konsentrasi Cr dalam sedimen sebesar 1,63 mg/kg, jauh di bawah ambang batas TEL (52,3 mg/kg) dan PEL (160 mg/kg). Nilai Ecological Risk Factor (Er) sebesar 1,97 dan Pollution Load Index (PLI) sebesar 0,86 mengindikasikan risiko ekologis pada sedimen sangat rendah. Namun, rata-rata kandungan Cr dalam kerang mencapai 0,18 mg/kg, melebihi ambang batas WHO/FAO (0,1 mg/kg). Kesimpulannya, meskipun risiko ekologis pada sedimen rendah, kandungan Cr dalam kerang berpotensi menimbulkan risiko kesehatan manusia melalui konsumsi biota laut. Kandungan Cromium (Cr) pada sedimen dan kerang di Teluk Manado masih berada dalam ambang batas aman, dengan risiko ekologis rendah dan tidak menunjukkan indikasi pencemaran berdasarkan nilai PLI.

Kata kunci : kromium, kerang, risiko ekologis, sedimen, Teluk Manado

ABSTRACT

Sediment samples were collected from 10 locations and shellfish from 3 sites. Laboratory analysis employed the Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) method. Results showed that the average Cr concentration in sediments was 1.63 mg/kg, far below the TEL (52.3 mg/kg) and PEL (160 mg/kg) thresholds. The Ecological Risk Factor (Er) was 1.97 and the Pollution Load Index (PLI) was 0.86, indicating very low ecological risk in sediments. However, the average Cr content in shellfish reached 0.18 mg/kg, exceeding the WHO/FAO limit of 0.1 mg/kg. In conclusion, while ecological risk in sediments is low, the Cr concentration in shellfish poses potential health risks to humans through seafood consumption. Chromium (Cr) levels in sediment and shellfish in Manado Bay are within safe limits, with low ecological risk and no indication of pollution based on the PLI value.

Keywords : chromium, shellfish, ecological risk, sediments, manado bay

PENDAHULUAN

Teluk Manado, yang terletak di Sulawesi Utara, Indonesia, sebagai salah satu kawasan yang memiliki nilai ekologis dan ekonomi yang sangat tinggi. Kawasan ini merupakan bagian penting dari ekosistem pesisir yang memiliki keanekaragaman hayati, menjadikannya rumah bagi berbagai spesies laut. Kota Manado ini dilintasi oleh lima sungai besar, yaitu Sungai Tondano, Sungai Bailang, Sungai Tikala, Sungai Sario, dan Sungai Malalayang, yang bermuara ke Teluk Manado. Perairan Teluk Manado merupakan perairan yang memiliki tingkat aktivitas manusia yang cukup tinggi, baik secara langsung maupun tidak, seperti penangkapan ikan, transportasi, dan pariwisata, serta aktivitas di daerah perkotaan. Perairan di teluk ini berisiko terkontaminasi oleh zat-zat pencemar akibat aliran limbah yang berasal dari aktivitas perkotaan yang bermuara ke kawasan tersebut (Ronoko, dkk. 2019). Namun semakin berkembangnya kawasan industri di daerah pesisir, pencemaran limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri juga semakin banyak, kondisi ini dapat mengancam ekosistem yang ada di kawasan pesisir dan secara tidak langsung juga mengancam kesehatan manusia karena sifat logam berat yang tidak bisa terurai dan mudah terakumulasi (Nuraini, R. A. T., Endrawati, H., & Maulana, I. R. 2017).

Teluk ini juga menyediakan sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan manusia, terutama dalam sektor perikanan, pariwisata, dan perdagangan (Hudha, dkk. 2019). Logam seperti kromium (Cr), arsen (As), mangan (Mn), besi (Fe), seng (Zn), merkuri (Hg), tembaga (Cu), timbal (Pb), dan kadmium (Cd) adalah polutan yang dapat mencemari perairan dan berbahaya bagi organisme akuatik. Banyak spesies laut, termasuk ikan, udang, kepiting, dan kerang, terkontaminasi oleh logam berat ini yang terkandung dalam air dan sedimen (Akbar & Rahayu, 2023). Air laut merupakan suatu komponen yang berinteraksi dengan lingkungan daratan. Air laut menjadi tempat penerimaan polutan (bahan cemar) dari daratan maupun yang jatuh dari atmosfer. Limbah yang mengandung polutan akan masuk ke dalam ekosistem perairan pantai dan laut, sebagian larut dalam air, sebagian tenggelam ke dasar dan terkonsentrasi ke sedimen, dan sebagian masuk ke dalam jaringan tubuh organisme laut (kerang, ikan, udang, cumi-cumi, fitoplankton, rumput laut) (Nur, F., & Karneli, K. 2015). Sungai sebagai salah satu komponen lingkungan yang mempunyai fungsi penting bagi kehidupan manusia termasuk untuk menunjang keseimbangan lingkungan. Sebagai akibat adanya peningkatan pembangunan diberbagai bidang maka baik secara langsung maupun tidak langsung akan mempunyai dampak terhadap kerusakan lingkungan termasuk di dalamnya pencemaran sungai yang berasal dari limbah domestik maupun non domestik seperti pabrik dan industri. Oleh karena itu, pencemaran air sungai dan lingkungan sekitarnya perlu dikendalikan seiring dengan laju pembangunan agar fungsi sungai dapat dipertahankan kelestariannya (Wijayanti, T. 2017).

Pencemaran logam berat terhadap lingkungan merupakan suatu proses yang erat hubungannya dengan penggunaan logam tersebut oleh manusia. Pencemaran lingkungan oleh logam berat dapat terjadi jika industri yang menggunakan logam tersebut tidak memperhatikan keselamatan lingkungan, terutama saat membuang limbahnya. Logam-logam tertentu dalam konsentrasi tinggi akan sangat berbahaya bila ditemukan di dalam lingkungan (air, tanah, dan udara). Pencemaran lingkungan dapat terjadi baik di udara maupun di air. Pencemaran yang terjadi di aliran sungai dapat di akibatkan oleh bahan pencemar yang masuk ke dalam aliran sungai tersebut. Salah satu bahan pencemar yang masuk yaitu logam berat (Mabuat, J. C., Maddusa, S. S., & Boky, H. 2017). Keberadaan logam berat dalam air mempengaruhi kehidupan biota air karena kemampuan biota dalam mengakumulasi logam berat yang ada di dalam air, juga keberadaan logam berat yang menumpuk pada air dan sedimen akan masuk ke kehidupan organisme di dalamnya, logam berat pada konsentrasi tertentu akan terakumulasi ke dalam air, biota serta sedimen pada perairan tersebut, dan dapat menimbulkan efek toksik terhadap organisme di dalamnya (Sembel, 2015).

Penilaian terhadap risiko ekologis sangat penting untuk mengukur sejauh mana keberadaan kromium di lingkungan laut dapat berdampak pada ekosistem. Dengan pendekatan ilmiah yang mencakup pengukuran konsentrasi kromium dalam sedimen dan kerang serta perhitungan indeks risiko ekologis, dapat diperoleh gambaran yang lebih akurat mengenai potensi dampak lingkungan yang terjadi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis risiko ekologis kromium (Cr) pada sedimen dan kerang di Teluk Manado sebagai dasar untuk pengelolaan lingkungan pesisir yang berkelanjutan dan perlindungan terhadap kesehatan ekosistem serta masyarakat yang bergantung pada sumber daya laut tersebut. Analisis risiko ekologis bertujuan untuk mengevaluasi potensi dampak negatif dari berbagai ancaman terhadap ekosistem, organisme, dan kesehatan manusia. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi bahaya yang dapat muncul akibat pencemaran atau gangguan lingkungan lainnya (Sukarjo, dkk 2021).

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif dengan desain survei. Populasi penelitian adalah sedimen dan kerang yang terdapat di perairan Teluk Manado, Sulawesi Utara.

Sampel terdiri dari sedimen yang di ambil pada 10 titik lokasi dan kerang (kepah, tiram batu, dan kerang darah) yang dikumpulkan dari 3 titik lokasi. Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk mengetahui kadar kromium pada sedimen dan kerang, serta dievaluasi menggunakan parameter *Ecological Risk* (Er) dan *Pollution Load Index* (PLI).

HASIL

Tabel 1. Kadar Kromium (Cr) pada Kerang di Teluk Manado

Titik Sampel	Jumlah Kerang	Konsentrasi Cromium (mg/kg)	NAB(mg/kg)
Titik 1 Pantai Molas	200gr	0,21	0,1
Titik 3 DAS Tondano	200gr	0,10	
Titik 8 Sungai Malayang	200gr	1,24	
Rata-rata		0,18	

Berdasarkan tabel 1, dapat diketahui bahwa pada titik 1 diperoleh kadar kromium yaitu 0,21 mg/kg, pada titik 3 yaitu 0,10 mg/kg, dan untuk titik 8 diperoleh nilai kadar kromium yaitu 1,24 mg/kg. Kemudian diperoleh nilai rata-rata dari ketiga sampel tersebut yaitu 0,18 mg/kg. Dengan demikian hasil pemeriksaan sampel kerang ketiga titik diatas melebihi nilai ambang batas oleh WHO/FAO .

Tabel 2. Kadar Kromium (Cr) pada Sedimen di Teluk Manado

Titik sampel	Jumlah sampel	Konsentrasi Timbal mg/kg	NOAA Sedimen Quality
Titik 1	200 mg/kg	1,67	52,3
Titik 2	200 mg/kg	0,84	
Titik 3	200 mg/kg	1,54	
Titik 4	200 mg/kg	0,50	
Titik 5	200 mg/kg	3,66	
Titik 6	200 mg/kg	0,71	
Titik 7	200 mh/kg	5,27	
Titik 8	200 mg/kg	1,36	
Titik 9	200 mh/kg	1,17	
Titik 10	200 mg/kg	1,54	
Rata-rata		1,63	

Berdasarkan pada tabel 2, menjelaskan bahwa pada titik 1 diperoleh kadar kromium sebesar 1,67, pada titik 2 kadar kromium yang terseteksi adalah 0,84, kadar kromium yang ditemukan pada titik 3 adalah 1,54, pada titik 4 dipoeroleh kadar kromium tercatat sebesar 0,50,

kadar kromium di titik 5 tercatat 3,66, hasil pemeriksaan pada titik 6 menunjukkan kadar kromium 0,71, hasil pemeriksaan pada titik 7 menunjukkan hasil kadar kromium 5,27, hasil pemeriksaan pada titik 8 menunjukkan hasil kadar kromium 1,36, hasil pemeriksaan pada titik 9 kadar kromium yaitu 1,17 dan untuk pemeriksaan di titik 10 menunjukkan hasil kadar 1,54 dari hasil pengujian pada seluruh 10 titik sampel sedimen, diketahui bahwa seluruh kadar kromium berada di bawah ambang batas maksimum. Dengan demikian, sampel sedimen yang diuji pada semua titik tersebut tidak menunjukkan adanya pencemaran logam berat yang membahayakan, dan masih aman.

Ecological Risk (Er)

Faktor risiko ekologis merupakan indeks untuk mengukur potensi risiko ekologi yang diakibatkan oleh polutan.

Tr = Faktor respon toksik untuk elemen yang sudah ada, Cr = 2

CF = Faktor kontaminasi

Cs = Nilai Mean kadar logam pada Lokasi sampling

Cb = Nilai acuan Pb = 90

Indeks beban polusi (Pollution Load Index (PLI))

Indeks beban polusi merupakan indeks gabungan untuk mengetahui beban polusi pada sedimen. Indeks ini dapat digunakan untuk evaluasi polusi di sedimen akibat logam berat, dengan menggunakan rumus PLI : (Fadlillah, dkk. 2022) :

PLI = Indeks beban pencemaran

CF = Faktor Kontaminan Logam Berat

n = Jumlah Logam Berat

Cs = Konsentrasi logam berat yang terdeteksi pada masing-masing titik

Cb = Nilai acuan (background) dari logam berat. Dalam kasus ini, Cb untuk Kromium adalah 90 mg/kg.

Sumber : Mulyaningsih & Suprapti, (2016)

PEMBAHASAN

Kadar Kromium (Cr) pada Sedimen di Teluk Manado

Wilayah perairan Teluk Manado semakin meningkat, sejalan dengan pembangunan di Kota Manado, baik dilihat dari fungsi ekonomi dan ekologis. Wilayah Teluk Manado menempatkannya sebagai salah satu perairan yang memberikan kontribusi cukup signifikan untuk kegiatan pariwisata, transportasi, industri dan kegiatan lainnya. Sebagai perairan pantai, kondisinya sangat dipengaruhi oleh lingkungan disekitarnya, aktivitas pelabuhan yang tidak terkontrol, buangan bahan bakar dari armada transportasi laut, sampah dari penduduk sekitar, limbah-limbah dari berbagai industri serta bahan pencemar lainnya yang masuk ke Teluk Manado dapat mengakibatkan perubahan terhadap kualitas air laut di perairan ini (Patty dkk, 2019).

Tingginya kadar Cr di titik 7 karena di titik ini terletak di pusat Kota Manado dekat dengan aktivitas perkotaan, di kelilingi oleh berbagai aktivitas manusia termasuk hotel yang di depan tempat pengambilan sampel, sampingnya juga terdapat banyak rumah makan dan supermarket, serta transportasi komersial dan industri kecil serta terdapat aktivitas nelayan menjadi sumber masuknya polutan logam berat ke perairan Teluk Manado. Tingginya dari aktivitas masyarakat menyebabkan meningkatnya volume sampah di kawasan tersebut seperti limbah plastik, kemasan makanan hingga terbawa sampai ke laut, limbah domestik dan limbah cair dari hotel yang terdekat. Cr dalam lingkungan perairan dapat berakumulasi dalam sedimen melalui pengendapan partikel tersuspensi yang mengandung logam berat. Logam berat dalam sedimen

dapat terakumulasi secara perlahan dan membentuk potensi resuspensi ke kolom air akibat aktivitas gelombang, pasang surut, atau intervensi manusia seperti pengerukan. Akumulasi jangka panjang ini berisiko bagi organisme bentik dan biota yang berinteraksi langsung dengan substrat sedimen (Imanuel, T Pelle dkk, 2022). Lebih jauh lagi, Cr yang tersimpan di sedimen bisa masuk ke rantai makanan jika terserap oleh biota seperti kerang dan ikan. Sebagaimana ditunjukkan dalam penelitian ini, meskipun nilai Cr dalam sedimen rendah, kadar Cr dalam jaringan kerang melebihi ambang konsumsi aman WHO/FAO, menunjukkan bahwa bioakumulasi tetap terjadi, dan mengindikasikan adanya kontaminasi kronis dari lingkungan sekitarnya (Ainun dkk., 2021).

Analisis Risiko Ekologis pada Sedimen

Penilaian terhadap risiko pencemaran logam berat dalam ekosistem dilakukan tidak hanya melalui pengukuran konsentrasi, tetapi juga dengan pendekatan kuantitatif terhadap potensi risiko ekologis melalui perhitungan Ecological Risk Factor (Er) dan Pollution Load Index (PLI). Dalam penelitian ini, kedua pendekatan tersebut digunakan untuk mengevaluasi tingkat pencemaran kromium (Cr) pada sedimen di Teluk Manado. Analisis risiko ekologis menggunakan metode Ecological Risk Factor (Er) memberikan gambaran tentang potensi risiko pencemaran logam berat terhadap lingkungan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa seluruh titik pengambilan sampel di Teluk Manado memiliki nilai Er yang berkisar antara 1,9414 hingga 1,9944, dengan rata-rata 1,9797.

Berdasarkan klasifikasi risiko dari nilai $Er < 40$ menunjukkan kategori risiko sangat rendah. Dengan demikian, sedimen di Teluk Manado tidak menunjukkan adanya ancaman ekologis yang signifikan akibat kontaminasi Cr. Hal ini diperkuat oleh nilai CF yang sangat kecil (rata-rata 0,0203), sehingga kontribusi Cr terhadap indeks risiko ekologis sangat minim. Namun, penting untuk dicatat bahwa risiko ekologis yang sangat rendah tidak berarti bebas risiko dalam jangka panjang. Jika terjadi peningkatan input pencemar akibat aktivitas antropogenik yang tidak terkendali, maka akumulasi secara perlahan bisa meningkatkan CF dan Er di masa depan. Dalam penelitian ini, nilai PLI untuk sedimen di Teluk Manado adalah 0,207, yang mengindikasikan bahwa wilayah ini masih berada dalam kategori tidak tercemar oleh kromium (Cr) karena nilai $PLI < 1$. Hal ini berarti belum terjadi akumulasi logam berat secara signifikan di sedimen yang dapat membahayakan keseimbangan ekosistem bentik atau biota dasar laut.

Penelitian di berbagai perairan pesisir Indonesia menunjukkan bahwa konsentrasi kromium (Cr) di sedimen sering berada di bawah ambang batas risiko ekologis. Misalnya, dalam penelitian dari (Najamuddin dkk (2024)) ditemukan bahwa di Teluk Ternate, kadar Cr dalam sedimen tercatat sekitar 14,0 mg/kg, berada di bawah ambang perlindungan biota laut menurut standar CCME sekitar 80 mg/kg. Kondisi ini mencerminkan situasi serupa di Manado kadar kromium (Cr) rendah, sehingga nilai risiko ekologis tetap rendah. Dengan demikian kadar sedimen masih rendah di Teluk Manado karena kombinasi dari input antropogenik (buatan) yang tidak besar, kemampuan penahanan sedimen baik fisik maupun kimia, serta kondisi lingkungan lokal yang tidak secara ekstrem merangsang pelepasan atau perubahan bentuk kromium menjadi bentuk yang lebih toksik.

Alasan tingginya ambang batas alami ini termasuk sumber utama Cr yang bersifat geologis (erosi batuan chromium, lapisan ultramafik), dimana bentuk yang dominan adalah Cr(III) yang kurang bioavailabel dan relatif tidak toksik (Díaz de Alba dkk., 2021). Di daerah ultramafik seperti Sulawesi Utara sedimen mengandung Cr(III) teradsorpsi sebagai Fe oxyhydroxide atau phyllosilicates, menjadikannya tidak mudah terlarut atau diserap organisme (Merrot dkk., 2022). Secara alami, kromium di lingkungan laut berasal dari pelapukan geologis batuan mengandung kromit, yang menghasilkan Cr(III) dalam jumlah moderat dan stabil dalam sedimen (Elvina, Rahardjo and Kisworo, 2024). Di sisi lain, sumber antropogenik seperti

industri pemrosesan logam, electroplating, textile tanning, dan pelapisan logam memasukkan bentuk hexavalent chromium (Cr(VI)), yang sangat toksik dan lebih mudah larut di lingkungan (misalnya limbah industri, pelapisan, cat). Oleh karena itu, meskipun Cr memang ada, ia lebih banyak berasal dari sumber geologis alami, bukan limbah industri kontemporer, sehingga sedimen Manado tergolong rendah kontaminasinya.

Kadar Kromium pada Kerang

Kromium (Cr) merupakan salah satu logam berat yang umum ditemukan di lingkungan laut, terutama di wilayah pesisir yang terpapar aktivitas antropogenik seperti industri, domestik, pelabuhan, dan pertanian. Dalam perairan laut, Cr dapat larut dalam air atau terakumulasi dalam sedimen dan kemudian masuk ke rantai makanan melalui proses bioakumulasi oleh organisme seperti kerang. Kerang, khususnya jenis-jenis bivalvia seperti *Saccostrea Echinata* dikenal sebagai bioindikator yang baik terhadap keberadaan logam berat karena memiliki kemampuan menyaring partikel dari air laut dan menyimpan zat pencemar dalam jaringan lunaknya. Selama proses ini, mereka tidak hanya memakan plankton, tetapi juga secara tidak langsung menyerap logam berat yang terlarut dalam air dan terkandung dalam partikel tersuspensi. Bioakumulasi ini menjelaskan mengapa kandungan logam berat dalam tubuh kerang dapat jauh melebihi ambang batas, meski konsentrasi logam di sedimen rendah. Oleh karena itu, jika kandungan Cr dalam air atau sedimen meningkat, maka hal ini akan tercermin dalam tingginya kadar Cr dalam jaringan kerang (Kusumawati dkk., 2020).

Faktor selanjutnya yaitu perbedaan mekanisme metabolisme dan ekskresi pada kerang. Bivalvia memiliki keterbatasan dalam mengekresikan logam berat tertentu, sehingga logam seperti Pb (timbal), Cd (kadmium), atau Cr (kromium) cenderung terakumulasi di dalam jaringan mereka. Maka, meskipun sedimen di Manado tergolong aman secara ekologis ($Er < 40$ dan $PLI < 1$), kadar Cr pada kerang tetap tinggi karena bioakumulasi dari kolom air, bukan semata dari sedimen. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium, kadar Cr pada kerang yang ditemukan berkisar 0,10–0,24 mg/kg, dengan rata-rata 0,18 mg/kg. Nilai ini melebihi ambang batas aman yang direkomendasikan WHO/FAO sebesar 0,1 mg/kg, yang berarti konsumsi rutin kerang dari wilayah ini berpotensi menimbulkan risiko kesehatan, terutama jika dikonsumsi dalam jumlah besar dalam jangka panjang.

Sumber Pencemaran Kromium Alami dan Antropogenik di Teluk Manado

Sumber Alami

Sumber alami yang mempengaruhi pencemaran kromium adalah (Damanik dkk. 2024) Salah satunya adalah faktor geologi, khususnya keberadaan batuan ultramafik atau ofiolit. Di wilayah Sulawesi, jenis batuan ini cukup banyak ditemukan dan secara alami mengandung mineral kromium, terutama kromit. Ketika batuan tersebut mengalami proses pelapukan akibat cuaca seperti curah hujan, oksidasi, maupun fluktuasi suhu kandungan kromium di dalamnya dapat terlepas ke tanah maupun air permukaan. Material hasil pelapukan ini kemudian terbawa aliran air atau longsor lereng menuju sungai, hingga akhirnya mencapai kawasan pesisir dan sedimen laut.

Selain itu, transportasi sedimen alamiah dan proses erosi juga berperan dalam pergerakan kromium. Intensitas hujan yang tinggi serta kondisi topografi yang curam di sekitar Teluk Manado mempercepat terjadinya erosi. Sungai-sungai kecil yang mengalir dari daratan membawa partikel tanah dan sedimen yang mengandung mineral kromium menuju muara dan pesisir. Dalam kondisi tertentu, seperti gelombang besar, pasang-surut, maupun perubahan muka air laut, sedimen yang telah lama terendapkan dapat teraduk kembali dan melepaskan kromium ke kolom perairan. Setelah terendapkan, kromium umumnya terikat dalam bentuk Cr(III) yang relatif stabil dan sulit larut. Namun, pada kondisi lingkungan yang bersifat oksidatif, atau dengan adanya agen pengoksidasi seperti oksigen terlarut tinggi dan mangan

oksida, Cr(III) dapat berubah menjadi Cr(VI) yang lebih mobil dan berpotensi mencemari lingkungan. Faktor-faktor lingkungan lainnya, termasuk pH, kadar oksigen terlarut, kandungan bahan organik, aktivitas mikroba, serta kondisi redoks (oksidasi–reduksi), juga berpengaruh besar terhadap mobilitas dan ketersediaan hayati (bioavailabilitas) kromium di ekosistem perairan.

Sumber Antropogenik (Buatan/Manusia)

Sumber antropogenik yang menyebabkan pencemaran kromium antara lain (Widyarani dkk. 2022) Salah satu sumber utama berasal dari limbah domestik dan pemukiman. Air limbah rumah tangga yang mengandung sisa cat, deterjen, atau logam dari peralatan rumah tangga dapat masuk ke sistem drainase, terbawa menuju sungai, hingga akhirnya bermuara ke laut. Jika sistem pengolahan limbah kota tidak berfungsi dengan baik, maka sebagian besar limbah ini akan langsung mencapai pesisir. Jenis limbah rumah tangga yang berpotensi membawa kromium antara lain kemasan cat bekas, baterai bekas, kabel, plastik berwarna, serta barang-barang perabotan yang sudah tidak terpakai. Selain itu, aktivitas pelabuhan dan transportasi laut juga menjadi sumber pencemaran kromium. Proses perawatan kapal, termasuk pembersihan bodi dan pembuangan oli atau bahan pelapis logam ke laut, semakin meningkatkan risiko masuknya kromium ke perairan.

Pembangunan di sekitar kawasan pesisir, seperti pengurukan, pengerukan, dan reklamasi pantai, turut memberikan kontribusi. Kegiatan tersebut dapat mengganggu sedimen alami, mengangkat lapisan sedimen lama yang mungkin menyimpan kromium, dan kemudian melepaskannya kembali ke dalam air laut. Sumber antropogenik lainnya adalah sampah logam atau limbah padat. Berbagai material yang mengandung kromium, seperti logam bekas, cat, peralatan elektronik, dan komponen rumah tangga, jika dibuang sembarangan dan mengalami degradasi atau korosi, akan melepaskan partikel kromium ke lingkungan. Partikel ini dapat terbawa aliran air hujan atau limpasan permukaan, sehingga akhirnya masuk ke sungai dan laut.

KESIMPULAN

Kadar Cr pada sedimen Teluk Manado rata-rata 1,63 mg/kg, masih jauh di bawah ambang batas TEL dan PEL, dengan risiko ekologis rendah. Namun, kadar Cr pada kerang rata-rata 0,18 mg/kg, melebihi ambang batas WHO/FAO, sehingga berpotensi menimbulkan risiko kesehatan manusia. Perlu pemantauan rutin terhadap kualitas lingkungan dan biota konsumsi di Teluk Manado, serta pengendalian sumber pencemar dari daratan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih yang tulus penulis sampaikan kepada pembimbing skripsi I dan pembimbing II, yang dengan penuh kesabaran, perhatian, dan keikhlasan telah membimbing dan memberikan arahan yang sangat berarti bagi penulis. Bimbingan dari pembimbing tidak hanya memperkaya pengetahuan, tetapi juga memotivasi penulis untuk terus berkarya dan belajar lebih baik. Semoga segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan mendapatkan balasan kebaikan dari Tuhan Yang Maha Esa.

DAFTAR PUSTAKA

Ainun, N. H., Gafur, A., & Abbas, H. H. (2021). Bioakumulasi Logam Berat Chromium (Cr) dan Cadmium (Cd) pada Sedimen dan Kerang (*Anadara Sp.*) di Muara Sungai Tallo Kota Makassar. *Window of Public Health Journal*, 2(3), 522-535.

- Akbar, S. A., & Rahayu, H. K. (2023). Tinjauan Literatur : Bioakumulasi Logam Berat Pada Ikan di Perairan Indonesia. *Lantanida Journal*, 52.
- Damanik, A., Wille, M., Ahmad, Q., Chatterjee, S., Crowe, S. A., Bauer, K. W., ... & Vogel, H. (2024). *Low Mo mobility during the laterization of ultramafic bedrock: Evidence from the East Sulawesi Ophiolite, Indonesia. Chemical Geology*, 660, 122150.
- Díaz de Alba, M. dkk. (2021) 'Comprehensive assessment and potential ecological risk of trace element pollution (As, ni, co and cr) in aquatic environmental samples from an industrialized area', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(14). Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph18147348>.
- Elvina, W., Rahardjo, D. and Kisworo, K. (2024) 'Pola Sebaran Cemar Krom (Cr) Pada Air, Sedimen, Dan Tanaman Air Di Bagian Hilir Sungai Opak', *Biospecies*, 17(1), pp. 49–55. Available at: <https://doi.org/10.22437/biospecies.v17i1.31637>.
- Fadlillah, L. N., Indrastuti, A. N., Azahra, A. F., & Widyastuti, M. (2022). Evaluasi Level Toksik Logam Berat pada Air, Sedimen Tersuspensi, dan Sedimen Dasar di Sungai Winongo, D.I.Yogyakarta. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 30-32
- Hudha, N., Rondonuwu, D. M., & Suryono. (2019). Kajian Pengembangan Pesisir Teluk Manado Sebagai Kota Tepi Pantai. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 803.
- Immanuel, T., Pelle, W. E., Schadow, J. N., Paulus, J. J., Rumampuk, N. D., & Sangari, J. R. (2022). Bentuk Dan Sebaran Mikroplastik Di Sedimen Dan Kolom Air Perairan Teluk Manado Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah PLATAX*, 10(2), 336-343.
- Mabuat, J. C., Maddusa, S. S., & Boky, H. (2017). Analisis Kandungan Logam Berat Arsen (As) Pada Air, Ikan, Kerang, Dan Sedimen Di Daerah Aliran Sungai Tondano Tahun 2017. *Kesmas*, 6(3).
- Mulyaningsih, R., & Suprpti, S. (2016). Penaksiran Kontaminasi Logam Berat dan Kualitas Sedimen Sungai Cimadur, Banten. *Iptek Nuklir Ganendra*, 14.
- Nur, F., & Karneli, K. (2015). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Kerang Kima Sisik (*Tridacna squmosa*) di Sekitar Pelabuhan Feri Bira. In *Prosiding Seminar Nasional Biologi* (Vol. 1, No. 1).
- Nuraini, R. A. T., Endrawati, H., & Maulana, I. R. (2017). Analisis kandungan logam berat kromium (Cr) pada air, sedimen dan kerang hijau (*Perna viridis*) di perairan Trimulyo Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 20(1), 48-55.
- Patty, S., Rizki, M. P., Rifai, H., & Akbr, N. (2019). Kajian Kualitas Air dan Indeks Pencemaran Perairan Laut di Teluk Manado Ditinjau dari Parameter Fisika - Kimia Air Laut. *Ilmu Kelautan Kepulauan*, 2.
- Ronoko, S. R., Karwur, D. B., & Lasut, M. T. (2019). Kontaminasi di Teluk Manado, Sulawesi Utara, Indonesia. *Journal of Aquatic Science & Management*, 1.
- Sembel, DT. 2015. Toksikologi Lingkungan Dampak Pencemaran dari Berbagai Bahan Kimia dalam Kehidupan Sehari – hari. Yogyakarta: Penerbit Andi
- Sukarjo, Zulaehah, I., Harsanti, E. S., & Ardiwinata, A. N. (2021). Penilaian Spasial Potensi Risiko Ekologis Logam Berat di Lapisan Olah Tanah Sawah DAS Serayu Hilir, Jawa Tengah. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 45(1), 69-77.
- Widyarani, Wulan, D. R., Hamidah, U., Komarulzaman, A., Rosmalina, R. T., & Sintawardani, N. (2022). *Domestic wastewater in Indonesia: generation, characteristics and treatment. Environmental Science and Pollution Research*, 29(22), 32397-32414.
- Wijayanti, T. (2017). Profil pencemaran logam berat pada perairan daerah aliran sungai (DAS) Grindulu Pacitan. *Jurnal Ilmiah Sains*, 19-25.