

SKRIPSI

BIOAKUMULASI LOGAM BERAT KADMIUM (Cd) DAN KROMIUM (Cr) PADA KERANG BAKALANG (*MARCIA Hiantina. L*) DI PERAIRAN SELAT MAKASSAR TAHUN 2026



Oleh

**Rizma juwita
141 2022 0116**

**Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk
memperoleh gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat**

**PEMINATAN KESEHATAN LINGKUNGAN
PROGRAM STUDI KESEHATAN MASYARAKAT
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS MUSLIM INDONESIA
MAKASSAR
2026**

PENGESAHAN TIM PENGUJI

Bioakumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) pada
Kerang Bakalang (*Marchia Hiantina L*) di Perairan Selat Makassar
Tahun 2026

Rizma Juwita

14120220116

Telah diujikan pada tanggal 10 Maret 2026
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

Ketua : Dr. Abd. Gafur, SKM., M.Kes.

Anggota : Ayu Puspitasari, SKM., M.Kes.

Anggota : Dr. Yuliati, ST., M.Kes.

Anggota : Ulfa Sulaeman, SKM., M.Kes.

Makassar, 7 April 2026
Fakultas Kesehatan Masyarakat

Dekan,



Prof. Dr. Suharni, S.Pd., M.Kes.

FKM UMI

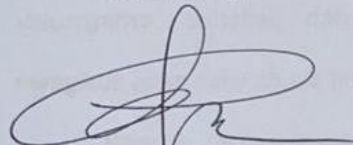
PERSETUJUAN

Skripsi ini telah dipertahankan dihadapan tim penguji ujian skripsi dan disetujui untuk diperbanyak sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Kesehatan Masyarakat pada Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Muslim Indonesia.

Makassar, 10 Maret 2026

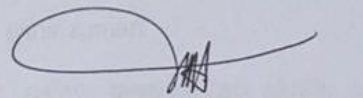
Tim Pembimbing

Pembimbing I



Dr. Abd Gafur, SKM., M.Kes

Pembimbing II



Ayu Puspitasari, SKM., M.Kes

Diketahui

Wakil Dekan I



Dr. Sundari, S.ST., MPH



Dipindai dengan CS

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunianya_Nya kepada penulis sehingga penyusunan skripsi ini dengan judul Bioakumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) Dan Kromium (Cr) Pada Kerang Bakalang (*Marcia Hiantina. L*) Di Perairan Selat Makassar Tahun 2026 dapat diselesaikan sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan di Fakultas Kesehatan Masyarakat (FKM) Universitas Muslim Indonesia. Teriring salam dan shalawat semoga tercurahkan kepada teladan dan junjungan kita Rasulullah Nabil Muhammad SAW, beserta keluarganya, sahabat, dan orang-orang yang senantiasa istiqamah mengikuti jalan dakwahnya hingga akhir zaman.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan yang tak terhingga kepada:

Teristimewa untuk kedua orang tua penulis, Bapa Maslan dan Mama Suharni, penulis mengucapkan terima kasih yang tulus atas segala cinta, doa, dan pengorbanan yang tiada henti. Terima kasih karena selalu percaya pada penulis, bahkan di saat penulis ragu pada dirinya sendiri.

Setiap doa dan kasih sayang kalian menjadi kekuatan yang menuntun langkah penulis hingga sampai di titik ini. Tak pernah ada kata tidak atas segala kebahagiaan, keperluan bahkan keinginan penulis. Segalanya diusahakan, segalanya diberikan dengan harapan bahwa penulis bisa tumbuh dan melangkah lebih jauh dari kalian. Skripsi ini menjadi salah satu wujud kecil dari doa dan perjuangan yang telah kalian iringi. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan keberkahan, kesehatan, untuk bapa dan Mama. Penulis berharap dapat terus melangkah dan menjadi anak yang membanggakan, meskipun penulis sadar tidak akan pernah mampu membalas semua cinta yang telah diberikan.

Selain kepada kedua orang tua, penulis juga ingin menyampaikan terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. Mansyur Ramly, SE., MS. Selaku ketua Pembina Yayasan Wakaf Universitas Muslim Indonesia
2. Bapak Prod. Dr. Hj. Masrurah Mokhtar, MA. Selaku ketua Yayasan Wakaf Universitas Muslim Indonesia.
3. Bapak Prof. Dr. H. Hambali Thalib, SH., MH selaku Rektor Universitas Muslim Indonesia.
4. Ibu Dr. Suharni Andi Fachrin, S.Pd., M.Kes selaku Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Muslim Indonesia
5. Bapak Mansur Sididi, SKM., M.Kes Selaku Ketua Program Studi Kesehatan Masyarakat dan Ibu Ayu Puspitasari, SKM., M.Kes Selaku Sekertaris Program Studi Kesehatan Masyarakat

6. Bapak Dr. Abd. Gafur, SKM., M.Kes, selaku Pembimbing I, dan Ibu Ayu Puspitasari, SKM., M.Kes, selaku Pembimbing II, penulis menyampaikan terima kasih yang tulus dan penuh hormat atas bimbingan, kesabaran, serta kemudahan yang diberikan selama penyusunan skripsi ini. Setiap arahan, perhatian, dan waktu yang Bapak dan Ibu luangkan menjadi kekuatan besar bagi penulis hingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik dan penuh makna.
7. Ibu Dr. Yuliati, ST., M.Kes., selaku Penguji I, dan Ibu Ulfa Sulaeman, SKM., M.Kes., selaku Penguji II, atas kesediaan waktu, perhatian, dan masukan yang diberikan selama proses penyusunan skripsi ini. Saran dan kritik yang disampaikan dengan penuh kepedulian sangat berarti bagi penulis dalam memperbaiki dan menyempurnakan penelitian ini.
8. Kepada saudara penulis, Sarlan Ramadhani, Riska Tasbita dan Nurulaini, serta keponakan tercinta Al Farizqi Ramadan, yang selalu memberikan semangat dan dukungan bagi penulis. Kehadiran kalian menjadi pelipur lelah, sumber motivasi, dan penyemangat tersendiri bagi penulis untuk terus melangkah hingga menyelesaikan studi ini.
9. Kepada keluarga besar Hamri Makkawaru, yang selalu mendukung, mendoakan, dan menyemangati penulis dari jauh. Kasih sayang, perhatian, dan doa kalian menjadi sumber kekuatan yang tak ternilai, yang menenangkan hati di saat lelah dan memberikan semangat di setiap langkah penulis.

10. Kepada Om Sirajuddin dan Tante Harlina, yang telah mendampingi penulis selayaknya anak sendiri selama perantauan ini. Kasih sayang, bimbingan, dan perhatian kalian membuat penulis merasa aman, didukung, dan selalu semangat menghadapi setiap tantangan
11. Kepada Ibu Ummi Kalsum, SKM., M.Kes, atas dukungan, motivasi, dan arahan selama penulis menjadi bagian dari laboratorium dan menyusun skripsi ini. Bimbingan dan nasihat Ibu menjadi semangat bagi penulis untuk menyelesaikan penelitian ini dengan baik, dan akan selalu menjadi bekal berharga dalam perjalanan penulis ke depan.
12. Kepada Shtarla Berkat Maniesya, teman kandung penulis, terima kasih selalu menjadi 911 bagi penulis. Terima kasih karena telah membersamai penulis selama 16 tahun pertemanan yang penuh cerita, tawa, dan juga air mata. Terima kasih karena selalu hadir mendengar, menenangkan, dan menguatkan penulis di setiap suka maupun duka selama proses ini.
13. Kepada Fika Pinrakati dan Muh. Yahya, yang telah membantu dalam proses penelitian ini. Bantuan, kerja sama, dan kebaikan kalian sangat mendukung penulis sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar dan terselesaikan dengan baik.
14. Kepada Adel, imel, Bella, Alya, dan Dila, teman-teman penulis, yang telah mewarnai masa perkuliahan dengan kebersamaan dan semangat. Kehadiran kalian membuat perjalanan studi penulis lebih berarti.

15. Kepada seluruh teman-teman Kesling angkatan 22, teman-teman B6, teman-teman PBL dan Aslab 2025, yang telah mewarnai dan memeriahkan masa perkuliahan penulis.

16. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada diri sendiri, atas keberanian dan ketekunan yang telah dijalani selama perjalanan studi ini. Terima kasih telah tetap sabar menghadapi setiap tantangan, tetap teguh di saat kesulitan, dan tidak menyerah meski jalan terasa berat. Setiap usaha, doa, dan pengorbanan yang telah ditanamkan menjadi bukti bahwa perjalanan ini penuh makna, dan setiap langkah memiliki tujuan. Semoga semua mengingatkan bahwa keberhasilan adalah buah dari kesetiaan terhadap proses dan kepercayaan pada diri sendiri.

Akhirnya penulis menyadari semua bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat serta menambah wawasan ilmu pengetahuan kepada pembaca.

Wassalamualikum warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar , 1 maret 2026

Peneliti

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiii
DAFTAR ISTILAH	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
RINGKASAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	7
C. Tujuan	7
D. Manfaat Penelitian.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
A. Tinjauan Umum Tetang Logam Berat.....	9
B. Tinjauan Umum Tentang Kadmium (Cd)	16
C. Tinjauan Umum Tentang Kromium (Cr).....	21
D. Tinjauan Umum Tentang Kerang.....	26
E. Tijauan Umum Tentang Bioakumulasi.....	33
F. Kerangka teori	39
BAB III KERANGKA KONSEP	48
A. Dasar Pemikiran	48
B. Bagan Kerangka Konsep.....	49
C. Definisi Oprasional dan Kriteria Objek.....	50
BAB IV METODE PENELITIAN	55
A. Jenis Penelitian	55
B. Waktu dan Lokasi Penelitian	55
C. Populasi.....	56
D. Sampel	56
E. Teknik Pengambilan Sampel.....	56
F. Teknik Pengumpulan Data	58
G. Sumber Data	58
H. Prosedur Penelitian	59
I. Metode Pemeriksaan.....	59
J. Prosedur Pemeriksaan Sampel	60
K. Pengolahan dan Analisis Data	63
L. Penyajian Data	64
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	65
A. Gambaran Umum Lokasi Penelitian	65
B. Hasil Penelitian.....	67
C. Pembahasan	75

BAB VI PENUTUP	106
A. Kesimpulan.....	106
B. Saran.....	107
DAFTAR PUSTAKA	108
LAMPIRAN	118

DAFTAR TABEL

No. Tabel	Judul	Halaman
5.1	Titik Pengambilan Sampel Di Perairan Selat Makassar Tahun 2026.....	67
5.2	Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) Pada Kerang Bakalang Di Perairan Selat Makassar Tahun 2026.....	68
5.3	Kandungan Logam Berat Kromium (Cr) Pada Kerang Bakalang Di Perairan Selat Makassar Tahun 2026.....	69
5.4	Kandungan Logam Berat Kromium (Cr) Pada Kerang Bakalang Di Perairan Selat Makassar Tahun 2026.....	70
5.5	Kandungan Logam Berat Kromium (Cr) Pada Air Di Perairan Selat Makassar Tahun 2026.....	71
5.6	Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) Pada Sedimen Di Perairan Selat Makassar Tahun 2026.....	72
5.7	Kandungan Logam Berat Kromium (Cr) Pada Sedimen Di Perairan Selat Makassar Tahun 2026.....	73
5.8	Hasil Perhitungan Faktor Bioakumulasi Kerang Pada Air di Perairan Selat Makassar Tahun 2026.....	74
5.9	Hasil Perhitungan Faktor Bioakumulasi Kerang Pada Sedimen Di Perairan Selat Makassar Tahun 2026.....	75

DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Judul Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Logam Kadmium.....		20
Gambar 2.2 Logam Kromium.....		24
Gambar 2.3 Kerang Bakalang.....		31
Gambar 2.4 Kerang Hijau.....		31
Gambar 2.5 Kerang Darah.....		32
Gambar 2.6 Kerang Bambu.....		33
Gambar 3.1 Bagan Kerangka Konsep.....		49

DAFTAR SINGKATAN

1. WHO : *World Health Organization*
2. FAO : *Food and Agriculture Organization*
3. Mg/kg : Miligram Per Kilogram
4. Mh/L : Miligram Per Liter
5. °C : *Derajat Celcius*
6. Mg/L : Mikrogram Per liter
7. BAF : *Bioaccumulation Factor*
8. BSAF : *Biota-Sediment Accumulation Factor*
9. AAS : Atomic Absorption Spectroscopy
10. pH : Potential of Hydrogen
11. MS : Memenuhi Syarat
12. TMS : Tidak Memenuhi Syarat
13. BDD : Belum Dapat Dievaluasi
14. ANZECC : *Australian and New Zealand Environment and Conservation Council*
15. AMRCANZ : *Agriculture and Resource Management Council Of Australia and New Zealand*

DAFTAR ISTILAH

Bioakumulasi	:Proses penumpukan zat, misal logam berat, dalam jaringan organisme dari lingkungan sekitar
Kerang	:Organisme bivalvia yang dapat mengakumulasi logam berat; indikator kualitas lingkungan
Sedimen	:Material padat yang mengendap di dasar perairan; menjadi reservoir logam berat
Kadmium (Cd)	:Logam berat toksik yang dapat terakumulasi dalam biota
Kromium (Cr)	:Logam berat yang hadir dalam berbagai bentuk; Cr(VI) lebih toksik daripada Cr(III)
Konsentrasi logam	:Jumlah Sampel dalam Logam Berat
Baku Mutu Lingkungan	:Ambang batas logam berat di sedimen atau biota yang ditetapkan lembaga resmi
AAS	:Metode analisis untuk mengukur konsentrasi logam berat.
Faktor Bioakumulasi	:Rasio konsentrasi logam pada organisme dibandingkan lingkungan

DAFTAR LAMPIRAN

1. SK Pembimbing
2. Surat izin penelitian universitas muslim Indonesia
3. Surat Izin Penelitian Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu (PTSP) Provinsi Sulawesi Selatan
4. Surat Izin Penelitian Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu (PTSP)
5. Kode Etik Penelitian
6. Hasil Pemeriksaan Laboratorium Sampel Kerang
7. Hasil Pemeriksaan Laboratorium Sampel Air
8. Hasil Pemeriksaan Laboratorium Sampel Sedimen
9. Surat Keterangan Lulus Plagiasi
10. Keaslian Data
11. Perhitungan Bioakumulasi
12. Peta Tempat Pengambilan Sampel
13. Dokumentasi

RINGKASAN

**Universitas Muslim Indonesia
Fakultas Kesehatan Masyarakat
Program Studi Kesehatan Masyarakat
Peminatan Kesehatan Lingkungan
Skripsi, Maret 2026**

**Rizma Juwita
141202220116**

“Bioakumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) Dan Kromium (Cr) Pada Kerang Bakalang (*Marcia Hiantina. L*) Di Perairan Selat Makassar Tahun 2026”

(CLII + 152 halaman + 12 tabel + 13 Lampiran)

Pencemaran logam berat di perairan pesisir mengancam ekosistem dan kesehatan masyarakat. Secara global, pencemaran air menyebabkan sekitar 1,7–2,2 juta kematian setiap tahun. Logam seperti kadmium dan kromium bersifat toksik dan dapat terakumulasi dalam biota. Kerang bakalang sebagai organisme *filter feeder* berpotensi mengakumulasi logam dari lingkungannya. Penelitian ini bertujuan mengukur kadar Cd dan Cr pada kerang, air, dan sedimen serta menganalisis bioakumulasi (BAF) untuk menilai potensi kerang sebagai bioindikator pencemaran perairan.

Penelitian ini menggunakan metode observasional dengan pendekatan deskriptif untuk menganalisis bioakumulasi logam berat Kadmium dan Kromium pada kerang bakalang, air, dan sedimen di Perairan Selat Makassar. Populasi penelitian meliputi kerang, air, dan sedimen, sedangkan sampel berupa kerang bakalang, air, dan sedimen yang diambil di perairan selat makassar.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi Cd pada kerang berkisar 0,2973–0,4993 mg/kg dan melebihi baku mutu, sedangkan Cr <0,01 mg/kg dan masih memenuhi standar. Konsentrasi Cd pada air <0,003 mg/L dan Cr <0,01 mg/L, sedangkan pada sedimen Cd berkisar <0,003 mg/kg dan Cr 0,9504–6,0875 mg/kg. Nilai BAF Cd dari air (99,1–177,93) dan sedimen (5,874–9,986) termasuk kategori tinggi, sedangkan BAF Cr dari air (1,0) kategori sedang dan dari sedimen (0,0016–0,0105) kategori rendah.

Penelitian ini menunjukkan bahwa kerang memiliki kemampuan bioakumulasi yang lebih tinggi terhadap Kadmium dibandingkan Kromium, yang menandakan Cd lebih mudah terakumulasi dalam jaringan tubuh. Oleh karena itu, kerang berpotensi sebagai bioindikator yang sensitif terhadap pencemaran logam berat, khususnya Kadmium. Oleh karena itu, diperlukan pemantauan rutin, pengendalian sumber pencemar, serta pemanfaatan kerang sebagai indikator kualitas perairan.

Daftar Pustaka : 104

Kata Kunci : Bioakumulasi; kerang bakalang, kadmium, kromium

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perairan pesisir merupakan kawasan peralihan antara daratan dan laut yang rentan terhadap pencemaran karena menjadi titik pertemuan aliran sungai yang membawa berbagai bahan pencemar. Peningkatan jumlah penduduk dan perkembangan kegiatan industri berkontribusi signifikan terhadap penurunan kualitas air, termasuk terjadinya akumulasi logam berat di wilayah pesisir. Kandungan logam berat di lingkungan perairan juga menjadi isu penting karena berpotensi menimbulkan dampak negatif bagi ekosistem akuatik (Razi *et al.*, 2023).

Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian terhadap dampak kesehatan akibat paparan logam berat melalui air minum semakin meningkat. Berbagai studi epidemiologi lingkungan telah memperdalam pemahaman mengenai kompleksitas persoalan ini dengan menunjukkan adanya hubungan yang bermakna antara paparan logam berat dan beragam gangguan kesehatan. Dampak yang dilaporkan meliputi gangguan pada sistem saraf, hambatan dalam proses pertumbuhan dan perkembangan, hingga meningkatnya risiko penyakit kronis seperti kanker sebagai konsekuensi potensial dari paparan tersebut (Robin, 2024).

Logam berat yang mencemari perairan merupakan polutan berbahaya yang dapat mengancam kesehatan manusia. WHO dan FAO merekomendasikan agar hasil laut yang terkontaminasi logam berat tidak dikonsumsi. WHO juga menetapkan batas aman logam berat dalam jaringan hewan air sebesar 1,0 mg/kg (Mahluddin *et al.*, 2022). Secara global, pencemaran air menyebabkan 1,7–2,2 juta kematian setiap tahun (Arora, 2025). Keracunan Cd pernah menyebabkan penyakit *Itai-itai* di Jepang yang ditandai dengan pelunakan tulang, dan Cd telah diklasifikasikan sebagai zat karsinogenik oleh IARC (Pratama, 2022).

Pencemaran logam berat tidak hanya terjadi di badan air, tetapi juga pada sedimen perairan akibat pelepasan limbah domestik, industri, dan aktivitas manusia (Rino *et al.*, 2022). Logam berat yang masuk ke perairan akan mengendap dan terakumulasi pada sedimen, lalu terserap oleh biota laut seperti kerang yang bersifat sesil dan berfungsi sebagai bioindikator. Akumulasi ini berlangsung melalui insang, rantai makanan, atau difusi langsung, kemudian dapat berpindah ke manusia. Proses ini disebut bioakumulasi, yaitu penumpukan logam berat dalam tubuh organisme hingga ratusan kali lebih tinggi dibanding lingkungannya. Paparan logam berat dengan kadar tinggi dapat mematikan biota perairan, sedangkan kadar rendah menyebabkan akumulasi dalam jaringan tubuh (Ainun *et al.*, 2021).

Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia yang terbentang dari 6° LU hingga 10° LS dan 95° BT hingga 142° BT dengan lebih dari 18.000 pulau, memiliki 78% wilayah berupa perairan dan garis pantai sepanjang lebih dari 81.000 km. Kekayaan ini menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara dengan keanekaragaman ekosistem pesisir dan laut tropis tertinggi di dunia. Namun, potensi luar biasa ini kini terancam akibat meningkatnya tekanan dari berbagai aktivitas manusia. Sekitar 75% kota di Indonesia berada di wilayah pesisir, dengan 65% penduduk setara dengan lebih dari 160 juta jiwa tinggal di sepanjang garis pantai. Pencemaran di wilayah pesisir dan laut tidak hanya merusak kehidupan biota akuatik, tetapi juga menurunkan nilai ekonomi hasil laut serta meningkatkan risiko penyebaran penyakit akibat kontaminasi (Akbar & Rahayu, 2023).

Sumber pencemaran domestik termasuk salah satu kontributor utama pencemaran air, terutama terkait dengan pengumpulan dan pembuangan limbah rumah tangga. Limbah ini mengandung mikroba, bahan organik, logam, garam, deterjen, minyak, dan lemak. Jika air limbah diolah dengan baik sebelum dibuang, dampak pencemarannya dapat dikurangi. Studi menunjukkan bahwa tingkat pencemaran akibat limbah domestik sangat tinggi: sekitar 85% pencemaran Sungai Yamuna di India berasal dari limbah rumah tangga, sementara di China dan Bangladesh, limbah domestik, industri, dan pertanian menyebabkan sebagian besar air permukaan dan air tanah menjadi tidak layak pakai,

sehingga menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan bagi masyarakat yang mengandalkan air tersebut (Singh *et al.*, 2024).

Di Kota Makassar, kawasan pesisir khususnya sekitar muara Sungai Jeneberang dan Sungai Tallo serta jaringan kanal kota menunjukkan tingkat pencemaran yang mengkhawatirkan, dengan Lantebung yang berdekatan dengan Selat Makassar sebagai area yang paling berisiko karena berada dekat muara Sungai Tallo dan menjadi tempat akumulasi limbah industri (Hapsa, 2024). Kondisi ini sejalan dengan hasil penelitian pada Sungai Tallo yang dilakukan oleh Jais *et al.* 2020, menemukan kadar logam berat pada ikan mencapai 0,78 -1,11 mg/kg untuk Cd dan hingga 16,90 mg/kg untuk Cr, menegaskan bahwa pencemaran dari hulu sungai benar-benar berdampak pada kualitas perairan pesisir Makassar.

Dalam penelitian ini dipilih dua jenis logam berat, yaitu kadmium (Cd) yang memiliki toksisitas tinggi dan kromium (Cr) dengan tingkat toksisitas sedang. Keduanya tergolong limbah B3 karena berbahaya dan sulit terdegradasi di lingkungan. Cd dan Cr dapat bertahan lama di perairan dan umumnya mengendap menjadi bagian dari sedimen. Endapan ini kemudian dapat melepaskan kembali logam berat ke air, sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran sekunder pada kolom perairan (Jais *et al.*, 2020).

Kerang merupakan salah satu komoditas yang banyak ditemukan di wilayah muara dan pesisir. Selain bernilai ekonomi, kerang

juga dimanfaatkan sebagai sumber protein bagi manusia. Organisme ini memiliki kemampuan tinggi dalam mengakumulasi logam berat dibandingkan hewan air lainnya, karena sifat hidupnya yang menetap serta kebiasaannya memfilter makanan dari air. Selain itu, kerang memiliki respon yang lambat terhadap pencemaran, sehingga sulit menghindari paparan logam berat. Oleh sebab itu, kerang sering digunakan sebagai indikator biologis untuk memantau tingkat pencemaran logam di perairan (Rahmiati *et al.*, 2024).

Kerang Bakalang (*Marcia hiantina*) dipilih karena banyak ditemukan di perairan Selat Makassar yang berdekatan dengan pesisir Bira serta dikonsumsi oleh masyarakat setempat. Sifat hidupnya yang menetap dan cara makannya melalui filtrasi menyebabkan spesies ini berpotensi tinggi mengakumulasi logam berat, sehingga relevan digunakan untuk menilai tingkat pencemaran di wilayah tersebut.

Furaidah *et al.* (2024) menyatakan bahwa kadar kadmium (Cd) di Sungai Donan, Cilacap, bervariasi tergantung lokasi dan musim pengambilan sampel. Kadar Cd dalam air tercatat berada di kisaran 0,005–0,014 mg/L, dengan beberapa titik melebihi ambang baku mutu menurut PP No. 82 Tahun 2001. Sedangkan pada sedimen, kadar Cd lebih tinggi, yakni antara 0,018–0,032 mg/kg, menunjukkan adanya akumulasi logam berat di dasar perairan yang berpotensi terakumulasi dalam biota. Temuan ini menegaskan bahwa Sungai Donan mengalami

pencemaran Cd dengan distribusi yang tidak merata antara air dan sedimen.

Ainun *et al.* (2021) mengemukakan bahwa kadar kromium (Cr) pada sedimen di Muara Sungai Tallo Kota Makassar berada di atas ambang batas acuan lingkungan, sehingga menunjukkan terjadinya akumulasi Cr yang kuat pada dasar perairan. Pada kerang *Anadara sp.*, Cr juga terdeteksi melebihi standar pada titik sampling tertentu, khususnya di stasiun III. Namun nilai *Bio-Concentration Factor* (BCF) untuk Cr berada di bawah 1, yang berarti kemampuan kerang untuk mengakumulasi Cr relatif rendah dibandingkan dengan konsentrasinya di sedimen. Temuan ini menunjukkan bahwa sedimen menjadi reservoir utama pencemaran Cr dan berpotensi menjadi sumber pencemaran sekunder apabila sedimen mengalami pengadukan atau resuspensi.

Penelitian ini dilakukan di perairan Selat Makassar, khususnya pada bagian yang berdekatan dengan wilayah pesisir Kelurahan Bira, Kecamatan Tamalanrea, Kota Makassar. Area tersebut berada di sekitar muara saluran drainase permukiman yang terhubung dengan kanal, sehingga berpotensi menerima limpasan limbah domestik dan aktivitas nelayan. Kondisi ini menjadikan perairan Selat Makassar di lokasi tersebut penting untuk diteliti karena berisiko mengalami akumulasi logam berat (Fatmayani *et al.*, 2022). Kondisi tersebut membuat wilayah ini penting untuk diteliti karena kerang yang hidup di kawasan ini berisiko terpapar dan menumpuk logam berat dari lingkungan perairan.

Berdasarkan Hal Tersebut Maka Peneliti Tertarik Melakukan Penelitian Mengenai Bioakumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) Pada Kerang Bakalang (*Marcia Hiantina. L*) di Perairan Selat Makassar.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini yaitu:

1. Berapa konsentrasi logam berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) yang terakumulasi pada kerang bakalang (*Marcia hiantina. L*) di perairan Selat Makassar?
2. Sejauh mana kadar logam berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) terdeteksi pada sampel air di perairan Selat Makassar?
3. Seberapa besar kandungan logam berat Kadmium (Cd) yang terdeteksi pada sedimen di perairan Selat Makassar?

C. Tujuan

1. Tujuan Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat bioakumulasi logam berat kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) pada kerang bakalang (*Marcia hiantina L.*) di perairan Selat Makassar.

2. Tujuan Khusus

- a. Untuk mengetahui kadar akumulasi logam berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) pada jaringan kerang bakalang (*Marcia hiantina. L*) di perairan Selat Makassar.
- b. Untuk mengetahui kadar logam berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) pada sampel air di perairan Selat Makassar.
- c. Untuk mengetahui nilai tingkat kandungan logam berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) pada sedimen di perairan Selat Makassar.

D. Manfaat Penelitian

a. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi inspirasi dan pemahaman baru bagi pembaca dalam mempelajari serta meneliti kandungan logam berat kadmium dan Kromium di lingkungan perairan.

b. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman lebih tentang proses penyerapan dan penumpukan logam berat kadmium dan Kromium pada kerang bakalang sebagai organisme perairan.

c. Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan menjadi acuan bagi pemerintah daerah dalam menyusun kebijakan pengendalian dan memonitor pencemaran logam kadmium (Cd) dan Kromium (Cr).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum Tetang Logam Berat

1. Pengertian Logam Berat

Logam berat merupakan unsur logam yang memiliki massa jenis lebih dari 5 g/cm³. Unsur ini berperan penting dalam menjaga keseimbangan berbagai proses biokimia dan fisiologis pada makhluk hidup apabila berada dalam konsentrasi rendah. Namun, pada kadar yang melebihi ambang batas toleransi, logam berat dapat bersifat toksik dan menimbulkan dampak serius terhadap kesehatan organisme maupun keseimbangan ekosistem (Juharna *et al.*, 2022).

Logam berat yang melampaui ambang batas dapat menimbulkan dampak negatif, tidak hanya bagi makhluk hidup di lingkungan perairan yang tercemar, tetapi juga bagi kesehatan masyarakat sekitar. Keberadaan logam berat dalam biota laut dapat mengganggu sistem biokimia organisme air, dan ketika biota tersebut dikonsumsi manusia, dapat menjadi ancaman bagi kesehatan (Alisa *et al.*, 2020).

Masuknya logam berat ke dalam perairan dapat terjadi secara alami maupun akibat aktivitas manusia. Peningkatan intensitas aktivitas antropogenik menyebabkan kadar dan

persebaran logam berat di lingkungan semakin tinggi. Sebelum revolusi industri, alam masih mampu menjaga keseimbangan kadar logam berat, namun setelahnya terjadi peningkatan yang signifikan. Aktivitas seperti penambangan dan pembakaran batubara menjadi penyumbang utama peningkatan kadar logam berat di lingkungan. Selain itu, sedimen memiliki peran penting dalam mengakumulasi dan menyebarkan logam berat, terutama di wilayah estuari dengan perkembangan industri yang pesat (Nata *et al.*, 2024).

Al-Qur'an telah menegaskan bahwa manusia diwajibkan untuk memelihara lingkungan hidup. Menjaga kelestarian lingkungan merupakan salah satu bentuk perwujudan keimanan seseorang. Pentingnya masalah lingkungan kemudian dikembangkan melalui konsep fikih lingkungan (fiqh al-biah), yaitu seperangkat aturan yang mengatur perilaku ekologis manusia yang ditetapkan oleh para ulama ahli. Selain bersumber dari hadis, fikih lingkungan juga berlandaskan pada Al-Qur'an. Allah menegaskan larangan melakukan kerusakan dalam Q.S. Al-A'raf yaitu (Muhammad, 2022):

وَالِى مَدْيَنَ أَخَاهُمْ شُعَيْبًا قَالَ يٰقَوْمِ اعْبُدُوا اللَّهَ مَا لَكُمْ مِنْ إِلٰهٍ غَيْرُهُ قَدْ جَاءَتْكُمْ
بَيِّنَةٌ مِّن رَّبِّكُمْ فَأَوْفُوا الْكَيْلَ وَالْمِيزَانَ وَلَا تَبْخَسُوا النَّاسَ أَشْيَاءَهُمْ وَلَا تُفْسِدُوا فِي
الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا ذٰلِكُمْ خَيْرٌ لَّكُمْ إِن كُنْتُمْ مُّؤْمِنِينَ

Terjemahnya: “Dan kepada penduduk Madyan, Kami (utus) Syuaib, saudara mereka sendiri. Dia berkata, Wahai kaumku! Sembahlah Allah. Tidak ada tuhan (sembahan) bagimu selain Dia.

Sesungguhnya telah datang kepadamu bukti yang nyata dari Tuhanmu. Sempurnakanlah takaran dan timbangan, dan jangan kamu merugikan orang sedikit pun. Janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah (diciptakan) dengan baik. Itulah yang lebih baik bagimu jika kamu orang beriman.” (QS Al-A'raf: 85)

Ekosistem perairan terancam oleh keberadaan logam berat di lingkungan, yang umumnya ditemukan dalam konsentrasi tinggi dan berpotensi membahayakan kehidupan akuatik. Berbagai aktivitas manusia selama dua dekade terakhir telah menyebabkan pelepasan besar-besaran logam dan senyawanya, baik anorganik maupun organik, ke lingkungan (Ighariemu *et al.*, 2023).

Dasar perairan yang tersusun atas sedimen memiliki kemampuan untuk menyerap dan melepaskan logam berat dalam bentuk yang belum terlarut. Logam berat yang mengendap di dasar perairan akan membentuk lapisan sedimentasi yang dapat mencemari biota laut. Sedimen berperan penting dalam mengontrol kadar logam berat yang terakumulasi dalam jaringan organisme perairan. Pembuangan limbah domestik ke wilayah pesisir dapat meningkatkan pengendapan dan menghambat sirkulasi air, sehingga logam berat cenderung mengendap di dasar perairan, terutama pada kondisi perairan yang tenang. Oleh karena itu, akumulasi logam berat dalam sedimen laut perlu menjadi perhatian utama bagi pihak terkait karena sedimen berfungsi sebagai tempat penyimpanan potensial bahan berbahaya dan beracun di wilayah

pesisir serta menjadi lokasi pengendapan akhir logam berat yang konsentrasinya dipengaruhi oleh sumber pencemarnya (Natsir et al., 2021).

Konsentrasi logam berat di sedimen umumnya tiga hingga lima kali lebih tinggi dibandingkan di air. Keberadaannya dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti pergerakan dan bentuk kimia logam, jenis sedimen tempat logam menempel, persaingan antarlogam untuk diserap organisme, serta kondisi lingkungan seperti salinitas, redoks, dan pH. Saat logam berat masuk ke tubuh organisme dalam jumlah tinggi, tubuh akan menetralkannya dengan mengikat logam menggunakan protein seperti *metallothioneins* atau *thio-proteins*, sehingga logam menjadi bentuk yang lebih stabil dan tidak beracun (Sari et al., 2023).

2. Karakteristik logam berat

Logam berat merupakan elemen yang sangat beracun dan dapat menumpuk dalam organ tubuh manusia. Paparan dalam jumlah tinggi dapat menyebabkan kerusakan serius pada kesehatan, bahkan berujung pada kematian (Nur et al., 2024).

Logam berat adalah unsur logam dengan berat jenis $\geq 5 \text{ g/cm}^3$ dan nomor atom antara 21 (*Scandium*) hingga 92 (*Uranium*) dalam tabel periodik. Beberapa logam berat seperti seng (Zn), tembaga (Cu), besi (Fe), kobalt (Co), dan mangan (Mn) berperan penting dalam sistem enzim organisme. Dalam bidang industri, logam berat

banyak dimanfaatkan sebagai bahan pelapis, pengeras, campuran logam, bantalan, pembuatan solder, baterai, ekstraksi logam mulia, serta bahan antara pada industri kimia seperti pigmen, penstabil plastik, fungisida, cat, keramik, gelas, dan kertas dinding. Namun demikian, sebagian besar logam berat memiliki sifat toksik dan berbahaya bagi makhluk hidup apabila kadarnya melebihi ambang batas yang ditetapkan, logam tersebut dapat menimbulkan dampak serius terhadap kesehatan dan keseimbangan ekosistem (Indrawati *et al.*, 2022).

Barus *et al.* (2024) mengemukakan Sifat-sifat umum logam berat antara lain:

- a) Densitas Tinggi, logam berat memiliki densitas lebih dari 5 g/cm^3 , sehingga mudah mengendap di air dan menumpuk dalam sedimen dasar laut maupun sungai.
- b) Toksisitas, Sebagian besar logam berat bersifat toksik meskipun pada konsentrasi rendah, dan dapat menyebabkan kerusakan pada sistem saraf, ginjal, hati, serta organ tubuh lainnya.
- c) Bioakumulasi, logam berat dapat menumpuk dalam tubuh organisme melalui rantai makanan, sehingga konsentrasinya meningkat pada tingkat trofik yang lebih tinggi (biomagnifikasi).
- d) Persistensil, logam berat sulit terurai di lingkungan, sehingga dapat bertahan lama dan menimbulkan dampak jangka panjang terhadap ekosistem.

3. Sumber Logam Berat di Lingkungan

Pencemaran lingkungan semakin meningkat akibat revolusi industri dan aktivitas manusia. Pembuangan polutan dalam jumlah besar ke laut telah menimbulkan ancaman serius bagi ekosistem pesisir. Logam berat merupakan pencemar lingkungan yang sangat berbahaya karena bersifat toksik secara kronis, tidak dapat terurai secara hayati, dan mudah terakumulasi di lingkungan. Logam berat dapat berpindah dan mengalami peningkatan konsentrasi melalui rantai makanan, sehingga membahayakan kesehatan manusia. Oleh karena itu, pemantauan kadar logam berat di lingkungan laut sangat diperlukan. Saat ini, di berbagai tingkat wilayah, masalah terkait konsentrasi, sebaran, asal, serta dampak logam berat terhadap lingkungan menjadi perhatian serius. Pola bioakumulasi logam berat seperti merkuri, arsenik, nikel, kobalt, tembaga, kadmium, dan kromium sangat memengaruhi kehidupan organisme, sedangkan beragam sumber penyebaran logam berat juga menimbulkan dampak negatif terhadap biota laut (Zaynab *et al.*, 2022).

Kontaminasi logam berat telah berlangsung sejak lama, bahkan sejak era 1980-an, dan terus mengalami akumulasi hingga saat ini. Di perairan laut, logam berat umumnya terbagi ke dalam dua bentuk utama, yakni logam yang terlarut dalam air dan logam yang berasosiasi dengan partikel tersuspensi atau sedimen. Secara umum, konsentrasi logam dalam bentuk terlarut masih berada di

bawah batas standar kualitas air nasional. Namun demikian, logam berat memiliki kemampuan untuk terakumulasi dalam organisme laut seperti ikan, udang, kerang, serta biota perairan lainnya (Satriawan *et al.*, 2021).

Pembuangan limbah industri, limbah cair mentah, serta berbagai jenis limbah lainnya secara tidak terkontrol telah mencemari banyak ekosistem dan mengancam keberlangsungan hidup serta fungsi fisiologis berbagai organisme. Logam berat memiliki sifat yang mudah terakumulasi dan mengalami peningkatan konsentrasi sepanjang rantai makanan. Dampaknya tidak hanya dirasakan oleh organisme tingkat tinggi, tetapi juga memengaruhi seluruh komponen ekosistem, termasuk aktivitas mikroba yang berperan penting dalam keseimbangan lingkungan (Yunusa *et al.*, 2023).

Logam berat yang masuk ke lingkungan laut dapat terakumulasi dalam jaringan organisme akuatik karena sifatnya yang larut lemak dan sulit terurai. Proses ini menyebabkan bioakumulasi, di mana logam berat menumpuk dalam tubuh organisme dan dapat diteruskan ke manusia melalui rantai makanan. Tingkat akumulasi dipengaruhi oleh konsentrasi logam di lingkungan, kemampuan ekskresi organisme melalui insang, empedu, ginjal, atau kulit, serta faktor biologis dan lingkungan seperti spesies, musim, dan lokasi. Fenomena ini menjadikan bioakumulasi logam berat sebagai isu penting dalam penilaian kualitas lingkungan laut (Zhang *et al.*, 2023).

B. Tinjauan Umum Tentang Kadmium (Cd)

1. Pengertian Kadmium (Cd)

Salah satu logam berat yang berpotensi mencemari dan membahayakan lingkungan perairan adalah kadmium (Cd). Logam ini termasuk dalam kategori logam berat non-esensial karena hingga kini belum diketahui fungsi maupun peranannya dalam proses metabolisme organisme (Putri *et al.*, 2024). Asupan kronis kadmium (Cd) dapat merusak berbagai sistem organ, termasuk kesehatan reproduksi, struktur tulang, fungsi urinari dan kardiovaskular, sistem saraf pusat dan tepi, ginjal, serta berpotensi menyebabkan kanker (Barchiesi *et al.*, 2020).

Kadmium dilepaskan ke atmosfer akibat aktivitas alami maupun buatan manusia, dan dapat mengenai hewan serta manusia melalui berbagai cara (Mitra *et al.*, 2022). Kadmium (Cd) adalah logam yang beracun bagi tubuh meskipun dalam jumlah yang sangat kecil. Tingkat bahayanya tergantung pada lama dan besarnya paparan. Jika seseorang terpapar kadmium dalam kadar tinggi dan waktu yang lama, maka risiko efek racunnya akan semakin besar.. Karena kadmium mudah menumpuk di sedimen dan tubuh organisme, logam ini dapat mengganggu sistem kehidupan. Kadmium juga tergolong logam berat berbahaya karena tidak dapat diuraikan oleh organisme hidup (Pulungan & Wahyuni, 2021).

Kadmium (Cd) memasuki ekosistem perairan melalui berbagai jalur, baik alami maupun hasil aktivitas manusia. Sumber penyebarannya meliputi limpasan dari lahan pertanian dan perkotaan, serta deposisi partikel dari atmosfer, sedangkan sumber titik utamanya berasal dari kegiatan industri dan pertambangan. Proses pelapukan dan erosi batuan yang mengandung kadmium melepaskan logam ini ke udara, tanah, dan perairan, baik secara langsung maupun melalui partikel yang terbawa angin dan kemudian mengendap kembali. Aktivitas manusia seperti penambangan dan peleburan logam, proses pelapisan logam, penggunaan pupuk fosfat, pengolahan air limbah, serta pembuangan limbah berbahaya turut memperbesar jumlah kadmium yang masuk ke lingkungan perairan. Secara global, pelapukan dan erosi diperkirakan menyumbang sekitar 15.000 ton kadmium setiap tahun, sedangkan deposisi atmosfer menambah sekitar 900 hingga 3.600 ton per tahun, menunjukkan tingginya tekanan pencemaran kadmium terhadap ekosistem akuatik di dunia (Shukla *et al.*, 2023).

Kadmium dan senyawanya memiliki kelarutan tinggi dalam air, sehingga bioavailabilitasnya juga besar dan cenderung mengalami bioakumulasi dalam tubuh organisme. Paparan kronis terhadap logam ini dapat menyebabkan perubahan morfolopatologis pada ginjal. Perokok lebih berisiko mengalami keracunan kadmium karena tembakau merupakan sumber utama penyerapan logam

tersebut, sedangkan pada non-perokok, paparan utama berasal dari makanan dan jalur lain dengan tingkat penyerapan yang lebih rendah. Kadmium juga dapat berinteraksi dengan zat gizi dan menimbulkan efek toksik; penelitian pada hewan menunjukkan bahwa sekitar 50% kadmium diserap melalui paru-paru dan sisanya melalui saluran pencernaan. Pada ibu hamil, paparan kadmium yang tinggi dapat menyebabkan kelahiran prematur dan menurunkan berat badan bayi saat lahir (Efrizal *et al.*, 2020).

2. Sifat kadmium

Kadmium (Cd) merupakan logam berat yang bersifat sangat toksik dan berpotensi menimbulkan efek keracunan serius, gangguan kesehatan, bahkan kematian pada organisme akuatik tertentu. Jenis biota seperti crustacea diketahui sangat rentan terhadap paparan Cd (Alisa *et al.*, 2020).

Kadmium dikenal sebagai salah satu logam berat paling berbahaya bagi kesehatan manusia, karena memiliki kemampuan tinggi untuk merusak sistem pembuluh darah dan menimbulkan efek toksik jangka panjang. Unsur ini mudah terakumulasi di dalam tubuh, terutama pada organ ginjal dan hati, sehingga paparan yang berkelanjutan dapat menyebabkan gangguan fungsi organ vital. Secara biologis, kadmium bukan merupakan unsur esensial dan tidak memiliki peran dalam proses metabolisme tubuh. Karena tubuh tidak memiliki mekanisme alami untuk mengatur penyerapan maupun

pembuangannya, akumulasi kadmium dapat berlangsung tanpa batas waktu dan meningkatkan risiko keracunan kronis (Adelila & Sari, 2024).



Gambar 2.1 Logam kadmium (Cd)
(Sumber : Elfidasari, 2023)

Kadmium (Cd) adalah logam lunak berwarna putih keperakan dengan nomor atom 48 yang memiliki sifat kimia mirip seng dan raksa. Logam ini tahan korosi, tidak larut dalam air, dan cenderung stabil dalam bentuk senyawa bervalensi +2. Kadmium banyak dimanfaatkan pada industri pelapisan logam, pigmen, stabilizer PVC, serta baterai nikel-kadmium, meski penggunaannya kini menurun karena toksisitasnya. Di alam, kadmium umumnya ditemukan bersama bijih seng, timbal, dan tembaga, serta meningkat di lingkungan akibat aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil dan limbah pertambangan. Kini, kadmium juga dimanfaatkan dalam teknologi modern seperti panel surya dan semikonduktor. Menariknya, pada diatom laut *Thalassiosira weissflogii*, unsur ini

dapat menggantikan seng dalam enzim karbonat anhidrase, menunjukkan kemampuan adaptasi biologis terhadap keterbatasan unsur seng di laut (Genchi *et al.*, 2020).

Genchi *et al.* (2020) mengemukakan bahwa sifat fisik dan kimia logam kadmium disajikan pada tabel berikut:

Tabel 2.1
Sifat Fisik dan Kimia Logam Kadmium

Sifat	Nilai / keterangan
Nomor Atom	48
Massa Atom	112,41 u
Jari-jari atom	155 pm
Konfigurasi elektron	[Kr]4d ¹⁰ 5s ²
Titik leleh	321,07 °C
Titik didih	767,3 °C
Massa jenis (20°C)	8,65 g/cm ³
Potensial Reduksi	$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Cd(s)} = -0,40 \text{ E}^{\circ}$
Kalor Peleburan	6,21 kJ/mol
Kalor Penguapan	99,6 kJ/mol
Keelektronegatifan	1,69
Energi Ionisasi Pertama	867,8 kJ/mol
Energi Ionisasi Kedua	1631,4 kJ/mol

3. Sumber logam kadmium

Terdapat dua sumber utama kontaminasi logam berat kadmium di lingkungan, yaitu berasal dari lapisan bumi dan aktivitas manusia atau sumber antropogenik. Secara alami, kadmium merupakan salah satu unsur penting yang terkandung dalam mineral fosfat pada bebatuan dan terdeposisi di dalam lapisan kerak bumi melalui proses geokimia. Kadmium tergolong sebagai unsur yang

relatif jarang dijumpai di kerak bumi, dengan konsentrasi sekitar 0,2 mg/kg, serta tidak ditemukan dalam bentuk murni di alam. Unsur ini umumnya hadir dalam bentuk senyawa yang berasosiasi dengan mineral logam lain seperti seng, timbal, dan tembaga (Rumahlatu *et al.*, 2023).

Kadmium dapat memasuki ekosistem perairan melalui beragam aktivitas antropogenik seperti proses industri, kegiatan pertanian, maupun limbah rumah tangga. Di lingkungan perairan, tingkat toksisitas kadmium cenderung meningkat pada kondisi dengan salinitas rendah. Hal ini disebabkan karena rendahnya salinitas memicu peningkatan konsentrasi ion Cd^{2+} bebas, yang pada gilirannya menghambat pembentukan kompleks anorganik maupun organik. Ion Cd^{2+} bebas tersebut lebih mudah diserap oleh organisme akuatik, sehingga memperparah efek toksiknya. Selain itu, peningkatan toksisitas kadmium juga berkaitan dengan gangguan terhadap kemampuan osmoregulasi dan keseimbangan ionik organisme pada lingkungan dengan salinitas rendah (Pratiwi, 2020).

C. Tinjauan Umum Tentang Kromium (Cr)

1. Pengertian Kromium

Kromium (Cr) merupakan salah satu logam paling toksik dan berpotensi membahayakan ekosistem. Selain berasal dari sumber alami, logam ini banyak masuk ke lingkungan melalui berbagai

proses industri seperti pelapisan logam, penyamakan kulit, pemolesan, pengecatan, produksi pigmen, hingga pengawetan kayu (Bhuvaneshwari *et al.*, 2024).

Kromium secara alami dapat ditemukan dalam berbagai komponen lingkungan seperti emisi vulkanik, air, kerak bumi, hewan, dan bebatuan. Selain itu, unsur ini juga hadir di udara serta pada beberapa jenis makanan, termasuk sayur-sayuran, buah-buahan, dan daging. Di lingkungan, kromium umumnya tampak sebagai logam berwarna abu-abu kebiruan yang mudah dipoles, sangat tahan terhadap korosi, dan memiliki sifat fisikokimia yang memungkinkan kelarutan dalam air. Karena kilau dan ketahanannya terhadap karat, kromium banyak digunakan dalam proses pelapisan logam, terutama pada baja. Dalam kondisi alami, kromium dapat ditemukan dalam tiga tingkat oksidasi utama, yaitu Cr (0), Cr (III), dan Cr (VI). Cr (0) biasanya dimanfaatkan dalam proses produksi baja (Arumdani *et al.*, 2024).

Kromium di lingkungan dapat ditemukan dalam beberapa bentuk valensi. Kromium (VI) jauh lebih berbahaya dibandingkan Kromium (III) karena bersifat karsinogenik, sedangkan Kromium (III) bersifat tidak mudah berpindah dan sukar larut dalam air. Kromium (VI) mampu menembus membran sel dengan mudah sehingga dapat merusak materi genetik serta menimbulkan gangguan pada

kulit, paru-paru, ginjal, hati, dan sistem pencernaan (Arumingtyas et al., 2024).

Kromium memiliki kemampuan untuk menembus membran sel dan mengalami proses reduksi di dalam sel. Tingkat toksisitas kromium sangat dipengaruhi oleh valensi (*oxidation state*) serta kelarutannya. Sifatnya yang mudah larut dalam air membuat logam ini cepat menyebar ke perairan dan lingkungan tanah, sehingga berpotensi terakumulasi pada organisme yang hidup di wilayah tersebut. Selain itu, kromium dengan cepat melewati membran sel dan mengalami proses reduksi setelah masuk ke dalam (Oleo et al., 2021).



Gambar 2.1 Logam Kromium
(Sumber: Nabillah, 2022)

2. Karakteristik Kromium

Kromium merupakan logam berwarna putih kebiruan yang memiliki sifat keras, berkilau, serta sangat tahan terhadap korosi.

Karena ketahanannya tersebut, kromium banyak digunakan sebagai pelapis pelindung pada logam, termasuk dalam pembuatan stainless steel yang umumnya mengandung sekitar 19% kromium dan 9% nikel. Unsur ini memiliki beberapa bilangan oksidasi, yaitu +2, +3, +4, dan +6, dengan bentuk Cr^{3+} sebagai keadaan yang paling stabil. Senyawa Cr^{2+} umumnya bersifat sebagai reduktor, sedangkan senyawa kromium dengan bilangan oksidasi +6 berperan sebagai oksidator yang kuat (Farida *et al.*, 2025).

Kromium adalah unsur logam yang secara alami banyak terdapat di lingkungan dan memiliki berbagai kegunaan dalam aktivitas manusia. Logam ini dimanfaatkan dalam beragam bidang, termasuk pada proses fotografi, pembuatan zat warna, serta berbagai kegiatan industri yang memerlukan kromium dalam tahap produksinya (Rahayu *et al.*, 2021).

Kromium yang terlepas ke lingkungan dapat menimbulkan efek merugikan bagi organisme perairan, termasuk ikan. Sifatnya yang karsinogenik dan tidak mudah terdegradasi menyebabkan logam ini sulit diuraikan, sehingga dapat terakumulasi dalam jumlah tinggi di lingkungan. Akumulasi tersebut kemudian berpotensi mencemari organisme akuatik di sekitarnya melalui proses bioakumulasi (Rusul *et al.*, 2022).

Kromium banyak ditemukan di kerak bumi, sekitar 100 μg per gram batuan. Tingkat bahaya atau toksisitasnya sangat ditentukan

oleh bentuk kimianya. Dua bentuk kromium yang paling sering dijumpai adalah kromium trivalen (Cr^{3+}) dan kromium heksavalen (Cr^{6+}). Kromium trivalen umumnya tidak berbahaya, sedangkan kromium heksavalen bersifat beracun dan dapat menyebabkan kanker pada makhluk hidup. Pada proses industri, senyawa kromium dalam bentuk garam baik Cr^{3+} maupun Cr^{6+} dapat menghasilkan debu berbahaya yang dapat membahayakan kesehatan.

3. Cara Kromium Masuk Ke Perairan

Kromium dapat memasuki ekosistem perairan melalui dua jalur utama, yaitu alami dan non-alami. Secara alami, keberadaan kromium dipengaruhi oleh proses fisik seperti erosi atau pengikisan batuan yang mengandung mineral kromium. Selain itu, partikel dan debu di atmosfer dapat terbawa turun ke badan air melalui hujan. Secara non-alami, pencemaran kromium terutama berasal dari aktivitas manusia, khususnya pembuangan limbah industri serta limbah domestik yang masuk ke saluran air. Kromium yang telah terdeposit di dalam jaringan organisme kemudian dapat berpindah melalui rantai makanan. Ketika akumulasi mencapai tingkat tertentu, unsur tersebut dapat bersifat toksik. Dampaknya terhadap organisme akuatik sangat serius, karena kromium dapat mengganggu proses metabolisme melalui penghambatan kerja enzim yang berperan dalam fungsi fisiologis (Elfidasari, 2023).

Logam berat yang terlarut dalam badan air, ketika mencapai konsentrasi tertentu, dapat berubah menjadi sumber toksisitas bagi kehidupan akuatik. Walaupun tingkat racunnya tidak sama untuk setiap jenis organisme, hilangnya satu kelompok biota dapat memutus salah satu mata rantai dalam sistem kehidupan perairan. Jika kondisi ini berlanjut, gangguan tersebut berpotensi merusak bahkan menghancurkan keseluruhan struktur ekosistem perairan (Marhaini, 2022).

D. Tinjauan Umum Tentang Kerang

1. Pengertian Kerang

Kerang memiliki potensi tinggi untuk terpapar logam berat karena sifatnya sebagai filter feeder, sehingga organisme ini sering dimanfaatkan sebagai bioindikator untuk memantau tingkat akumulasi logam berat di perairan (Zhou *et al.*, 2008). Kerang merupakan moluska bercangkang keras dari kelas Bivalvia yang hidup di berbagai perairan, baik tawar maupun laut. Ciri khasnya adalah dua cangkang simetris yang dihubungkan oleh engsel dan tersusun dari kalsium karbonat atau kitin yang berfungsi melindungi tubuh dari ancaman lingkungan. Bagian dalam cangkang memiliki lapisan penghasil mutiara bila terjadi iritasi, sementara bentuk, ukuran, dan warna kerang sangat bervariasi di alam (Yuni *et al.*, 2024). Kerang-kerangan biasanya dijumpai di kawasan pesisir,

seperti dataran lumpur, atau menempel pada objek yang ada di dasar laut. Kerang memakan plankton sebagai makanan utamanya, namun kerang juga menjadi mangsa bagi predator lain, seperti cumi-cumi dan hiu. Meskipun kehidupan kerang ini terkesan biasa, namun keberadaannya sangat penting dalam ekosistem laut yang lebih besar (Putri & Anggraini, 2022).

Bivalvia adalah organisme dasar perairan bercangkang ganda yang termasuk hewan tak bertulang belakang, hidup dengan membenamkan diri dalam sedimen atau menempel pada akar bakau, batu, dan kayu, serta umum ditemukan di zona intertidal. Organisme penyaring ini memperoleh nutrisi dengan menyaring fitoplankton dari air dan berperan penting dalam ekosistem melalui pengolahan sedimen, peningkatan oksigen pada lapisan bawah perairan, serta membantu penguraian bahan organik dan penyerapan kontaminan. Selain memiliki fungsi ekologis sebagai konsumen, pengurai awal, dan indikator kualitas lingkungan, beberapa jenis *bivalvia* juga bernilai komersial karena digemari masyarakat berkat rasa yang lezat dan kandungan gizinya yang tinggi (Andika *et al.*, 2024).

Secara umum, *Bivalvia* memiliki bentuk tubuh dan ukuran cangkang yang beragam, yang menjadi faktor penting dalam penentuan spesies. Variasi morfologi dan anatomi pada kerang sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor ekologis. Sekitar 80% atau

sekitar 8.000 spesies *Bivalvia* hidup di berbagai kedalaman di perairan laut, sementara sisanya ditemukan di perairan tawar (Sulistiyaningsih & Arbi, 2020).

2. Jenis-jenis kerang

a. Kerang bakalang (*Marchia Hiantina.L*)

Marcia hiantina dikenal juga sebagai *hiant venus*, merupakan jenis *moluska bivalvia* yang termasuk dalam *famili Veneridae* (kerang venus), sebagaimana tercatat dalam *World Register of Marine Species* terdapat lebih dari 500 spesies kerang *venus* yang diketahui, sebagian besar dapat dikonsumsi dan banyak dimanfaatkan sebagai sumber pangan. Spesies *M. hiantina* tersebar luas di wilayah Indo–Barat Pasifik, mulai dari Teluk Aden hingga Papua Nugini, meluas ke utara hingga Jepang bagian selatan dan ke selatan hingga Queensland (Ahmed *et al.*, 2023).

Marcia hiantina memiliki karakter morfologi cangkang memiliki panjang 4,5 cm, bentuk cangkang seperti oval, tebal cangkang 1,5 cm, terdapat pahatan cangkang, umbo cangkang mengarah miring dan meruncing, ligamen cangkang tampak melingkar, gigi engsel cangkang lateral memanjang, warna cangkang coklat dengan corak motif garis (Ramadhan *et al.*, 2023).

Kerang bakalang (*Marcia hiantina* atau sinonimnya *Katelsia hiantina*) merupakan spesies yang termasuk dalam *Famili Veneridae* (kerang venus), yaitu kelompok *bivalvia* yang memiliki

dua cangkang simetris atau hampir simetris dengan bentuk membulat hingga oval. Jenis kerang ini dikenal sebagai bivalvia penggali aktif yang umum ditemukan di daerah intertidal rendah hingga perairan laut dangkal subtidal (Visayas *et al.*, 2020).

Kerang bakalang (*Marcia hiantina*) di kalsifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : *Animalia*
Phylum : *Mollusca*
Class : *Bivalvia*
Subclass : *Autobranchia*
Infraclass : *Heterconchia*
Subterclass : *Euheterodonta*
Superorder : *Imparidentia*
Order : *Venerida*
Supervamily : *Veneroidea*
Family : *Veneridae*
Genus : *Marcia*
Species : *Marcia Hiantina*



Gambar 2.1 Kerang bakalang
(sumber gambar :Indrawan *et al.*, 2023)

b. Kerang hijau

Kerang hijau dikenal dengan ciri cangkangnya yang berwarna hijau, berbentuk memanjang, relatif pipih, serta permukaannya halus tanpa garis. Bagian dagingnya umumnya berwarna putih kekuningan. Jenis kerang ini juga memiliki beragam sebutan di berbagai daerah, seperti kerang kijing, kemudi kapal, maupun kedaung (Adisa, 2024).



Gambar 2.1 Kerang Hijau
(sumber gambar Eva & Taufiq 2025)

c. Kerang darah

Kerang darah merupakan anggota kelas Bivalvia yang umumnya hidup di perairan laut, terutama pada dasar berlumpur atau lumpur berpasir halus. Spesies ini biasanya memiliki

kepadatan tertinggi di zona intertidal yang berdekatan dengan hutan mangrove dan dipengaruhi oleh aliran air sungai. Habitat kerang darah berada pada wilayah antara pasang penuh hingga pasang terendah, termasuk teluk yang memiliki hutan bakau dan menerima pasokan air payau. Kerang ini disebut kerang darah karena dagingnya berwarna merah kecoklatan akibat adanya hemoglobin. Pertumbuhan kerang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti musim, suhu, salinitas, jenis substrat, ketersediaan makanan, serta kondisi kimia lingkungan yang berbeda di setiap daerah. Makhluk hidup umumnya menyesuaikan diri dengan lingkungannya dan memilih habitat yang mendukung kelangsungan hidup, pertumbuhan, dan reproduksi. Pertumbuhan sendiri merupakan perubahan ukuran, baik panjang, berat, maupun volume, dalam suatu periode waktu tertentu.



Gambar 3.1 Kerang darah
(Sumber Gambar: Latif, 2021)

e. Kerang bambu

Kerang bambu (*Solen sp.*) adalah jenis kerang yang memiliki nilai jual tinggi, baik di dalam negeri maupun di luar negeri. Kerang ini biasanya hidup di daerah intertidal, yaitu kawasan pesisir yang secara langsung mengalami perubahan kondisi akibat pasang dan surut air laut (Trisyani *et al.*, 2021).

Kerang bambu memiliki bentuk memanjang menyerupai silinder, dengan cangkang yang mirip batang bambu. Ukurannya kurang lebih sepanjang satu ibu jari orang dewasa, sedangkan bagian dagingnya berwarna putih seperti daging udang yang sudah dikupas. Kerang ini dikenal memiliki cita rasa gurih dan manis. Kerang bambu, yang juga sering disebut lorjuk, merupakan jenis kerang yang cukup langka, namun masih banyak ditemukan di wilayah Jawa Timur dan Madura (Adisa, 2025).



Gambar 4.1 Kerang bambu
(Sumber gambar: Nabila & Hidayah, 2025)

E. Tinjauan Umum Tentang Bioakumulasi

1. Pengertian Bioakumulasi

Bioakumulasi adalah proses penumpukan suatu zat kimia di dalam tubuh organisme hingga kadarnya menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi zat tersebut di lingkungan sekitarnya (Connell, 1989). Bioakumulasi merupakan suatu proses terjadinya penumpukan senyawa kimia asing (*xenobiotik*) di dalam tubuh organisme, baik melalui penyerapan langsung dari lingkungan abiotik seperti air, udara, dan tanah, maupun melalui rantai makanan (transfer trofik). Paparan *xenobiotik* yang berlangsung terus-menerus dapat menyebabkan peningkatan kadar senyawa tersebut dalam jaringan organisme. Apabila zat pencemar memiliki waktu paro biologis yang panjang, maka proses degradasi dan eliminasinya dari tubuh berlangsung lebih lambat, sehingga potensi terjadinya penumpukan akan semakin tinggi (Untu *et al.*, 2022).

Nilai bioakumulasi menunjukkan sejauh mana zat pencemar terakumulasi dan meningkat konsentrasinya dalam tubuh organisme dibandingkan dengan kadar di lingkungannya. Nilai ini merupakan hasil keseimbangan antara penyerapan dan pengeluaran zat melalui makan, respirasi, metabolisme, difusi, pertumbuhan, serta pewarisan ke generasi berikutnya. Secara umum, bioakumulasi mencakup dua mekanisme utama, yaitu biokonsentrasi dan biomagnifikasi. Biokonsentrasi adalah

penyerapan langsung bahan kimia dari air ke tubuh organisme, sedangkan biomagnifikasi menunjukkan peningkatan konsentrasi bahan kimia sepanjang rantai makanan hingga tingkat trofik lebih tinggi (Amrillah *et al.*, 2023).

Sejalan dengan hal tersebut, bioakumulasi juga dapat diartikan sebagai proses ketika suatu substansi kimia memengaruhi makhluk hidup dengan meningkatkan konsentrasi bahan kimia dalam tubuh organisme melebihi konsentrasinya di lingkungan. Hal ini terjadi karena laju penyerapan bahan kimia lebih cepat daripada kemampuan metabolisme dan ekskresi tubuh, sehingga bahan tersebut terus terakumulasi. Dengan demikian, semakin lama organisme terpapar, semakin tinggi pula potensi akumulasi dan dampak toksik yang dapat ditimbulkan (Armijn & Soegianto, 2020).

Bioakumulasi menggambarkan peningkatan konsentrasi unsur kimia di dalam tubuh organisme seiring dengan posisi trofiknya dalam piramida makanan. Logam berat dapat terakumulasi melalui rantai makanan, di mana semakin tinggi tingkat trofik suatu organisme, maka semakin besar pula jumlah logam berat yang tersimpan di dalam jaringannya. Akumulasi logam berat yang signifikan umumnya ditemukan pada biota perairan seperti ikan dan kerang. Proses ini bermula dari penyerapan logam berat oleh organisme tingkat rendah yang kemudian diteruskan ke tingkat trofik lebih tinggi melalui interaksi makan-memakan, sehingga

menyebabkan peningkatan konsentrasi logam di sepanjang rantai makanan (Jais *et al.*, 2020).

Beberapa jenis logam yang dapat terakumulasi dalam organisme dan menimbulkan efek toksik meliputi timbal (Pb), tembaga (Cu), dan seng (Zn). Logam tembaga (Cu) berasal dari aktivitas manusia, terutama dari limbah industri yang menggunakan Cu dalam proses produksinya, seperti industri galangan kapal. Logam ini dapat mengalami bioakumulasi pada organisme akuatik sehingga berpotensi menimbulkan dampak toksik terhadap ekosistem perairan (Retnosari *et al.*, 2024).

Indrawan *et al.* (2023) mengemukakan Proses bioakumulasi berlangsung melalui beberapa tahapan, yaitu:

- a. Pengambilan, tahap masuknya zat kimia ke dalam tubuh organisme, baik melalui pernapasan, penyerapan lewat kulit, maupun insang pada ikan.
- b. Penyimpanan, tahap penimbunan sementara zat kimia di jaringan atau organ tubuh. Kandungan zat ini akan terus meningkat, dan ketika konsentrasinya melebihi kadar di lingkungan (seperti air atau udara), maka bioakumulasi dinyatakan terjadi.
- c. Eliminasi, tahap penguraian atau pembuangan zat kimia dari tubuh, yang dapat berlangsung melalui proses biologis atau meta.

2. Dampak Biokumulasi terhadap kesehatan

Bioakumulasi merupakan proses meningkatnya konsentrasi suatu unsur kimia dalam organisme seiring naiknya posisi dalam piramida makanan. Logam berat dapat terakumulasi melalui rantai makanan, di mana organisme pada tingkat trofik yang lebih tinggi akan menyimpan logam berat dalam jumlah lebih besar. Beberapa biota perairan, seperti ikan dan kerang, dapat mengakumulasi logam berat dalam kadar tinggi. Proses ini bermula dari penyerapan dan penumpukan logam berat di dalam tubuh organisme tersebut (Jais *et al.*, 2020).

Bioakumulasi logam berat pada biota konsumsi merupakan isu penting yang perlu mendapat perhatian karena dapat menimbulkan berbagai dampak negatif bagi kesehatan manusia. Ketika logam berat memasuki rantai makanan dan terakumulasi dalam jaringan biota, paparan tersebut berpotensi mengganggu fungsi fisiologis hampir seluruh sistem organ tubuh. Konsumsi biota perairan yang telah tercemar logam berat dapat memicu timbulnya penyakit kronis seperti gangguan kardiovaskular, gangguan neurologis, kerusakan hati, penyakit degeneratif, serta meningkatkan risiko terjadinya kanker. Dalam kasus keracunan logam berat, individu dapat mengalami berbagai gejala seperti gangguan pernapasan, iritasi saluran cerna, penurunan fungsi organ vital, serta kerusakan pada ginjal, hati, dan sistem saraf. Secara keseluruhan, akumulasi logam

berat dalam biota konsumsi menjadi ancaman serius bagi kesehatan masyarakat karena sifatnya yang persisten, sulit dieliminasi, dan mampu memberi efek jangka panjang meskipun pada paparan yang rendah (Septya & Pauzi, 2024).

3. Faktor bioakumulasi

Faktor bioakumulasi (*Bioaccumulation Factor*/BAF) digunakan untuk mengukur sejauh mana logam dan metaloid terakumulasi dari air ke biota melalui berbagai jalur paparan yang mungkin terjadi. Nilai BAF dinyatakan sebagai perbandingan antara konsentrasi logam atau metaloid tertentu di dalam biota dengan konsentrasi logam atau metaloid tersebut di dalam air (media lingkungan). Demikian pula, *Biota-Sediment Accumulation Factor* (BSAF) digunakan untuk mengukur tingkat akumulasi logam atau metaloid yang berasal dari sedimen ke dalam biota (Melake & Endalew, 2023).

Berbeda dengan *Bioconcentration Factor* (BCF) yang diukur dalam kondisi terkontrol tanpa memperhitungkan asupan dari makanan, *Bioaccumulation Factor* (BAF) menggambarkan akumulasi zat kimia dalam organisme melalui seluruh jalur paparan, termasuk dari makanan, yang dikendalikan oleh konstanta. BAF dapat ditentukan setelah kondisi stasioner tercapai, yaitu saat konsentrasi zat dalam tubuh organisme telah stabil tanpa perubahan berarti. Dalam laboratorium, keadaan ini

terjadi ketika kadar zat mencapai titik tetap, sedangkan di lapangan dianggap tercapai saat proses pemantauan dilakukan. Meskipun rumus perhitungannya tampak serupa, BAF dan BCF tidak dapat diukur dalam percobaan yang sama karena BCF meniadakan asupan makanan terkontaminasi, sementara BAF justru memperhitungkannya. Oleh karena itu, memahami perbedaan keduanya sangat penting agar tidak terjadi kekeliruan interpretasi dalam menilai tingkat akumulasi zat kimia pada organisme (Savoca & Pace, 2021).

Faktor bioakumulasi (BAF) digunakan untuk mengukur sejauh mana suatu zat, terutama logam berat, menumpuk di dalam tubuh organisme atau sistem biologis. Pada logam berat, BAF diartikan sebagai perbandingan antara konsentrasi logam berat yang terdapat dalam organisme dengan konsentrasinya di lingkungan sekitar. Sintie. (2022) mengemukakan faktor bioakumulasi (BAF) dan faktor akumulasi biota-sedimen (BSAF) untuk logam dan metaloid dihitung menggunakan rumus berikut:

$$BAF = \frac{C_b}{C_w} \quad BSAF = \frac{C_b}{C_s}$$

Keterangan:

C_b = konsentrasi logam di biota

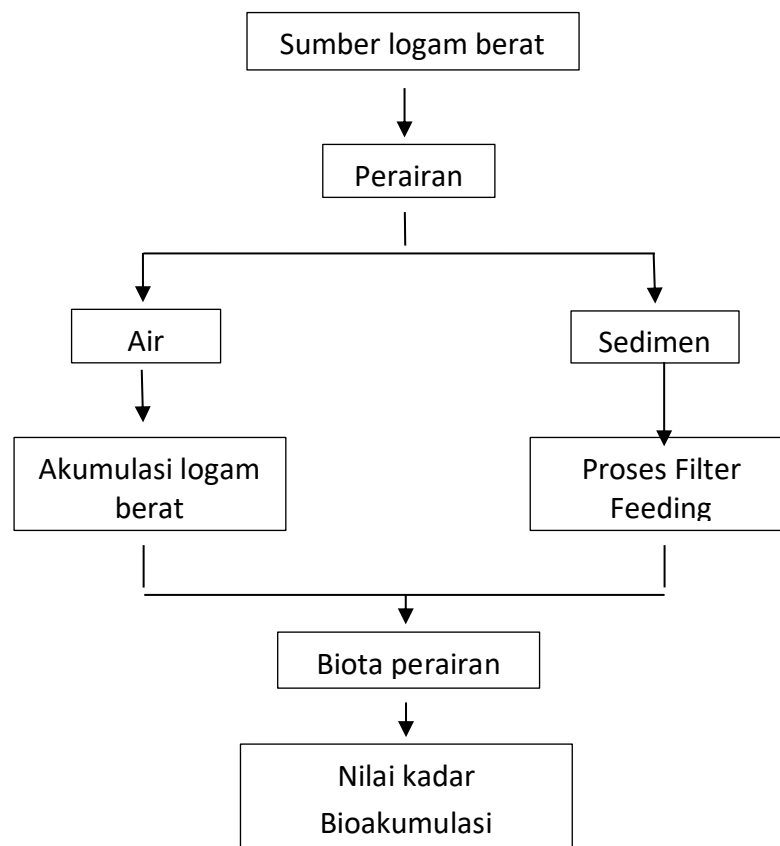
C_w = konsentrasi di air

C_s = konsentrasi di sedimen

Proc et al. (2021) mengemukakan Nilai BAF (*Bioaccumulation Factor*) tidak bisa bernilai negatif dan dibagi menjadi tiga kondisi:

- a. $BAF > 1$, bioakumulasi,
- b. $BAF < 1$, tidak terjadi bioakumulasi,
- c. $BAF = 1$, bioindikator.

F. Kerangka teori



Sumber : Connell (1989), Zhou et al. (2008)

2.2 Tabel Sintesa

No	Penulis dan jurnalnya	Judul penelitian	Sampel penelitian	Metode penelitian	Hasil penelitian
1.	Mhm, N., Devaraj, S., & Farzana, Y. (2025). <i>International Journal of Advanced Research in Environmental Science</i>	<i>Bioaccumulation of Heavy Metals in Aquatic Organisms and Its Effects on Human Consumption</i>	Ikan, kerang, dan udang dari perairan tercemar limbah industri dan domestik.	<i>Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS).</i>	Hasil pemeriksaan menunjukkan kadar Cd 0,02–0,11 mg/kg, Pb 0,48–1,27 mg/kg, Hg 0,04–0,09 mg/kg, dan Cr 0,56–1,12 mg/kg pada jaringan ikan dan kerang, di mana sebagian besar nilai melebihi batas aman WHO dan FAO. Bioakumulasi tertinggi ditemukan pada kerang dan ikan dasar laut. Studi ini menegaskan bahwa konsumsi biota laut dari perairan tercemar berisiko menyebabkan gangguan saraf, ginjal, dan efek toksik kronis akibat akumulasi logam berat dalam tubuh manusia

2.	Hasri Ainun, N., Gafur, A., & Hasriwiani Habo Abbas. (2021). <i>Window of Public Health Journa.</i>	Bioakumulasi Logam Berat Chromium (Cr) dan Cadmium (Cd) pada Sedimen dan Kerang (Anadara Sp.) di Muara Sungai Tallo Kota Makassar	Sedimen dan kerang <i>Anadara sp.</i> yang diambil dari tiga titik lokasi di Muara Sungai Tallo, Kota Makassar	<i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i> (AAS)	Hasil pemeriksaan menunjukkan kadar Cr pada sedimen sebesar 2,471–6,315 mg/kg dan pada kerang 0,754–1,138 mg/kg, sedangkan kadar Cd pada sedimen 0,051–0,095 mg/kg dan pada kerang 0,029–0,044 mg/kg. Beberapa nilai melebihi ambang batas baku mutu lingkungan, menandakan adanya pencemaran logam berat di Muara Sungai Tallo. Kerang <i>Anadara sp.</i> terbukti mampu mengakumulasi Cr dan Cd dari sedimen, sehingga dapat dijadikan bioindikator kualitas lingkungan perairan
3.	Armijn, A., & Soegianto, A. (2020). <i>Paper</i>	Perbandingan Bioakumulasi Logam Berat Melalui	Mangrove, udang windu (<i>P. monodon</i>), dan kerang darah (<i>Anadara sp.</i>)	<i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i> (AAS).	Hasil menunjukkan kadar Pb pada <i>Anadara sp.</i> 0,89–1,42 mg/kg dan Cd 0,05–0,09 mg/kg, keduanya melebihi ambang batas SNI 7387:2009.

	<i>Ekotoksikologi</i>	Kontak Lingkungan pada Mangrove, Crustacea (<i>P. monodon</i>), dan Bivalvia (<i>Anadara sp.</i>) (Studi Kasus: Paparan Bahan Pencemar Lumpur Lapindo)	dari pesisir Sidoarjo		Kadar Cr 0,41–0,68 mg/kg masih di bawah batas aman. Mangrove memiliki kadar tertinggi, menunjukkan peran sebagai penyerap awal, sedangkan <i>Anadara sp.</i> mengalami bioakumulasi logam berat dari sedimen tercemar
4	Ahluddin, N., Gafur, A., & Yulianti. (2022). <i>Window of Public Health Journa</i>	Bioakumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada Kerang Hijau, Air, dan Sedimen	Sampel air, sedimen, dan kerang hijau (<i>Perna viridis</i>) yang diambil dari beberapa titik di Sungai Tallo, Makassar.	<i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i> (AAS)	Hasil pemeriksaan menunjukkan kadar Cd dalam air 0,009–0,018 mg/L, sedimen 0,094–0,126 mg/kg, dan kerang hijau 0,045–0,083 mg/kg. Kadar Pb dalam air 0,071–0,128 mg/L, sedimen 1,023–1,875 mg/kg, dan

		di Sungai Tallo			kerang hijau 0,684–1,254 mg/kg. Sebagian nilai telah melampaui baku mutu (KEP-51/MENLH/10/1995 dan SNI 7387:2009), menunjukkan adanya pencemaran logam berat Cd dan Pb serta potensi bioakumulasi tinggi pada kerang hijau di Sungai Tallo
5.	Ahmed, H. Al, Ticar, B. F., Black, I., Mahdi, F., Shami, A. A., Misra, S. K., Heiss, C., Paris, J. J., Sharp, J. S., Azadi, P., & Pomin, V. H. (2023).	<i>Structural Characterization and Biological Activity of an α-Glucan from the Mollusk Marcia hiantina (Lamarck, 1818)</i>	Jaringan tubuh moluska <i>Marcia hiantina</i> (kerang laut) yang dikoleksi dari habitat pesisir.	NMR, FTIR, HPLC; uji antioksidan dan <i>imunomodulator in vitro</i>	Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa α -glukan dari <i>Marcia hiantina</i> memiliki struktur polisakarida bercabang dengan ikatan glikosidik α -(1→4) dan α -(1→6). Senyawa ini menunjukkan aktivitas antioksidan kuat (80–85%) dan efek imunostimulasi signifikan pada sel makrofag. Penelitian ini membuktikan bahwa <i>M. hiantina</i> mengandung senyawa bioaktif potensial yang

					berfungsi dalam pertahanan alami terhadap stres lingkungan dan logam berat
6	Natsir, N. A., Hanike, Y., & Allifah Af, A. N. (2021). <i>Biotropic: The Journal of Tropical Biology</i>	Akumulasi Logam Berat Pb dan Cd dalam Sedimen dan Hubungannya dengan Biota Laut di Perairan Tulehu Ambon	Kerang dari beberapa lokasi pesisir di Italia Tengah	<i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i> (AAS)	Hasil menunjukkan bahwa kadar Cd dalam air 0,005–0,017 mg/L dan Cr 0,012–0,036 mg/L, masih di bawah baku mutu. Namun, pada ikan, kadar Cd 0,182–0,295 mg/kg dan Cr 0,421–0,586 mg/kg, melebihi ambang batas WHO dan KepMen LH, menunjukkan bioakumulasi logam berat, terutama pada daging dan insang. Semakin tinggi kadar logam di air, semakin besar akumulasi pada ikan, menandakan potensi risiko kesehatan bagi konsumen
7	Polapa, F. S., Annisa, R. N.,	<i>Quality</i> Indeks dan Konsentrasi	Penelitian deskriptif kuantitatif.	<i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i> (AAS)	Hasil menunjukkan bahwa kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi

	Yanuarita, D., & Ali, S. M. (2022)	Logam Berat dalam Perairan dan Sedimen di Perairan Kota Makassar			dibandingkan air, dengan Pb 0,45–1,32 mg/kg, Cd 0,03–0,09 mg/kg, Cu 1,12–3,44 mg/kg, dan Zn 7,21–15,87 mg/kg. Kondisi ini menandakan adanya akumulasi logam berat di sedimen, yang dapat mempengaruhi kualitas perairan dan organisme akuatik di Kota Makassa
8	Barchiesi, F., Latini, M., Roila, R., et al. (2020), 19–21	<i>Heavy Metals Contamination in Shellfish: Benefit-Risk Evaluation in Central Italy</i>	Kerang dari pesisir Italia Tengah	<i>Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) & Benefit-Risk Assessment (BRA)</i>	Hasil penelitian ini menunjukkan kadar logam berat pada kerang: Pb 0,12–0,65 mg/kg, Cd 0,01–0,09 mg/kg, Hg 0,02–0,07 mg/kg, dan As 0,03–0,15 mg/kg. Beberapa sampel melebihi batas aman untuk konsumsi manusia terutama Pb dan Cd. Analisis BRA menegaskan adanya potensi risiko

					kesehatan akibat paparan kronis
9	Zhang, S., Fu, K., Gao, S., Liang, B., Lu, J., & Fu, G. (2023). <i>Water</i> , 15(12), 2218. MDPI.	<i>Bioaccumulation of Heavy Metals in the Water, Sediment, and Organisms from the Sea Ranching Areas of Haizhou Bay in China</i>	Air laut, sedimen, dan organisme (ikan, kerang, dan udang) dari wilayah Haizhou Bay.	<i>Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) dan perhitungan bioaccumulation factor (BAF).</i>	Hasil pemeriksaan menunjukkan kadar logam berat pada sedimen: Cu 10,7–25,2 mg/kg, Pb 8,25–33,6 mg/kg, Zn 41,6–78,5 mg/kg, Cr 28,5–57,5 mg/kg, As 3,36–18,6 mg/kg, Hg 0,0022–0,0156 mg/kg, dan Ni 12,5–37,2 mg/kg. Konsentrasi logam berat pada organisme laut bervariasi, dengan nilai BAF tertinggi ditemukan pada Cu dan Zn, menandakan terjadinya bioakumulasi aktif di jaringan biota. Secara keseluruhan, beberapa logam menunjukkan potensi risiko ekologis sedang hingga tinggi di wilayah tersebut

10	Retnosari, F., Andriyono, S., & Dewi, N. N. (2024). <i>Journal of Marine and Coastal Science</i> , 13(2), 78–9	<i>Bioaccumulation of Heavy Metals Lead, Copper, and Zinc in Mangrove Roots Avicennia marina, Water, and Sediment in Panceng Waters, Gresik, Jawa Timur</i>	Akar mangrove <i>Avicennia marina</i> , air laut, dan sedimen di beberapa lokasi Panceng, Gresik	CP-MS untuk pengukuran Pb, Cu, Zn; perhitungan BCF dan indeks pencemaran.	Kadar logam di akar mangrove: Pb $\approx$ 0,3 mg/kg, Cu $\approx$ 1,205 mg/kg, Zn $\approx$ 0,14 mg/kg. Sedimen: Pb $\approx$ 5,49 mg/kg, Cu $\approx$ 15,7 mg/kg, Zn $\approx$ 30,6 mg/kg. Air laut: logam tidak terdeteksi. BCF < 1 (ekskluder), indeks pencemaran ringan-sedang. Mangrove <i>Avicennia marina</i> berpotensi sebagai fitoremediator
----	--	---	--	---	---

BAB III

KERANGKA KONSEP

A. Dasar Pemikiran

Kadmium (Cd) merupakan logam berat beracun yang banyak ditemukan di lingkungan dan menjadi masalah serius secara global. Karena sifatnya yang persisten dan mudah tersedia secara biologis, logam berat ini dapat menimbulkan ancaman besar terhadap ekosistem, terutama ekosistem perairan. Sebagian besar pelepasan Cd ke perairan berasal dari aktivitas manusia, sehingga perairan menjadi tempat utama terakumulasinya logam berat ini (Shukla *et al.*, 2023).

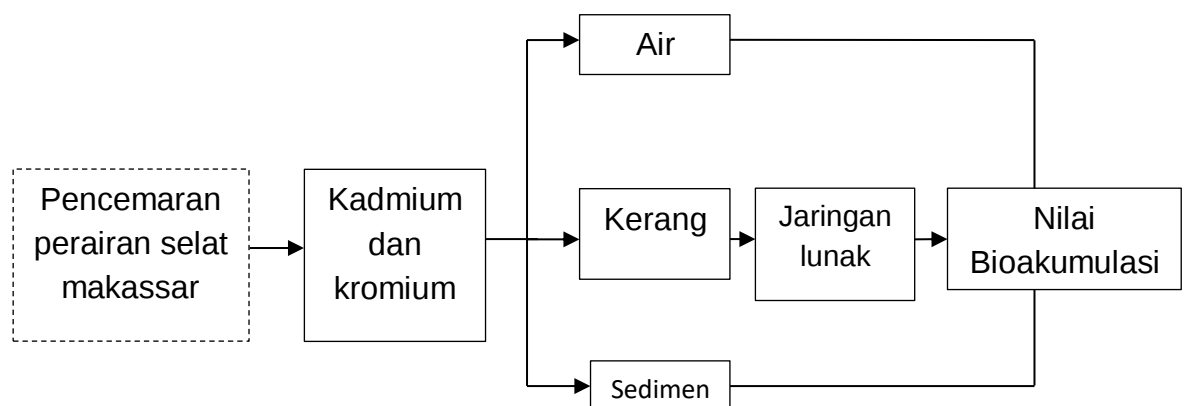
Kromium merupakan logam yang bersifat persisten, mudah terakumulasi di tubuh makhluk hidup, dan memiliki tingkat toksisitas yang tinggi. Karena tidak dapat terurai secara alami di lingkungan, kromium cenderung bertahan dalam waktu lama dan akhirnya dapat menumpuk dalam tubuh manusia melalui rantai makanan (Berniyanti, 2020).

Pencemaran logam berat di ekosistem laut merupakan masalah yang mendapat perhatian serius, karena sebagian besar logam berat terbawa ke laut dan terakumulasi tanpa mengalami penguraian. Salah satu cara menilai tingkat pencemaran adalah dengan mengukur konsentrasinya pada air dan sedimen. Di perairan Kota Makassar, kadar logam berat tercatat berfluktuasi cukup signifikan (Polapa *et al.*, 2022).

Proses bioakumulasi menyebabkan logam ini menumpuk dalam jaringan biota, dan ketika biota tersebut dikonsumsi manusia, kondisi ini berpotensi menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan (Herbila *et al.*, 2022).

Bioakumulasi adalah proses penumpukan zat berbahaya dalam organisme ketika laju masuknya melebihi kemampuan eliminasi, sehingga logam berat tetap berada dalam rantai makanan. Di ekosistem akuatik, logam berat terakumulasi melalui air, sedimen, dan biota, dengan konsentrasinya dipengaruhi suhu, pH, dan salinitas. Secara global, peningkatan pencemaran logam berat sejak 2000 hingga 2025 menimbulkan ancaman serius bagi keseimbangan ekosistem dan kesehatan manusia (Nzmul *et al.*, 2025).

B. Bagan Kerangka Konsep



Ket: Pencemaran perairan selat makassar tidak diteliti

C. Definisi Oprasional dan Kriteria Objek

1. Kadmium

a. Kadmium pada kerang

1) Definisi operasional

Jumlah kandungan logam kadmium (Cd) yang ada pada jaringan tubuh kerang di perairan Selat Makassar diukur menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Hasil pengukuran dinyatakan mg/kg.

2) Kriteria objektif

Berdasarkan Baku Mutu Peraturan No. 22 Tahun 21 batas maksimum kandungan kadmium (Cd) dalam kerang ditetapkan sebesar 0,001 mg/kg

a) Memenuhi syarat apabila kadar $Cd \leq 0,001$ mg/kg

b) Tidak memenuhi syarat apabila kadar $Cd > 0,001$ mg/kg

b. Kadmium pada Air

1) Defini operasional

Jumlah kandungan logam kadmium (Cd) yang ada di perairan selat Makassar diukur menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Hasil pengukuran dinyatakan dalam satuan mg/L.

2) Kriteria objektif

- a) Memenuhi syarat apabila kadar Cd $\leq 0,01$ mg/L (VI PP No. 22 Tahun 2021)
- b) Tidak memenuhi syarat apabila kadar Cd $> 0,01$ mg/L (PP No. 22 Tahun 2021)

c. Kadmium pada sedimen

1) Defini operasional

Jumlah kandungan logam kadmium (Cd) yang ada pada sedimen di perairan selat Makassar diukur menggunakan *Atomic absorption spectrophotometer* (AAS).

2) Kriteria objektif

Standar yang digunakan merujuk pada ANZECC/AMRCANZ (2000), yang menetapkan nilai maksimum 1,5 mg/kg sebagai batas aman konsentrasi kadmium dalam sedimen untuk lingkungan yaitu:

- a) Memenuhi syarat jika kadar Cd $\leq 1,5$ mg/kg
- b) Tidak memenuhi syarat jika kadar Cd $> 1,5$ mg/kg

2. Kromium (Cr)

a. Kromium pada kerang

1) Definisi operasional

Jumlah kandungan logam Kromium (Cr) yang ada pada jaringan tubuh kerang di perairan Selat Makassar diukur

menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

Hasil pengukuran dinyatakan mg/kg.

2) Kriteria objektif

Berdasarkan WHO/FOA batas maksimum kandungan Kromium (Cr) dalam kerang ditetapkan sebesar 0,1 kg

c) Memenuhi syarat apabila kadar $\leq 0,1$ kg

d) Tidak memenuhi syarat apabila kadar Cr $> 0,1$ kg

b. Kromium pada air

1) Defini operasional

Jumlah kandungan logam kromium (Cr) yang ada di perairan selat Makassar diukur menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Hasil pengukuran dinyatakan dalam satuan mg/L

2) Kriteria objektif

Standar yang digunakan merujuk pada Baku Mutu Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 yang menetapkan nilai maksimum 0,005 mg/L sebagai batas aman konsentrasi kromium dalam air laut yaitu:

a) Memenuhi syarat jika kadar Cr $\leq 0,005$ mg/L

b) Tidak memenuhi syarat jika kadar Cr $> 0,005$ mg/L

c. Kromium pada sedimen

1) Defini operasional

Jumlah kandungan logam kromium (Cr) yang ada pada sedimen di perairan selat Makassar diukur menggunakan *Atomic absorption spectrophotometer* (AAS). Hasil pengukuran dinyatakan dalam satuan mg/kg.

2) Kriteria objektif

Standar yang digunakan merujuk pada ANZECC/AMRCANZ (2013), yang menetapkan nilai maksimum 0,001 mg/Kg sebagai batas aman konsentrasi kadmium dalam sedimen untuk lingkungan yaitu:

- c) Memenuhi syarat jika kadar Cr $\leq 0,001$ mg/kg
- d) Tidak memenuhi syarat jika kadar Cr $> 0,001$ mg/kg

3. Faktor Bioakumulasi

a. Definisi operasional

Bioakumulasi ialah proses terjadi ketika organisme menyimpan racun lebih cepat daripada yang bisa dibuang, sehingga konsentrasinya bertambah seiring waktu (Olaoye *et al.*, 2024).

b. Kriteria objektif

- 1) Rendah <1
- 2) Sedang $= 1$
- 3) Tinggi >1

Faktor bioakumulasi (BAF) dihitung untuk mengetahui sejauh mana logam berat kadmium (Cd) terakumulasi dalam

tubuh kerang dibandingkan dengan kadar Cd di air dan sedimen dengan rumus (Agarwal et al., 2020).

$$BAF = \frac{C_{Organisme}}{C_{lingkungan}}$$

Keterangan:

BAF = Faktor bioakumulasi

$C_{organismes}$ = konsentrasi logam berat dalam organisme

$C_{lingkungan}$ = konsentrasi logam berat dalam air dan sedimen

BAB IV

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan observasional dengan pendekatan deskriptif untuk mengetahui nilai bioakumulasi logam berat kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) pada kerang bakalang, air dan sedimen di Perairan Selat Makassar. Penelitian ini meliputi observasi lapangan dan pengambilan sampel dan dilanjutkan pemeriksaan di Laboratorium, analisa data serta penyusunan laporan hasil penelitian.

B. Waktu dan Lokasi Penelitian

1. Waktu Penelitian

Penelitian ini di lakukan pada bulan Desember 2025 – februari 2026.

2. Lokasi penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di perairan Selat Makassar. Penelitian ini meliputi observasi lapangan dan pengambilan sampel dan dilanjutkan pemeriksaan di Laboratorium, analisa data serta penyusunan laporan hasil penelitian. Pengambilan sampel dilakukan pada 6 titik perairan Selat Makassar. Pengujian konsentrasi logam berat Kadmium (Cd) dan kromium (Cr) dilakukan di Laboratorium Produktivitas dan Kualitas Perairan Fakultas Ilmu Kelautan dan Ilmu Perikanan Universitas Hasanuddin.

C. Populasi

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh kerang, air dan sedimen yang berada di wilayah perairan Selat Makassar.

D. Sampel

Sampel dalam penelitian ini adalah kerang bakalang, air dan sedimen yang ada di perairan Selat Makassar.

E. Teknik Pengambilan Sampel

1. Kerang

Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan teknik *purposive random sampling*, yaitu pemilihan lokasi berdasarkan pertimbangan kondisi lingkungan dan keberadaan populasi kerang bakalang. Sampel kerang diambil secara langsung dari perairan menggunakan jaring nelayan. Kerang yang tertangkap kemudian dipilih secara acak, dimasukkan ke dalam wadah plastik atau kantong polietilen berlabel, dan disimpan dalam *cool box* selama proses transportasi ke laboratorium untuk dilakukan analisis logam berat.

2. Air

Cara pengambilan pada sampel air dilakukan dengan teknik *purposive sampling* yaitu pengambilan sampel dengan pertimbangan tertentu berdasarkan daerah titik air yang peneliti anggap berpotensi tercemar, sampel air diambil sebanyak 1liter/botol. Setelah itu

dilakukan penandaan (*labeling*) pada setiap sampel dari setiap titik pada lokasi penelitian dan dianalisis di laboratorium.

3. Sedimen

Pengambilan sampel sedimen dilakukan di perairan Selat Makassar, sampel sedimen dikumpulkan dari dasar perairan menggunakan *ekman grab*, dengan kedalaman 5-10 cm dari permukaan. Titik pengambilan sampel sebagai berikut:

Pada titik 1, berada dekat hutan mangrove yang mampu menyerap logam berat dari air dan sedimen. Lokasinya jauh dari industri, tambak, dan permukiman padat sehingga pengaruh aktivitas antropogenik rendah.

Pada titik 2, terletak di kawasan budidaya tambak kepiting dan ikan. Aktivitas seperti penggunaan pakan buatan, bahan kimia pengelolaan tambak, serta potensi limbah buangan menjadikan daerah ini sumber utama pencemaran. Selain itu, kontaminasi juga dapat berasal dari peralatan atau bahan kimia yang digunakan selama kegiatan budidaya.

Pada titik 3, dekat kawasan industri dipilih karena aktivitas industri merupakan sumber utama pelepasan logam berat ke lingkungan, sehingga lokasi ini sangat relevan untuk menilai potensi kontaminasi yang sebenarnya terjadi di perairan.

Pada titik 4, yaitu jalur lalu lintas nelayan dipilih karena area ini berpotensi terpapar pencemaran dari aktivitas perahu, seperti sisa

bahan bakar dan cat *anti-fouling*, sehingga penting untuk melihat pengaruhnya terhadap kualitas perairan dan bioakumulasi logam berat.

Pada titik 5 di area tambak, industri, dan jalur kapal dipilih karena ketiga aktivitas ini berpotensi menjadi sumber utama masuknya logam berat baik dari limbah tambak, buangan industri, maupun aktivitas kapal sehingga lokasi ini sangat relevan untuk menilai tingkat pencemaran yang paling mungkin terjadi.

Pada titik 6, dekat permukiman padat dipilih karena area ini berpotensi menerima limbah domestik yang dapat membawa logam berat ke perairan, sehingga penting untuk menilai dampak aktivitas masyarakat terhadap tingkat pencemaran.

F. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung di lapangan dengan meninjau lokasi penelitian, serta mengambil sampel kerang, air dan sedimen yang terdapat di perairan Selat Makassar.

G. Sumber Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini mencakup dua jenis, yaitu:

1. Data primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari lapangan melalui kegiatan pengambilan sampel. Pada penelitian

ini, data primer berasal dari sampel yang telah dikumpulkan dan dianalisis di laboratorium.

2. Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh melalui penelusuran pustaka maupun literatur yang relevan dengan penelitian. Dalam penelitian ini, data sekunder dikumpulkan dari berbagai sumber, termasuk buku, jurnal ilmiah, dan literatur lain yang mendukung topik penelitian.

H. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilaksanakan sebagai berikut:

1. Menetapkan lokasi yang akan dijadikan sebagai area pengambilan sampel penelitian.
2. Menentukan titik pengamatan serta titik pengambilan sampel pada setiap lokasi penelitian.
3. Melaksanakan pemeriksaan sampel di laboratorium untuk mengetahui kandungan logam berat.
4. Melakukan analisis data secara kuantitatif terkait bioakumulasi logam berat pada kerang, air dan sedimen.

I. Metode Pemeriksaan

Sampel air sedimen dan ikan diambil pada 6 titik di perairan Selat Makassar kemudian diuji menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

J. Prosedur Pemeriksaan Sampel

Pemeriksaan sampel dilaksanakan di Laboratorium Produktivitas dan Kualitas Perairan Fakultas Ilmu Kelautan dan Ilmu Perikanan Universitas Hasanuddin. dengan prosedur pelaksanaan sebagai berikut:

1. Alat dan bahan

a. Alat

- 1) *Atomic Absorption Spectrophotometer* atau *cold vapor atomic absorption spectroscopy (CV-AAS)*
- 2) Neraca analitik
- 3) Pisau atau alat pemotong
- 4) Mortar dan pestle
- 5) Saringan atau kain kasa
- 6) Pinset
- 7) Corong
- 8) Plastik sampel
- 9) Timbangan neraca
- 10) *Funnel stand* (rak corong)
- 11) *Hot plate*
- 12) *Blup*
- 13) Cawan persolen
- 14) *Waterbath*
- 15) Gelas ukur
- 16) Pipet *volumetrik*

17) *Corong buchner*

18) Labu bakar dan tabung reaksi

19) *Funnel stand* (rak corong)

20) oven

b. Bahan

1) Kerang

2) Air

3) Sedimen

4) Asam nitrat (HNO_3)

5) Larutan standar kadmium (Cd)

c. Prosedur kerja

1) Kerang

a) Pisahkan daging kerang dari cangkangnya menggunakan pisau, kemudian bersihkan dari kotoran yang menempel,

b) Keringkan sampel kerang dengan oven pada suhu 105°C selama 24 jam,

c) Timbang 1 gram daging kerang yang sudah kering, masukkan ke dalam cawan porselen, lalu bakar (*ashing*) pada suhu 500°C selama 2 jam hingga menjadi abu,

d) Dinginkan abu kerang, kemudian tambahkan 5 ml asam nitrat pekat (HNO_3),

e) Larutkan abu dalam 50 ml aquadest, saring menggunakan kertas saring, dan masukkan ke dalam labu ukur 100 ml,

- f) Sampel siap dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) untuk mengetahui kandungan logam berat.

2) Air

- a) Ambil sebanyak 100 mL sampel air dan masukkan kedalam labu *erlenmeyer*,
- b) Siapkan pula 100 mL larutan blanko dan tiga larutan standar kerja ke dalam masing-masing erlenmeyer,
- c) Tambahkan pekat dan 2,5 mL asam nitrat (HNO_3) pekat ke setiap erlenmeyer,
- d) Tambahkan 15 mL larutan asam perklorat (HClO_4) pekat ke masing-masing *Erlenmeyer* untuk melengkapi proses destruksi,
- e) Panaskan seluruh larutan di atas hot plate dengan suhu $\pm 120^\circ\text{C}$ hingga volume tersisa sekitar 25 mL dan larutan menjadi jernih (tanda logam telah larut sempurna),
- f) Setelah dingin, saring larutan menggunakan kertas saring bebas logam ke dalam labu ukur 50 mL,
- g) Tambahkan air suling bebas logam hingga tanda batas (50 mL),
- h) Larutan hasil destruksi siap dianalisis menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) pada panjang

gelombang 228,8 nm untuk pengukuran kadar Kadmium (Cd).

3) Sedimen

- a) Ambil 10-50 g sedimen, pastikan tidak terkontaminasi,
- b) Keringkan sampel yang masih mengandung air dalam oven bersuhu 60–70 °C hingga kering,
- c) Giling dan ayak sedimen hingga partikel < 100 mesh,
- d) Timbang 0,5–1g sedimen, kemudian larutkan menggunakan campuran asam HNO_3 dan HCl (atau H_2SO_4) di dalam labu digestasi,
- e) Panaskan larutan pada suhu 90–100°C untuk melarutkan dan melepaskan kandungan kadmium (Cd),
- f) Tambahkan NaBH_4 untuk mereduksi ion Cd^{2+} menjadi bentuk hidrida yang siap dianalisis dengan AAS,
- g) Saring larutan dan pindahkan ke tabung ukur,
- h) Analisis sampel menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer*

K. Pengolahan dan Analisis Data

1. Pengelolahan Data

Data titik koordinat hasil pencatatan GPS kemudian dimasukkan ke dalam aplikasi pemetaan ArcGIS. Data tersebut

diolah untuk menampilkan posisi setiap titik sampling dan membuat peta lokasi penelitian.

2. Analisis Data

Sampel air, sedimen, dan kerang yang diambil pada 6 titik di Selat Makassar selanjutnya diuji di Laboratorium Produktivitas dan Kualitas Perairan Fakultas Ilmu Kelautan dan Ilmu Perikanan Universitas Hasanuddin. Hasil pengujian tersebut kemudian diolah dengan menghitung nilai *Bioaccumulation Factor* (BAF). Faktor bioakumulasi (BAF) digunakan untuk mengetahui kemampuan dalam kerang tersebut terhadap air ataupun sedimen melalui rumus berikut:

$$BAF = \frac{C_{organisme}}{C_{lingkungan}}$$

Keterangan:

C_b = konsentrasi logam diorganisme

C_w = konsentrasi logam dilingkungan (Sintie, 2022).

L. Penyajian Data

Data hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan dijelaskan melalui narasi untuk mendukung pembahasan hasil penelitian.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Selat Makassar merupakan selat yang terletak di Indonesia, memisahkan Pulau Kalimantan di barat dan Pulau Sulawesi di timur. Selat ini membentang ± 800 km dari utara ke selatan dengan lebar rata-rata sekitar 200 km dan kedalaman mencapai lebih dari 2.000 meter di beberapa bagian. Secara geografis, Selat Makassar berada pada kisaran 5° LU– 3° LS dan 118° – 123° BT, menempati posisi strategis antara dua pulau besar Indonesia. Selat ini menjadi jalur perairan penting yang menghubungkan Samudra Pasifik di utara dengan Laut Java di selatan, di mana arus lautnya dipengaruhi oleh pasang surut, angin muson, dan sirkulasi regional, sehingga menghasilkan pola pergerakan air dan distribusi sedimen yang dinamis.

Dasar Selat Makassar terdiri dari kombinasi sedimen lumpur, pasir, dan batuan vulkanik, sedangkan wilayah pesisirnya didominasi ekosistem mangrove, padang lamun, dan terumbu karang, yang berperan sebagai habitat penting bagi berbagai jenis ikan, kerang, dan biota laut lainnya. Kondisi geografis dan ekosistem ini menjadikan Selat Makassar sebagai wilayah dengan produktivitas laut tinggi, namun juga rentan terhadap tekanan antropogenik seperti polusi, aktivitas perikanan, dan transportasi laut. Oleh karena itu, pemahaman mengenai

keadaan geografis dan karakteristik ekosistemnya menjadi penting untuk pengelolaan lingkungan perairan yang berkelanjutan dan penelitian kualitas air maupun biota laut.

Tabel 5. 1
Titik Pengambilan Sampel Di Perairan Selat Makassar
Tahun 2026

Sampel	Titik Koordinat		Deskripsi Lokasi
	LS	BT	
Titik 1	-5.074754	119.4660	Dekat hutan mangrove
Titik 2	-5.083416	119.4557	Dekat area tambak
Titik 3	-5.079357	119.4564	Dekat kawasan industri
Titik 4	-5.077023	119.4649	Jalur lalu lintas kapal
Titik 5	-5.354337	119.2759	Dekat dengan area industri tambak dan kapal
Titik 6	-5.068714	119.4668	Dekat degan pemukiman padat penduduk

Tabel 5.1 menunjukkan enam titik pengambilan sampel di perairan Selat Makassar beserta koordinat dan deskripsi lokasi, mulai dari hutan mangrove, area tambak, kawasan industri, jalur kapal, hingga pemukiman padat penduduk. Data ini digunakan sebagai dasar penentuan lokasi pengambilan sampel kerang, Air dan Sedimen untuk analisis kandungan logam berat.

B. Hasil Penelitian

1. Hasil pengukuran Kadmium Pada kerang

Tabel 5.2
Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) Pada Kerang Bakalang
Di Perairan Selat Makassar Tahun 2026

Titik	Satuan	Parameter	Ket.
		Kadmium	
Titik 1	mg/kg	0,2973	TMS
Titik 2	mg/kg	0,4111	TMS
Titik 3	mg/kg	0,3538	TMS
Titik 4	mg/kg	0,3300	TMS
Titik 5	mg/kg	0,4993	TMS
Titik 6	mg/kg	0,3264	TMS

(Sumber: Data Primer 2026)

Keterangan

MS : Memenuhi syarat

TMS : Tidak Memenuhi Syarat

Baku Mutu Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021

Berdasarkan Tabel 5.2, kandungan Kadmium (Cd) pada kerang bakalang di Perairan Selat Makassar berkisar antara 0,2973–0,4993 mg/kg, dengan nilai tertinggi pada Titik 5 dan terendah pada Titik 1. Jika dibandingkan dengan baku mutu Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 yang ditetapkan sebesar 0,001 mg/kg, maka seluruh nilai tersebut melebihi baku mutu yang ditetapkan atau Tidak Memenuhi Syarat (TMS).

2. Hasil pengukuran kromium pada kerang

Tabel 5.3
Kandungan Logam Berat Kromium (Cr) Pada Kerang Bakalang
Di Perairan Selat Makassar Tahun 2026

Sampel	Satuan	Parameter	Ket .
		Kromium	
Titik 1	mg/kg	<0,01	MS
Titik 2	mg/kg	<0,01	MS
Titik 3	mg/kg	<0,01	MS
Titik 4	mg/kg	<0,01	MS
Titik 5	mg/kg	<0,01	MS
Titik 6	mg/kg	<0,01	MS

(Sumber: Data Primer 2026)

Keterangan

MS : Memenuhi syarat

TMS : Tidak Memenuhi Syarat

Berdasarkan WHO/FAO sebesar 0,1 mg/kg

Berdasarkan Tabel 5.3, kandungan logam berat kromium (Cr) pada kerang bakalang di Perairan Selat Makassar tahun 2026 tercatat <0,01 mg/kg pada seluruh titik sampling (Titik 1–6). Jika dibandingkan dengan batas aman WHO/FAO sebesar 0,1 mg/kg, kadar kromium ini jauh berada di bawah batas maksimum yang diperbolehkan, sehingga seluruh sampel kerang memenuhi syarat (MS) dan aman untuk dikonsumsi.

3. Hasil pengukuran Kadmium pada air

Tabel 5.4
Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) Pada Air
Di Perairan Selat Makassar Tahun 2026

Sampel	Satuan	Parameter	Ket .
		kadmium	
Titik 1	mg/L	<0,003	MS
Titik 2	mg/L	<0,003	MS
Titik 3	mg/L	<0,003	MS
Titik 4	mg/L	<0,003	MS
Titik 5	mg/L	<0,003	MS
Titik 6	mg/L	<0,003	MS

(Sumber: Data Primer 2026)

Keterangan:

MS : Memenuhi syarat

TMS : Tidak Memenuhi Syarat

Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021

Berdasarkan Tabel 5.4, konsentrasi logam berat Kadmium (Cd) pada air di perairan Selat Makassar pada seluruh titik sampling adalah <0,003 mg/L. Nilai tersebut masih di bawah Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 sebesar 0,01 mg/L, sehingga seluruh sampel dinyatakan memenuhi syarat (MS).

4. Hasil pengukuran Kromium Pada Air

Tabel 5.5
Kandungan Logam Berat Kromium (Cr) Pada Air
Di Perairan Selat Makassar Tahun 2026

Sampel	Satuan	Parameter	Ket .
		Kromium	
Titik 1	mg/L	<0,01	BDD
Titik 2	mg/L	<0,01	BDD
Titik 3	mg/L	<0,01	BDD
Titik 4	mg/L	<0,01	BDD
Titik 5	mg/L	<0,01	BDD
Titik 6	mg/L	<0,01	BDD

(Sumber: Data Primer 2026)

Keterangan

MS : Memenuhi syarat

TMS : Tidak Memenuhi Syarat

BDD : Belum Dapat Dievaluasi

Baku Mutu Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021

Berdasarkan Tabel 5.5, seluruh titik sampling menunjukkan konsentrasi Kromium (Cr) <0,01 mg/L. Namun, karena batas deteksi metode (0,01 mg/L) lebih tinggi dari baku mutu Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Lampiran VI sebesar 0,005 mg/L, maka kesesuaian terhadap standar tidak dapat dipastikan. Oleh sebab itu, seluruh sampel dikategorikan sebagai BDD.

5. Hasil Pengukuran Kadmium Pada Sedimen

Tabel 5.6
Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) Pada Sedimen
Di Perairan Selat Makassar Tahun 2026

Sampel	Satuan	Parameter	Ket.
		Kadmium	
Titik 1	mg/kg	<0,003	MS
Titik 2	mg/kg	<0,003	MS
Titik 3	mg/kg	<0,003	MS
Titik 4	mg/kg	<0,003	MS
Titik 5	mg/kg	<0,003	MS
Titik 6	mg/kg	<0,003	MS

(Sumber: Data Primer 2026)

Keterangan

MS : Memenuhi syarat

TMS : Tidak Memenuhi Syarat

Standar yang digunakan merujuk pada ANZECC/AMRCANZ (2000)

Berdasarkan Tabel 5.6, konsentrasi logam berat Kadmium (Cd) pada sedimen di perairan Selat Makassar pada seluruh titik sampling adalah <0,003 mg/L, yang menunjukkan kandungan sangat rendah. Jika dibandingkan dengan standar kualitas sedimen menurut pedoman ANZECC/ARMCANZ (2000) yaitu sebesar 1,5 mg/kg, maka seluruh nilai masih berada di bawah ambang batas, sehingga seluruh sampel dinyatakan memenuhi syarat (MS).

6. Hasil Pengukuran Kromium Pada Sedimen

Tabel 5.7
Kandungan Logam Berat Kromium (Cr) Pada Sedimen
Di Perairan Selat Makassar Tahun 2026

Sampel	Satuan	Parameter	Ket.
		Kromium	
Titik 1	mg/kg	3,9174	TMS
Titik 2	mg/kg	3,1054	TMS
Titik 3	mg/kg	6,0875	TMS
Titik 4	mg/kg	0,9504	TMS
Titik 5	mg/kg	3,1537	TMS
Titik 6	mg/kg	1,6924	TMS

(Sumber: Data Primer 2026)

Keterangan

MS : Memenuhi syarat

TMS : Tidak Memenuhi Syarat

Standar yang digunakan merujuk pada ANZECC/AMRCANZ (2013)(Water & Management, 2000)

Berdasarkan Tabel 5.7, kandungan Kromium (Cr) pada sedimen di Perairan Selat Makassar berkisar antara 0,9504–6,0875 mg/kg dan seluruh titik termasuk kategori TMS (Tidak Memenuhi Syarat). Hal ini karena nilai tersebut telah melebihi standar ANZECC/ARMCANZ (2013) yaitu 0,001 mg/kg, sehingga menunjukkan bahwa sedimen di lokasi penelitian telah mengalami kontaminasi logam berat Kromium.

7. Hasil Perhitungan Faktor Bioakumulasi

Tabel 5.8
Hasil Perhitungan Faktor Bioakumulasi Kerang Pada Air
Di Perairan Selat Makassar Tahun 2026

Titik	Nilai BAF		Kategori
	Kadmium (Cd)	Kromium (Cr)	
1	99,1	1,0	Tinggi
2	137,03	1,0	Tinggi
3	177,93	1,0	Tinggi
4	110,0	1,0	Tinggi
5	166,43	1,0	Tinggi
6	108,8	1,0	Tinggi

(Sumber: Data Primer 2026)

Keterangan

BAF Rendah <1

BAF Sedang $= 1$

BAF Tinggi >1

Berdasarkan Tabel 5.8, nilai faktor bioakumulasi (BAF) Kadmium (Cd) pada kerang berkisar antara 99,1–177,93 dan termasuk dalam kategori tinggi (BAF >1), yang menunjukkan bahwa kerang memiliki kemampuan tinggi dalam mengakumulasi logam Cd dari air. Sedangkan nilai BAF Kromium (Cr) pada seluruh titik sebesar 1,0, yang termasuk kategori sedang, menunjukkan bahwa kemampuan akumulasi Cr oleh kerang relatif seimbang dengan konsentrasi di air. Tingginya nilai BAF Cd menunjukkan bahwa kerang Bakalang berpotensi menjadi bioindikator pencemaran logam berat Kadmium di Perairan Selat Makassar.

Tabel 5.9
Hasil Perhitungan Faktor Bioakumulasi Kerang Pada Sedimen
Di Perairan Selat Makassar Tahun 2026

Titik	Nilai BAF		Kategori
	Kadmium (Cd)	Kromium (Cr)	
1	5,874	0,0025	Tinggi
2	8,222	0,0032	Tinggi
3	7,076	0,0016	Tinggi
4	6,600	0,0105	Tinggi
5	9,986	0,0031	Tinggi
6	7,280	0,0059	Tinggi

(Sumber: Data Primer 2026)

Keterangan

BAF Rendah <1

BAF Sedang = 1

BAF Tinggi >1

Berdasarkan Tabel 5.9, nilai faktor bioakumulasi (BAF) Kadmium (Cd) pada kerang terhadap sedimen berkisar 5,874–9,986 dan termasuk kategori tinggi (BAF >1), menunjukkan kemampuan akumulasi Cd yang tinggi. Sedangkan nilai BAF Kromium (Cr) berkisar 0,0016–0,0105 dan termasuk kategori rendah (BAF <1), yang menunjukkan akumulasi Cr dalam tubuh kerang relatif kecil meskipun terdapat dalam sedimen. Hal ini menunjukkan bahwa kerang lebih mudah mengakumulasi Cd dibandingkan Cr dari sedimen.

C. Pembahasan

Penelitian ini dilaksanakan di perairan Selat Makassar dengan tujuan untuk menganalisis konsentrasi dan faktor bioakumulasi logam berat pada kerang, air, dan sedimen. Pengambilan sampel dilakukan pada enam titik sampling yang telah ditentukan, dimana pada setiap titik diambil masing-masing satu sampel kerang, air, dan sedimen. Parameter logam berat yang dianalisis meliputi Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr). Dengan demikian, sampel yang dikumpulkan dalam penelitian ini mencakup komponen biotik dan komponen abiotik sebagai media yang berperan dalam proses akumulasi logam berat di lingkungan perairan.

Untuk mengevaluasi kadar logam berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) di perairan Selat Makassar, penelitian ini mengambil sampel dari enam titik yang mewakili berbagai kondisi lingkungan: Titik 1 dekat hutan mangrove, Titik 2 area tambak, Titik 3 kawasan industri, Titik 4 jalur lalu lintas kapal, Titik 5 area industri-tambak-kapal, dan Titik 6 pemukiman padat penduduk. Pada setiap lokasi, diambil sampel kerang, air, dan sedimen, yang dianalisis untuk menentukan konsentrasi logam berat. Hasil pengukuran ini digunakan untuk menilai bioakumulasi dan distribusi logam berat, sehingga memberikan gambaran jelas tentang keamanan lingkungan dan potensi risiko bagi ekosistem serta kesehatan manusia.

Kadar logam berat di perairan dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk aktivitas manusia seperti industri, tambak, dan lalu lintas kapal, serta kondisi alami seperti keberadaan hutan mangrove dan karakteristik sedimen. Faktor-faktor ini menentukan apakah konsentrasi Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) menjadi tinggi atau rendah di setiap lokasi. Beberapa logam, seperti Cr, kadang berada pada kadar yang sangat rendah hingga mendekati atau di bawah batas deteksi alat, sehingga tidak terukur secara langsung. Pemahaman terhadap pengaruh ini penting untuk menilai risiko ekologis dan mengatur pemantauan lingkungan secara efektif.

1. Logam Berat Kadmium

a. Kerang

Kerang merupakan organisme *filter feeder* yang menyaring partikel dari air untuk memperoleh makanan, sehingga lebih mudah mengabsorpsi logam berat yang terdapat di lingkungannya dan memungkinkan logam tersebut terakumulasi dalam tubuh dalam jangka waktu yang lama. Organisme dengan mekanisme *filter feeder* memiliki kemampuan lebih besar dalam mengakumulasi logam berat karena proses penyaringan berlangsung secara terus-menerus dan mobilitasnya relatif rendah, sehingga paparan logam berat dari lingkungan cenderung terjadi secara konstan dan terakumulasi di dalam jaringan tubuhnya (Ernaningsih *et al.*, 2023).

Kadmium (Cd) bersifat beracun bagi organisme meskipun terdapat dalam konsentrasi yang sangat rendah. Tingkat toksisitasnya dipengaruhi oleh durasi dan konsentrasi paparan; paparan jangka panjang dengan konsentrasi tinggi meningkatkan risiko efek toksik yang lebih serius. Paparan sekali saja pada dosis tinggi dapat menimbulkan gangguan pada saluran pencernaan, sementara paparan berulang pada dosis rendah berpotensi merusak fungsi ginjal. Karena kemampuannya menumpuk baik di sedimen maupun dalam tubuh organisme, Cd dapat mengganggu sistem biologis. Logam berat ini tergolong berbahaya karena tidak dapat diuraikan oleh organisme hidup (Pulungan & Wahyuni, 2021).

Berdasarkan Tabel 5.2, kandungan Kadmium (Cd) pada kerang bakalang di Perairan Selat Makassar berkisar 0,2973–0,4993 mg/kg dan seluruh titik termasuk kategori Tidak Memenuhi Syarat (TMS). Titik 1 (0,2973 mg/kg) yang berada dekat hutan mangrove menunjukkan nilai terendah, diduga karena fungsi mangrove sebagai penyaring alami. Titik 2 (0,4111 mg/kg) di area tambak dan Titik 3 (0,3538 mg/kg) dekat kawasan industri menunjukkan pengaruh aktivitas budidaya dan industri terhadap keberadaan Cd. Titik 4 (0,3300 mg/kg) pada jalur lalu lintas kapal mengindikasikan kontribusi aktivitas transportasi laut. Titik 5 (0,4993 mg/kg) merupakan nilai tertinggi karena berada

dekat industri, tambak, dan jalur kapal, sehingga potensi sumber pencemar lebih besar. Sementara itu, Titik 6 (0,3264 mg/kg) dekat pemukiman padat penduduk menunjukkan kemungkinan pengaruh limbah domestik terhadap akumulasi Cd pada kerang.

Selain itu, tingginya kandungan Cd pada kerang bakalang juga berkaitan dengan sifat biologis kerang sebagai organisme *filter feeder* yang memperoleh makanan dengan cara menyaring partikel dan plankton dari air. Proses penyaringan ini memungkinkan logam berat yang terlarut maupun yang terikat pada partikel tersuspensi ikut masuk dan terakumulasi di dalam jaringan tubuh kerang.

Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Island & Regency. 2023 melaporkan bahwa kandungan Kadmium (Cd) dalam daging kerang darah (*Anadara granosa*) di dua stasiun sampling masing-masing sebesar 0,0781 mg/kg dan 1,1123 mg/kg. Hasil ini menunjukkan variasi kadar Cd pada kerang di lokasi yang berbeda, yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan lokal seperti kualitas sedimen, aktivitas antropogenik, dan tingkat pencemaran perairan.

Namun, hasil ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Salman. 2020 yaitu hasil survei menunjukkan bahwa kadar Cd pada kerang hijau (*Perna viridis*) berada di bawah batas deteksi alat ($<0,00011$ mg/L), masih di bawah baku

mutu logam berat yang ditetapkan untuk biota laut. Temuan tersebut memberikan bukti bahwa di beberapa perairan, konsentrasi Cd pada kerang dapat sangat rendah, terutama di lokasi yang belum mengalami pencemaran berat. Perbedaan nilai ini kemungkinan dipengaruhi oleh kondisi lokal, seperti tingkat pencemaran, dinamika arus, dan karakteristik sedimen, yang secara langsung memengaruhi akumulasi logam berat pada *biota filtrator*.

Akumulasi Kadmium (Cd) yang tinggi pada kerang berpotensi menimbulkan risiko kesehatan bagi masyarakat yang mengonsumsi kerang dari perairan tercemar. Cd bersifat toksik dan persisten, sehingga apabila dikonsumsi dalam jangka panjang dapat menumpuk dalam tubuh manusia, terutama di ginjal dan hati, serta berpotensi menimbulkan gangguan fungsi organ, kerusakan sistem pencernaan, dan masalah kesehatan kronis seperti hipertensi atau osteoporosis (Nurrizal *et al.*, 2025). Konsumsi kerang yang terkontaminasi Cd secara rutin, meskipun kadarnya terlihat rendah per porsi, dapat menimbulkan akumulasi dosis berbahaya secara bertahap, sehingga masyarakat yang tinggal atau bergantung pada hasil laut dari perairan dengan pencemaran logam berat memiliki risiko kesehatan yang lebih tinggi.

b. Air

Logam berat merupakan jenis pencemar air yang bersifat persisten dan sulit terdegradasi di lingkungan atau ekosistem. Selain berada di fase perairan, logam berat juga cenderung mengendap dan terakumulasi dalam sedimen. Pencemar ini bersifat toksik bagi organisme akuatik dan berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem perairan (Al *et al.*, 2024).

Keberadaan logam berat di perairan berdampak langsung pada biota karena organisme mampu mengakumulasi logam yang ada di air. Logam berat juga cenderung menumpuk di air dan sedimen, sehingga dapat masuk ke dalam jaringan biota. Pada konsentrasi tertentu, akumulasi ini dapat terjadi secara simultan di air, biota, dan sedimen, yang berpotensi menimbulkan efek toksik dan mengganggu keseimbangan ekosistem perairan (Winerungan *et al.*, 2025). Untuk mengetahui kondisi aktual pada media air, dilakukan analisis konsentrasi Kadmium (Cd) pada setiap titik sampling.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat kadmium (Cd) pada air di seluruh titik sampling di perairan Selat Makassar berada pada nilai $<0,003$ mg/L. Nilai ini berada di bawah baku mutu kualitas air laut yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 yaitu sebesar 0,01

mg/L, sehingga secara umum kondisi perairan pada lokasi penelitian masih tergolong memenuhi syarat dari aspek kandungan Cd di media air. Rendahnya konsentrasi kadmium pada air dapat disebabkan oleh sifat logam berat yang cenderung tidak stabil berada dalam kolom air. Kadmium biasanya lebih mudah berikatan dengan partikel tersuspensi dan bahan organik yang terdapat di perairan, kemudian mengalami proses pengendapan dan terakumulasi pada sedimen. Proses ini menyebabkan konsentrasi Cd yang terdeteksi pada air relatif lebih rendah dibandingkan pada biota perairan. Selain itu, faktor hidrodinamika seperti arus laut, pasang surut, dan proses pengenceran oleh massa air juga dapat menurunkan konsentrasi logam berat dalam air.

Nilai $<0,003$ mg/L menunjukkan bahwa kandungan kadmium berada di bawah batas *Limit of Detection (LOD)* yang digunakan dalam analisis laboratorium, sehingga kadarnya sangat rendah dan tidak dapat terukur secara pasti, meskipun kemungkinan masih ada dalam jumlah kecil. *Limit of Detection (LOD)* adalah batas terendah konsentrasi analit pada sampel yang masih dapat terdeteksi oleh suatu instrumen analitik, meskipun hasilnya belum dapat dinyatakan dengan akurasi atau presisi tinggi (Akhil et al., 2019).. Meskipun demikian, keberadaan logam berat di perairan tetap perlu diperhatikan

karena bersifat persisten dan sulit terdegradasi di lingkungan, sehingga berpotensi terakumulasi pada sedimen dan organisme perairan. Dalam jangka panjang, akumulasi logam berat pada biota seperti kerang dapat masuk ke rantai makanan dan berpotensi menimbulkan risiko bagi kesehatan manusia yang mengonsumsinya.

Temuan ini sejalan dengan Chasimira *et al.* 2025 yang melaporkan konsentrasi Kadmium (Cd) di air laut pada Periode 1 (18 September 2024) sebesar $<0,0008$ mg/L pada seluruh titik pengukuran, dan pada Periode 2 (22 Oktober 2024) sebesar $<0,001$ mg/L. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kadar Cd di perairan laut berada sangat rendah, bahkan di bawah batas deteksi alat, menandakan tingkat kontaminasi logam berat yang minimal. Kondisi ini mengindikasikan bahwa dinamika perairan dan pencampuran alami efektif menjaga kualitas air, sehingga risiko toksik bagi biota dan manusia melalui rantai makanan relatif rendah (Chasimira *et al.*, 2025).

Temuan lain yang mendukung diperoleh dari penelitian yang dilakukan Fikri *et al.*, 2026 di perairan Cilegon juga menunjukkan bahwa konsentrasi Kadmium (Cd) dalam air laut berada pada kisaran $<0,00003$ mg/L di seluruh stasiun pengamatan, yang menunjukkan bahwa Cd umumnya ditemukan dalam konsentrasi sangat rendah di perairan laut. Hal ini

menegaskan bahwa logam Cd di lingkungan perairan cenderung berada dalam jumlah kecil, namun tetap berpotensi mengalami akumulasi dalam sedimen dan organisme perairan apabila terjadi masukan pencemar secara terus-menerus.

Namun berbeda dengan yang dilakukan oleh Anggraini & Puryanti, 2019 dalam penelitian nya Cd dalam air laut mencapai 0,005 mg/L, yang dilaporkan telah melebihi baku mutu lingkungan yang berlaku untuk air laut di beberapa standar lokal. Kandungan logam berat Cd yang melebihi baku mutu air laut ini disebabkan kegiatan yang terdapat di sekitar pelabuhan seperti kegiatan rumah tangga dan industri. Hal ini menunjukkan bahwa Cd tidak selalu berada pada konsentrasi sangat rendah, terutama di wilayah dengan aktivitas pelabuhan dan urban.

Dengan demikian, meskipun konsentrasi Kadmium (Cd) di perairan Pelat Makassar tercatat sangat rendah dan memenuhi baku mutu, kondisi ini tidak sepenuhnya menghilangkan risiko akumulasi logam berat pada ekosistem. Air yang relatif bersih mencerminkan kemampuan alami perairan dalam mendispersikan dan mencampur kontaminan, namun logam berat tetap dapat mengendap di sedimen atau terserap oleh organisme tertentu jika terjadi masukan pencemar secara terus-menerus.

c. Sedimen

Sedimen terbentuk melalui proses alami yang kompleks, dimulai dari pengikisan dan pelapukan material di lingkungan asalnya. Partikel-partikel ini kemudian tersebar dan mengendap di lokasi baru, mengalami pemadatan bertahap hingga membentuk batuan sedimen. Proses ini tidak hanya mencerminkan dinamika alam, tetapi juga berperan penting dalam siklus ekosistem dan akumulasi zat kimia, termasuk logam berat, yang dapat memengaruhi kualitas lingkungan dan kesehatan biota (Alfadillah & Dewi, 2024).

Logam berat adalah unsur dengan massa jenis $>5 \text{ g/cm}^3$ yang bisa bersifat toksik bila terakumulasi. Pencemaran logam berat dapat merusak ekosistem dan kesehatan biota. Melalui sedimentasi, logam berat mengendap di dasar perairan, menjadikan sedimen sebagai sumber kontaminasi jangka Panjang (Salsabila & Dewi, 2024). Secara umum, kandungan logam berat pada sedimen dipengaruhi oleh kandungan bahan organik, ukuran partikel, dan komposisi mineralnya. Sedimen yang memiliki tekstur lempung atau liat cenderung memiliki konsentrasi logam berat yang lebih tinggi (Salman, 2020).

Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi kadmium (Cd) pada seluruh titik sampling sedimen di perairan Selat Makassar berada pada nilai $<0,003 \text{ mg/kg}$. Nilai ini masih berada

di bawah standar kualitas sedimen menurut ANZECC/ARMCANZ 2000, sehingga secara umum sedimen di lokasi penelitian tergolong aman dari pencemaran kadmium. Rendahnya konsentrasi Cd pada sedimen dapat dipengaruhi oleh kondisi hidrodinamika perairan Selat Makassar yang memiliki arus laut cukup kuat. Arus yang dinamis menyebabkan partikel sedimen dan bahan tersuspensi terus mengalami pencampuran dan transportasi, sehingga menghambat proses pengendapan dan akumulasi logam berat pada dasar perairan. Selain itu, secara kimia kadmium dapat berikatan dengan partikel tersuspensi dan bahan organik, sehingga distribusinya di lingkungan perairan bersifat dinamis antara kolom air dan sedimen.

Meskipun konsentrasi Cd pada sedimen terdeteksi rendah, keberadaan logam berat ini tetap perlu diperhatikan karena sifatnya yang persisten dan berpotensi tersedia secara biologis (*bioavailable*). Logam berat yang terdapat di sedimen dapat diserap oleh organisme benthik seperti kerang melalui kontak langsung dengan sedimen atau melalui proses makan. Akumulasi logam berat pada biota perairan berpotensi masuk ke dalam rantai makanan dan akhirnya dikonsumsi oleh manusia. Dari perspektif kesehatan masyarakat, paparan kadmium dalam jangka panjang dapat menimbulkan gangguan kesehatan seperti kerusakan ginjal, gangguan metabolisme tulang, dan efek toksik

kronis lainnya. Oleh karena itu, meskipun kadar Cd pada sedimen masih berada di bawah baku mutu, pemantauan kualitas perairan secara berkala tetap diperlukan untuk mencegah potensi peningkatan pencemaran logam berat di masa mendatang.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Salsabila & Dewi. 2024, yang melaporkan konsentrasi Kadmium (Cd) pada sedimen di Muara Sungai Musang $<0,002$ mg/kg, masih jauh di bawah baku mutu ANZECC/AMRCANZ (2000). Hasil tersebut menunjukkan bahwa meskipun dekat sumber pencemar seperti jalur kapal, tambak, dan industri, proses pengenceran perairan, deposisi sedimen, dan kemampuan mangrove menyerap logam berat efektif menjaga konsentrasi Cd tetap rendah, sehingga sedimen di lokasi penelitian dapat dikategorikan relatif aman.

Selain itu Kusmana *et al.* 2025 studi di perairan Selat Cunda (Lhokseumawe) melaporkan bahwa konsentrasi kadmium (Cd) di sedimen laut berada pada rentang 0,00–0,03 mg/kg, dengan sebagian besar sampel bahkan di bawah batas deteksi alat. Temuan ini menegaskan bahwa di beberapa kondisi lingkungan perairan Indonesia, logam berat Cd cenderung tidak terakumulasi secara signifikan dalam sedimen, sehingga risiko pencemaran dan bioakumulasi pada biota akuatik relatif rendah.

Dengan demikian, meskipun konsentrasi Kadmium (Cd) pada sedimen tercatat sangat rendah dan berada di bawah

standar ANZECC/AMRCANZ (2000), kondisi ini menunjukkan bahwa sedimen di Perairan Selat Makassar berperan efektif sebagai penyangga logam berat, membatasi penyebaran Cd ke kolom air. Sedimen yang relatif bersih mencerminkan pengaruh arus laut, deposisi alami, dan proses lingkungan lain yang menjaga kestabilan kualitas perairan. Namun, logam berat tetap memiliki potensi bioavailabilitas, sehingga pemantauan rutin terhadap sedimen tetap penting untuk memastikan ekosistem tetap aman dan mencegah peningkatan kontaminasi logam berat di masa mendatang.

2. Logam Berat Kromium

a. Kerang

Logam berat merupakan salah satu kontaminan yang paling umum dan tersebar luas pada biota perairan di seluruh dunia. Tingginya tingkat bahaya yang ditimbulkan menyebabkan banyak penelitian dilakukan untuk mengkaji keberadaan dan dampaknya terhadap organisme perairan. Berbagai penelitian tersebut melibatkan beragam jenis biota seperti ikan, invertebrata, moluska, dan krustasea. Logam berat dapat terakumulasi di dalam air dan organisme serta sedimen karena stabilitas dan sifat non-biodegradasinya di lingkungan perairan (Suryono & Indardjo, 2023).

Berdasarkan hasil analisis Tabel 5.3, kandungan Kromium (Cr) pada kerang bakalang di Perairan Selat Makassar tercatat $<0,01$ mg/L di seluruh titik sampling (Titik 1–6), jauh di bawah batas aman WHO/FAO sebesar 0,1 mg/kg. Kondisi ini menunjukkan bahwa kerang bakalang tetap aman untuk dikonsumsi dan tidak menunjukkan akumulasi logam berat yang signifikan, meskipun beberapa sedimen di lokasi penelitian tercemar Cr. Rendahnya kadar Cr pada kerang kemungkinan dipengaruhi oleh rendahnya bioavailabilitas Cr di kolom air, proses pengenceran akibat dinamika arus Selat Makassar, serta sifat Cr yang lebih banyak terikat kuat pada partikel sedimen sehingga sulit terserap ke dalam jaringan biota. Dengan demikian, meskipun berada dekat dengan berbagai sumber pencemar, mekanisme fisik dan kimia perairan membatasi proses akumulasi Cr pada kerang.

kromium di perairan umumnya terdapat dalam dua bentuk utama, yaitu Cr(III) dan Cr(VI), yang memiliki sifat berbeda terhadap biota. Cr(III) bersifat lebih stabil, kurang larut, dan cenderung berikatan kuat dengan partikel sedimen atau bahan organik sehingga ketersediaannya bagi organisme perairan relatif rendah. Sebaliknya, Cr(VI) lebih mudah larut dan bersifat lebih toksik karena dapat lebih mudah masuk ke dalam jaringan organisme. Pada biota bentik seperti kerang, proses penyerapan

logam berat terjadi melalui penyaringan air dan kontak dengan sedimen, namun karena kromium umumnya terikat kuat pada sedimen dalam bentuk yang kurang tersedia secara biologis, maka tingkat akumulasi dalam jaringan kerang cenderung rendah meskipun logam tersebut terdapat di lingkungan perairan

Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Gafur & Abbas. 2022 pada kerang *Anadara granosa* di Sungai Tallo yang menunjukkan bahwa kandungan Kromium (Cr) pada beberapa stasiun pengamatan tergolong rendah, yaitu berada di bawah batas deteksi alat AAS ($<0,01$ mg/kg) dan masih jauh di bawah baku mutu. Rendahnya konsentrasi Kromium tersebut diduga disebabkan oleh rendahnya kandungan Kromium pada media lingkungan seperti air dan sedimen, sehingga proses bioakumulasi pada jaringan kerang juga rendah. Hasil ini mendukung temuan penelitian ini bahwa rendahnya kadar Kromium pada kerang berkaitan dengan rendahnya tingkat pencemaran Kromium di perairan.

Kondisi serupa juga dilaporkan oleh Indrawan *et al.* 2023 melaporkan bahwa konsentrasi berbagai logam berat termasuk kromium (Cr) di dalam jaringan biota laut di Teluk Benoa menunjukkan variabilitas antar spesies. Pada beberapa jenis kerang dan siput laut yang dianalisis, kadar Cr terdeteksi tetapi dengan tingkat yang berbeda-beda antar organisme yang diteliti.

Beberapa spesies mencatat kandungan Cr dalam jaringan mereka, sementara pada spesies lain kadar logam berat seperti Cr tidak terdeteksi atau sangat rendah dibanding jenis logam berat lain yang diukur. Temuan ini menunjukkan bahwa keberadaan Cr dalam biota laut di Teluk Benoa bervariasi bergantung pada spesies dan kondisi lingkungan lokal, serta memberikan gambaran bahwa Cr dalam kerang tidak selalu konsisten di semua lokasi atau jenis organisme.

Berbeda dengan hasil penelitian ini, penelitian Handayani et al. 2020, di mana kadar kromium (Cr) pada kerang darah (*Anadara granosa*) dilaporkan 0,089 mg/kg, dan pada kerang kepah (*Polymesoda erosa*) 0,105 mg/kg. Nilai ini menunjukkan bahwa kadar Cr pada kerang relatif rendah, dengan variasi antar spesies dan lokasi akibat kondisi lingkungan dan pencemaran lokal.

Selain itu, penelitian lain juga melaporkan bahwa Rudiyanti et al., 2023 Kadar Chromium (Cr) pada kerang (*musse*) di tiga stasiun sampling bervariasi antara 0,15–0,41 mg/kg, dengan Stasiun 1 terendah yaitu 0,15–0,16 mg/kg dan Stasiun 2–3 lebih tinggi 0,15–0,41 mg/kg dan 0,18–0,35 mg/kg, mencerminkan pengaruh kondisi lingkungan lokal terhadap bioakumulasi, menunjukkan kemampuan kerang sebagai organisme filtrator menyerap Cr dari lingkungan, khususnya dari

sedimen yang bertindak sebagai reservoir logam berat. Perbedaan kadar antar stasiun menegaskan bahwa aktivitas antropogenik, kedekatan dengan jalur transportasi laut, dan tingkat kontaminasi sedimen secara langsung memengaruhi akumulasi Cr dalam kerang.

Perbedaan tersebut diduga disebabkan oleh perbedaan konsentrasi Kromium pada air dan sedimen sebagai faktor utama yang mempengaruhi proses bioakumulasi, serta dipengaruhi oleh kedekatan lokasi dengan sumber pencemar, kandungan bahan organik, dan kondisi lingkungan perairan. Selain itu, kemampuan kerang *Anadara granosa* sebagai organisme *filter feeder* yang menyaring partikel dari air juga sangat menentukan jumlah logam yang terakumulasi, sehingga semakin rendah konsentrasi Kromium di lingkungan, maka semakin rendah pula kandungan Kromium dalam tubuh kerang. Hal ini menunjukkan bahwa rendahnya kadar Kromium pada kerang mencerminkan rendahnya tingkat pencemaran Kromium di perairan dan menunjukkan kondisi lingkungan yang masih relatif baik.

b. Air

Konsentrasi logam dalam air dapat mengalami perubahan tergantung pada kondisi lingkungan dan faktor iklim. Pada musim hujan, kadar logam cenderung lebih rendah akibat adanya pengenceran oleh air hujan, sedangkan pada musim kemarau

konsentrasi logam biasanya meningkat karena berkurangnya volume air yang menyebabkan logam menjadi lebih terkonsentrasi (Permana *et al.*, 2022).

Logam berat secara alami terdapat di lingkungan dalam konsentrasi sangat rendah, namun dapat meningkat hingga membahayakan organisme akibat masuknya limbah dari aktivitas industri, pertambangan, pemukiman, pertanian, dan transportasi. Sifat logam berat yang bioakumulatif juga menyebabkan konsentrasinya terus meningkat. Selain itu, distribusi logam berat di perairan dipengaruhi oleh faktor hidrodinamika seperti arus, pasang surut, dan pencampuran massa air (Najamuddin *et al.*, 2024).

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi Kromium (Cr) pada seluruh titik sampling berada pada nilai $<0,01$ mg/L. Temuan ini secara umum menunjukkan bahwa kandungan Cr di kolom air Perairan Selat Makassar berada pada tingkat yang sangat rendah dan tidak terdeteksi secara kuantitatif oleh metode analisis yang digunakan. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa pada saat penelitian dilakukan, tidak terdapat indikasi akumulasi Cr dalam air pada level yang dapat terukur, sehingga secara ekologis perairan masih berada dalam kondisi relatif terkendali dari tekanan pencemaran Kromium.

Meskipun area penelitian memiliki banyak sumber logam berat, seperti lalu lintas kapal, aktivitas industri, pertambangan, dan pemukiman penduduk, konsentrasi Kromium (Cr) di air tetap rendah ($<0,01$ mg/L). Secara kimia, Cr dapat berada dalam bentuk Cr(VI) yang mudah larut dan toksik, maupun Cr(III) yang lebih stabil dan kurang larut. Di perairan, Cr(VI) cenderung direduksi menjadi Cr(III) melalui reaksi alami dengan senyawa organik atau ion besi terlarut, sehingga Cr membentuk kompleks yang mudah mengendap atau menempel pada sedimen. Proses ini, ditambah dengan adsorpsi Cr pada partikel padat, menyebabkan kadar Cr terlarut di air tetap rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat banyak sumber pencemar, reaksi kimia alami dan mekanisme pengendapan menjaga kualitas air untuk parameter Cr tetap aman dan berada di bawah ambang batas baku mutu.

Dengan demikian, hasil ini tidak dapat secara ilmiah dinyatakan memenuhi maupun melampaui baku mutu, melainkan berada pada kategori belum dapat dievaluasi (BDD). Keterbatasan ini bersifat metodologis, bukan menunjukkan adanya pencemaran, tetapi menegaskan bahwa diperlukan metode analisis dengan sensitivitas lebih tinggi agar penilaian kesesuaian terhadap baku mutu dapat dilakukan secara akurat dan defensibel secara ilmiah.

Sejalan dengan hal tersebut, Penelitian yang di lakukan oleh Jais *et al.* 2020 menyatakan di Sungai Tallo, Kota Makassar menunjukkan bahwa kadar kromium (Cr) dalam air pada semua titik sampling berada di bawah batas deteksi alat ($< 0,012$ mg/L), menunjukkan bahwa level Cr di perairan tersebut sangat rendah meskipun beberapa aktivitas antropogenik di kawasan hulu dapat mempengaruhi bioakumulasi logam berat pada biota akuatik.

Sama halnya dengan Penelitian oleh Suteja *et al.* 2020 di perairan Teluk Benoa, Bali, melaporkan bahwa kadar Kromium (Cr) di air permukaan sebagian besar titik sampling hampir tidak terdeteksi, meskipun logam ini tetap ditemukan dalam sedimen dan plankton. Temuan ini menunjukkan bahwa Cr cenderung terikat pada partikel atau sedimen sehingga konsentrasi di air permukaan sangat rendah, menegaskan bahwa sebagian besar air permukaan Teluk Benoa masih bebas dari kontaminasi Cr yang berarti.

Ini memandakan Kromium (Cr) di air laut cenderung sangat rendah, hampir tidak terdeteksi, yang menunjukkan bahwa logam ini jarang berada dalam bentuk terlarut. Sebagian besar Cr justru melekat pada sedimen atau partikel, sehingga konsentrasi di air tetap minimal dan risiko pencemaran bagi ekosistem air relatif kecil.

c. Sedimen

Logam berat yang menumpuk di sedimen berpotensi membahayakan kelangsungan hidup biota air dan mengganggu keseimbangan ekosistem dasar perairan jika melebihi baku mutu yang ditetapkan. Pencemaran ini juga dapat mengancam kehidupan berbagai jenis ikan, terumbu karang, hutan mangrove, serta menurunkan kualitas wisata Pantai (Nurjanah *et al.*, 2025).

Penanganan pencemaran logam berat sangat penting karena dapat menimbulkan kerusakan lingkungan dan gangguan pada ekosistem secara keseluruhan. Logam berat dalam air pada akhirnya akan mengendap di dasar perairan, membentuk sedimentasi. Organisme dasar perairan yang mengonsumsi bahan di sedimen, seperti kerang, udang, dan kepiting, berisiko terkontaminasi logam berat tersebut. Akumulasi ini juga berpotensi membahayakan masyarakat di sekitar wilayah tersebut, khususnya mereka yang mengonsumsi biota yang terkontaminasi (Salsabila & Dewi, 2024).

Berdasarkan Tabel 5.7, kandungan logam berat Kromium (Cr) pada sedimen di perairan Selat Makassar berkisar antara 0,9504–6,0875 mg/kg, dan seluruh titik termasuk kategori Tidak Memenuhi Syarat (TMS). Konsentrasi tertinggi terdapat pada Titik 3 (6,0875 mg/kg) yang berada dekat kawasan industri, menunjukkan tingginya akumulasi logam berat di sedimen pada

wilayah dengan aktivitas industri. Titik 1 (3,9174 mg/kg) di area hutan mangrove juga menunjukkan nilai relatif tinggi karena sedimen di kawasan mangrove cenderung menahan dan mengakumulasi partikel logam berat. Titik 5 (3,1537 mg/kg) yang berada dekat area industri tambak dan jalur kapal serta Titik 2 (3,1054 mg/kg) di area tambak menunjukkan konsentrasi yang cukup tinggi seiring dengan intensitas aktivitas budidaya, industri, dan transportasi laut di sekitarnya. Sementara itu, Titik 6 (1,6924 mg/kg) di sekitar pemukiman padat penduduk menunjukkan adanya kontribusi dari aktivitas domestik, sedangkan Titik 4 (0,9504 mg/kg) pada jalur lalu lintas kapal memiliki konsentrasi terendah, namun tetap menunjukkan adanya akumulasi logam berat pada sedimen.

Kromium memiliki sifat mudah berikatan dengan partikel halus dan bahan organik yang terdapat pada sedimen, sehingga logam ini cenderung terakumulasi di dasar perairan. Kondisi ini menjelaskan mengapa konsentrasi Cr di sedimen tinggi, sedangkan di air dan kerang relatif rendah, karena sebagian besar Cr tertahan di sedimen dan hanya sedikit yang larut di air untuk dapat masuk ke tubuh organisme. Akumulasi Cr pada sedimen dapat mempengaruhi organisme benthik yang hidup di dasar perairan dan memungkinkan perpindahan logam berat ke rantai makanan. Keberadaan logam berat yang terus menumpuk

di lingkungan perairan berpotensi menurunkan kualitas ekosistem serta meningkatkan risiko pencemaran yang berdampak pada biota laut dan kesehatan manusia.

Temuan ini sejalan dengan Ainun *et al.* 2023 dilaporkan pada penelitian sedimen di Muara Sungai Tallo, dimana konsentrasi logam berat Kromium (Cr) tercatat rata-rata 0,50 ppm dan mencapai nilai maksimum 35,0983 ppm, sehingga telah melampaui ambang batas ANZECC (2013) sebesar 0,001 ppm. Tingginya konsentrasi tersebut menunjukkan bahwa sedimen berperan sebagai tempat akumulasi utama logam berat yang berasal dari aktivitas antropogenik seperti limbah industri, domestik, dan transportasi perairan. Kondisi ini menegaskan bahwa peningkatan kadar Cr dalam sedimen berkaitan erat dengan intensitas aktivitas di sekitar perairan, serta menunjukkan adanya tekanan pencemaran yang signifikan pada lingkungan perairan tersebut.

Akumulasi Kromium (Cr) di sedimen menunjukkan bahwa logam berat ini cenderung menetap di dasar perairan, sehingga memiliki potensi dampak jangka panjang bagi ekosistem. Penumpukan Cr yang tinggi dapat membahayakan organisme dasar seperti kerang, udang, dan kepiting, sekaligus mengganggu keseimbangan rantai makanan. Jika tidak dilakukan pemantauan dan pengelolaan, peningkatan kadar Cr di sedimen

berisiko merusak kualitas lingkungan, mengancam keanekaragaman hayati, dan menurunkan fungsi ekosistem perairan secara keseluruhan.

Sedimen lebih tepat dijadikan bioindikator pencemaran dibandingkan air karena sedimen berfungsi sebagai tempat akumulasi berbagai bahan pencemar, termasuk logam berat. Partikel logam yang masuk ke perairan cenderung mengendap dan terikat pada partikel sedimen, sehingga konsentrasinya dapat tersimpan dalam waktu lama. Hal ini membuat sedimen mampu menggambarkan riwayat pencemaran dalam jangka panjang.

Sebaliknya, konsentrasi pencemar dalam air lebih mudah berubah karena dipengaruhi oleh arus, pasang surut, pengenceran oleh air hujan, serta proses pencampuran di perairan. Akibatnya, kadar logam dalam air sering bersifat fluktuatif dan hanya mencerminkan kondisi sesaat. Oleh karena itu, sedimen dianggap lebih stabil dan representatif untuk menunjukkan tingkat pencemaran logam berat di suatu perairan dibandingkan air.

3. Faktor Bioakumulasi

Faktor Bioakumulasi (BAF) didefinisikan sebagai perbandingan antara konsentrasi logam dalam tubuh organisme dengan konsentrasi logam yang sama di air pada kondisi setimbang.

Penyerapan logam pada setiap organisme dapat berbeda-beda, yang diduga terjadi melalui mekanisme difusi pasif, serupa dengan proses penyerapan oksigen. Pada sedimen, nilai BAF dihitung menggunakan prinsip yang sama, yaitu dengan membandingkan konsentrasi logam dalam organisme dengan konsentrasi logam dalam sedimen.

Nilai *Bioaccumulation Factor* (BAF) kerang bakalang terhadap media air menunjukkan bahwa akumulasi kadmium (Cd) tergolong sangat tinggi, dengan kisaran 99,1–177,93. Nilai terendah terdapat pada Titik 1 yang berada di sekitar kawasan hutan mangrove, sedangkan nilai tertinggi ditemukan pada Titik 3 yang berdekatan dengan kawasan industri. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan sekitar sangat memengaruhi tingkat akumulasi logam pada kerang. Area mangrove cenderung memiliki tekanan pencemaran yang lebih rendah karena vegetasi mangrove mampu berperan sebagai penyaring alami, sehingga konsentrasi logam di air relatif lebih kecil. Sebaliknya, kedekatan dengan aktivitas industri berpotensi meningkatkan kandungan Cd di perairan, sehingga lebih banyak logam yang terserap oleh kerang. Untuk kromium (Cr), nilai BAF dari air sebesar 1,0 (kategori sedang), yang menunjukkan bahwa akumulasinya tidak sebesar Cd.

Nilai *Bioaccumulation Factor* (BAF) kerang terhadap air yang tinggi meskipun konsentrasi Kadmium (Cd) di air rendah berkaitan

dengan sifat biologis kerang sebagai organisme filter feeder yang menyaring air secara terus-menerus untuk memperoleh makanan. Kadmium yang larut dalam air maupun menempel pada partikel halus tetap dapat tertangkap oleh kerang selama proses penyaringan, sehingga masuk dan terakumulasi di jaringan tubuh. Selain itu, Cd bersifat persisten dan memiliki afinitas tinggi terhadap protein dan jaringan biologis, sehingga cenderung terikat dan sulit dikeluarkan dari tubuh organisme. Akumulasi yang berlangsung dalam waktu lama menyebabkan konsentrasi Cd pada kerang lebih tinggi dibandingkan konsentrasi Cd di air, sehingga menghasilkan nilai BAF yang tinggi meskipun kadar Cd terlarut di perairan relatif rendah.

Kandungan Kadmium (Cd) pada kerang yang melebihi baku mutu menunjukkan adanya indikasi pencemaran kronis di perairan tersebut. Kondisi ini menandakan bahwa logam Cd telah masuk ke lingkungan perairan secara terus-menerus dalam jangka waktu yang lama hingga terakumulasi dalam biota. Sifat Cd yang persisten, sulit terdegradasi, dan mudah terakumulasi dalam sedimen maupun organisme menyebabkan logam ini dapat bertahan lama di lingkungan perairan. Kerang sebagai organisme *filter feeder* yang menyaring air secara terus-menerus juga lebih mudah menyerap logam tersebut, sehingga konsentrasi Cd dalam jaringan tubuhnya dapat meningkat dan melampaui ambang batas yang ditetapkan. Hal ini menunjukkan bahwa perairan berpotensi mengalami paparan

logam berat secara berkelanjutan yang dapat memengaruhi keseimbangan ekosistem.tulang, serta gangguan pada sistem saraf dan sistem reproduksi

Sementara itu, terhadap media sedimen, nilai BAF Cd pada kerang berkisar antara 5,874–9,986 dan termasuk kategori tinggi, meskipun lebih rendah dibandingkan dari air. Hal ini menunjukkan bahwa sedimen tetap menjadi sumber akumulasi Cd, namun bukan jalur utama. Kondisi ini berkaitan dengan sifat kimia Cd yang relatif mudah larut dan lebih mobil di perairan, sehingga sebagian besar Cd berada dalam bentuk ion Cd^{2+} di kolom air dan lebih mudah diserap oleh kerang melalui proses filtrasi. Akibatnya, meskipun kadar Cd di sedimen tidak terlalu tinggi, kerang tetap dapat mengakumulasi Cd dalam jaringan tubuhnya. Untuk Cr, nilai BAF dari sedimen sangat rendah (0,0016–0,0105), yang menunjukkan bahwa kerang hampir tidak mengakumulasi Cr melalui sedimen karena secara kimia Cr di sedimen cenderung berada dalam bentuk ikatan stabil dan kurang larut, sehingga ketersediaan biologisnya bagi organisme menjadi rendah.

Kadmium (Cd) rendah di sedimen karena bersifat lebih larut dalam air dan kurang mudah mengendap, terutama jika sedimen mengandung banyak partikel mineral yang tidak terlalu reaktif terhadap Cd. Sebagian Cd tetap berada dalam bentuk ion terlarut atau menempel pada partikel halus yang mudah tersuspensi,

sehingga konsentrasinya di sedimen relatif rendah. Di sisi lain, nilai Bioaccumulation Factor (BAF) kerang terhadap sedimen tinggi karena kerang sebagai organisme filter feeder secara terus-menerus menyaring air dan partikel tersuspensi di sekitarnya. Cd yang larut atau menempel pada partikel halus tertangkap dan terakumulasi dalam jaringan tubuh kerang. Afinitas Cd yang tinggi terhadap protein biologis membuat logam ini sulit dikeluarkan dari tubuh, sehingga akumulasi bertahap menghasilkan BAF tinggi meskipun konsentrasi di sedimen rendah.

Sebaliknya, kromium (Cr) menunjukkan pola berbeda. Meskipun konsentrasi total Cr di sedimen tinggi, sebagian besar Cr berada dalam bentuk ikatan kompleks stabil dengan mineral, oksida besi, dan bahan organik, terutama sebagai Cr(III) yang kurang larut dan tidak mudah tersedia secara biologis. Kerang lebih banyak menyerap logam melalui kolom air daripada langsung dari sedimen, sehingga akumulasi Cr di jaringan kerang rendah. Kondisi ini menjelaskan mengapa BAF Cr terhadap sedimen tetap kecil, berbeda dengan Cd yang mudah terlarut dan terakumulasi oleh kerang.

Sejalan dengan Ainun *et al.* (2021) melaporkan bahwa kerang (*Anadara* sp.) di Muara Sungai Tallo, Kota Makassar memiliki nilai BCF Cadmium (Cd) >1 , menunjukkan akumulasi logam Cd yang sangat tinggi dari sedimen, sedangkan BCF Chromium (Cr) <1 ,

menandakan akumulasi Cr yang rendah. Temuan ini menegaskan bahwa kerang secara selektif lebih efisien mengakumulasi Cd dibanding Cr, dan menegaskan peran kerang sebagai bioindikator sensitif terhadap pencemaran logam berat Cadmium di perairan, sekaligus memberikan dasar ilmiah bagi pemantauan kualitas lingkungan berbasis bioakumulasi logam berat.

Hal ini diperkuat oleh berbagai studi terbaru yang meneliti bioakumulasi logam berat di biota akuatik. Penelitian oleh Niloy *et al.*, 2024 di Karnafully Estuary, Bangladesh menunjukkan bahwa kromium (Cr) memang terakumulasi dalam jaringan mollusk, namun tingkatnya jauh lebih rendah dibanding logam lain seperti kadmium dan timbal, mengindikasikan bahwa Cr cenderung kurang terserap oleh biota. Review terkini oleh Ao *et al.*, 2025 tentang transformasi Cr di perairan menegaskan bahwa bentuk kimia Cr (Cr(III) dan Cr(VI)) sangat memengaruhi akumulasi biologis, di mana Cr(III) lebih banyak tetap terikat pada sedimen dan partikel sehingga akumulasi dalam jaringan organisme tetap minimal. Temuan serupa dilaporkan di perairan Jawa Tengah oleh Suryono & Indardjo, 2023 di mana Cr terdeteksi dalam udang, rajungan, dan kerang, tetapi konsentrasinya secara konsisten lebih rendah dibanding logam lain seperti Fe, menegaskan pola bahwa Cr memiliki potensi bioakumulasi yang rendah pada biota laut.

Perbedaan bioakumulasi Cadmium (Cd) dan Kromium (Cr) pada kerang berkaitan dengan sifat kimia dan ketersediaan biologis masing-masing logam, serta memiliki implikasi penting bagi pencemaran lingkungan dan kesehatan masyarakat. Cd cenderung mudah terakumulasi dalam tubuh kerang karena larut dalam air, lebih mobil di lingkungan perairan, dan mudah berikatan dengan jaringan biologis. Kerang sebagai organisme filter feeder secara terus-menerus menyaring air sehingga Cd yang terlarut maupun menempel pada partikel halus dapat masuk dan tersimpan dalam jaringan tubuh. Sifat Cd yang toksik dan persisten memungkinkan logam ini terakumulasi dalam jangka waktu lama, menghasilkan nilai bioakumulasi tinggi. Akumulasi ini menunjukkan bahwa Cd mudah masuk ke rantai makanan, sehingga konsumsi kerang dari perairan tercemar dapat meningkatkan risiko paparan Cd bagi manusia, dengan potensi efek toksik pada ginjal, hati, tulang, sistem saraf, dan reproduksi jika terpapar jangka panjang.

Sebaliknya, kromium (Cr) umumnya menunjukkan tingkat bioakumulasi yang lebih rendah. Di lingkungan sedimen, Cr banyak berada dalam bentuk Cr(III) yang memiliki kelarutan rendah dan cenderung membentuk ikatan stabil dengan mineral, oksida besi, dan bahan organik. Ikatan ini menyebabkan Cr kurang tersedia secara biologis bagi organisme. Akibatnya, meskipun konsentrasi Cr di sedimen dapat tinggi, jumlah yang dapat diserap oleh kerang relatif

kecil sehingga tingkat bioakumulasinya lebih rendah dibandingkan Cd.

4. Keterbatas dalam Penelitian

Penelitian ini memiliki keterbatasan yang tidak terlepas dari dinamika alam dan kondisi lapangan. Musim hujan yang tidak menentu serta pasang surut air di perairan Selat Makassar secara nyata memengaruhi distribusi logam berat dalam kerang, sehingga beberapa sampel menunjukkan kadar yang sangat rendah bahkan hampir tidak terdeteksi. Ditambah dengan jadwal aktivitas nelayan yang fleksibel, pengambilan sampel harus disesuaikan dengan kondisi lapangan, sehingga variasi hasil antar titik sampling menjadi tidak merata meskipun semua sampel diambil bersamaan. Kondisi ini menunjukkan kompleksitas lingkungan yang memerlukan kehati-hatian dalam interpretasi data.

BAB VI

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Bioakumulasi Kerang bakalang (*Marcia hiantina* L.) di Perairan Selat Makassar memiliki kemampuan bioakumulasi Cadmium (Cd) yang tinggi baik dari air maupun sedimen ($BAF > 1$), sedangkan akumulasi Chromium (Cr) relatif rendah ($BAF < 1$). Temuan ini menegaskan peran kerang sebagai bioindikator sensitif terhadap pencemaran logam berat Cadmium dan memberikan dasar ilmiah untuk pemantauan kualitas perairan.
2. Kadar logam berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) pada sampel air di Perairan Selat Makassar terdeteksi pada tingkat sangat rendah. Konsentrasi Cd tercatat $< 0,003$ mg/L dan masih berada di bawah baku mutu $0,01$ mg/L sehingga dinyatakan memenuhi syarat. Sementara itu, konsentrasi Cr tercatat $< 0,01$ mg/L, namun belum dapat dipastikan memenuhi baku mutu $0,005$ mg/L karena batas deteksi metode lebih tinggi dari standar yang ditetapkan. Secara keseluruhan, kandungan Cd dan Cr di air relatif rendah, dengan evaluasi Cr terbatas oleh sensitivitas metode analisis.
3. Kandungan Cadmium (Cd) pada sedimen di Perairan Selat Makassar sangat rendah ($< 0,003$ mg/kg) dan di bawah standar kualitas, sedangkan Chromium (Cr) berkisar $0,9504$ – $6,0875$ mg/kg,

melebihi ambang baku mutu. Hal ini menunjukkan adanya kontaminasi Cr pada sedimen, sedangkan Cd tetap aman, sehingga sedimen berpotensi menjadi sumber Cr bagi organisme.

B. Saran

1. Perlu dilakukan pengawasan rutin logam berat Cd dan Cr pada biota, air, dan sedimen untuk mencegah akumulasi berlebih.
2. Pengelolaan lingkungan dan pengendalian limbah harus diterapkan untuk mengurangi kontaminasi kromium di sedimen.
3. Kerang bakalang dapat dimanfaatkan sebagai indikator bioakumulasi logam berat, khususnya Cadmium, dalam evaluasi kualitas perairan.
4. Edukasi masyarakat tentang risiko konsumsi kerang dengan kandungan Cd tinggi sangat dianjurkan agar kesehatan tetap terjaga.

DAFTAR PUSTAKA

- Adelila, & Sari, S. (2024). *Kimia Lingkungan*. umsu press.
- Adisa, V. (2024). *Tips Mudah Menyimpan Kerang Laut dan Beberapa Resep Olahannya*. Penerbit Andi.
- Adisa, V. (2025). *Menjaga Rasa dan Nutrisi: Teknik Pengawetan yang Tepat untuk Berbagai Jenis Makanan*. Penerbit Andi.
- Agarwal, S, & Mitra, A. (2020). *Bioaccumulation Factor (BAF) of heavy metals in green seaweed to assess the phytoremediation potentia*. 9(2), 139–152.
- Ahmed, H. Al, Ticar, B. F., Black, I., Mahdi, F., Shami, A. A., Misra, S. K., Heiss, C., Paris, J. J., Sharp, J. S., Azadi, P., & Pomin, V. H. (2023). Structural characterization and biological activity of an α -glucan from the mollusk *Marcia hiantina* (Lamarck, 1818). *Glycoconjugate Journal*, 40(1), 33–46.
- Ainun, N. H., Gafur, A., & Hasriwiani Habo Abbas. (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*, October 2021, 960–973.
- Akbar, S. A., & Rahayu, H. K. (2023). Literature review: Heavy metal bioaccumulation in fish accross Indonesia aquatic environment. *Lantanida J.*, 11(1), 1–106.
- Akhib, A., Yaqin, A., Mahatmanti, F. W., Sulistyaningsih, T., & Nurcahyo, B. (2019). *Indonesian Journal of Chemical Science Penentuan Nilai LoD Dan LoQ pada Pengujian Metanol dalam Miras Oplosan Menggunakan Gas Chromatography dengan Variasi Metode*. 8(3).
- Al, A., Sulisty, H., Suprijanto, J., & Yulianto, B. (2024). *Analisis Kualitas Air dan Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Air Laut di Perairan Pelabuhan Tanjung Emas Kota Semarang Jawa Tengah*. 13(1), 108–114.
- Alfadillah, M., & Dewi, I. P. (2024). *Analisis Kandungan Logam Berat (Pb Dan Cu) Pada Sedimen Di Daerah Estuari Desa Muara Kalimantan Selatan*. 7.
- Alisa, C. A. G., Albirqi P, M. S., & Faizal, I. (2020). Kandungan Timbal dan Kadmium pada Air dan Sedimen di Perairan Pulau Untung Jawa, Jakarta. *Akuatika Indonesia*, 5(1), 21.

- Amrillah, A. M., Salamah, L. N., Amin, A. A., Rangkuti, R. F. A., Mahariawan, I. M. D., Adhihapsari, W., Yanuar, A. T., & Setyoningrum, D. (2023). *Biomonitoring Lingkungan Akuatik*. Universitas Brawijaya Press.
- Andika, Y., Yulistia, E. D., Lazuardi, R., & Maulana, S. (2024). *Keanekaragaman Bivalvia di Perairan Kabupaten Aceh Utara*. 13(1), 52–62.
- Anggraini, & Puryanti. (2019). *Identifikasi Pencemaran Logam Berat Tembaga (Cu), Timbal (Pb) Dan Kadmium (Cd) Air Laut Di Sekitar Pelabuhan Teluk Bayur Kota Padang*. 11(2), 95–101.
- Ao, M., Zhou, R., Meng, R., Bonaventure, L. A., Luo, B., Qian, X., Xu, X., Wang, S., & Wu, P. (2025). Chromium transformations and biological impacts in aquatic systems: From sediment-water interfaces to food web complexity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 303, 118850.
- Armijn, A., & Soegianto, A. (2020). Perbandingan Bioakumulasi Logam Berat Melalui Kontak Lingkungan pada Mangrove , Crustacea (P . monodon), dan Bivalvia (Anadara sp .) (Studi Kasus : Paparan Bahan Pencemar Lumpur Lapindo). *Paper Ekotoksikologi*, June, 1–9.
- Arora, S. (2025). *Assessment of heavy metal pollution of surface water through multivariate analysis , HPI and GIS techniques*. 20(1), 148–167.
- Arumdani, I. S., AM, R. A. S., Hidayati, F., Berlian, A. I., Nugroho, A., Ilma, K., Husni, S. H., & Fitriani, D. (2024). *Hakikat kesehatan lingkungan*. Azzia Karya Bersama.
- Arumingtyas, E. L., Mastuti, R., Jatmiko, Y. D., Siswanto, D., Kusnadi, J., & Press, U. B. (2024). *Dasar Fisiologi dan Molekuler Bioremediasi*. Universitas Brawijaya Press.
- Barchiesi, F., Latini, M., Roila, R., Lediani, G., Filippini, G., Scortichini, G., Piersanti, A., Rocchegiani, E., & Ranucci, D. (2020). *Heavy Metals Contamination in Shellfish : Benefit-Risk Evaluation in Central Italy*. 19–21.
- Barus, B. S., S.P.M.S., Prof. Dr. Fauziah, S. P., & Dr. Heron Surbakti, S. P. M. S. (2024). *Mikroplastik dalam Konteks Sebaran dan Interaksinya dengan Logam Berat di Lingkungan*. Bening Media Publishing.
- Berniyanti, T. (2020). *Biomarker Toksisitas: Paparan Logam Tingkat Molekuler*. Airlangga University Press.

- Bhuvaneshwari, S., Akila, S., Shankar, M., Kalpana, P., Sinduja, M., Sugumaran, M. P., & Porkodi, G. (2024). *A Comparative Study of Phytoremediation of Cd and Cr in Soil Using Silica - infused Brassica juncea L . and Vigna radiata*. 14(9), 180–194.
- Chasimira, M., Pangalasen, E., Yulianto, B., & Wijayanti, D. P. (2025). *Kontaminasi Kadmium (Cd) dalam Air , Sedimen , dan Kerang Hijau (Perna viridis) di perairan pantai Semarang*. 14(4), 875–885.
- Connell, D. W. (1989). *Bioaccumulation of Xenobiotic Compounds*. Taylor & Francis.
- Efrizal, I., Berat, L., & Dan, P. (2020). Logam berat, Penyebab dan Penanggulangannya. In *Logam berat, Penyebab dan Penanggulangannya*.
- Elfidasari, D. (2023). *Pterygoplichthys pardalis Dan Potensinya Sebagai Agen Bioremediasi Cemaran Logam Berat Di Perairan*. Penerbit Kbm Indonesia.
- Ernaningsih, Patanda, Rahmani, & Telussa. (2023). *Kandungan Logam Berat pada Kerang Hijau (Perna viridis) yang Dibudidayakan di*. 07(01).
- Eva, & Taufiq-spj, N. (2025). *Morfometri Kerang Hijau (Perna viridis) Di Perairan Desa Purworejo , Kecamatan*. 14(2), 294–301.
- Farida, Y., Rahmawati, H., & Sari, I. P. (2025). *Kimia Dasar*. CV. Gita Lentera.
- Fatmayani, I., Gafur, A., & Arman. (2022). *Kerang Marcia Hiantina Di Perairan Selat Makassar Peminatan Epidemiologi , Fakultas Kesehatan Masyarakat , Universitas Muslim Indonesia Article history : Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat atau yang dikenal Environmental Protection Agency (EPA*. 2(6), 1831–1842.
- Fikri, I., Ahmad, I., Refani, A., Putra, A., Wijnana, A., Rangkuti, N. J., & Rindi, I. (2026). *Heavy Metals Concentration in Sea Water at Cilegon Coastal*. 5(1), 42–50.
- Furaidah, Z., Nur, A. K., Mas'udah, & Suparlan. (2024). *Perkembangan Kadar Kadmium (Cd) dan Dampaknya Terhadap Keberlanjutan Ekosistem Perairan Di Sungai Donan*. 82, 2001–2004.
- Gafur, A., & Abbas, H. H. (2022). *Kontaminasi Logam Berat Kadmium dan Kromium serta Batas Konsumsi Kerang Darah (Anadara granosa) di Muara Sungai Tallo Kota Makassar*. 8.

- Genchi, G., Sinicropi, M. S., Lauria, G., Carocci, A., & Catalano, A. (2020). The effects of cadmium toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 1–24.
- Handayani, R., Natalinda, B., & Majid, A. (2020). Kadar Logam Berat Cu , Cr , Pb dan Zn pada Kerang Darah (*Anandara granosa*) di Muara Elo dan Kerang Kepah (*Polymesoda erosa*) di Loa Janan Ilir Kalimantan Timur. 02(2), 70–77.
- Hapsa. (2024). Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Kepiting Rajungan (*Portunus Pelagicus*) Di Perairan Lantebung Kota Makassar.
- Herbila, S., Syam, & Batara. (2022). Analisis Konsentrasi Logam Berat Seng (Zn) Pada Air, Sedimen, Dan Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus*) Di Kanal Kota Makassar. *Window of Public Health Journal*, 3(6), 1044–1053.
- Ighariemu, V., Wegwu, M. O., & Chuku, L. C. (2023). Evaluation of Heavy Metals and Health Risk Assessment of Shellfish Contaminated in Santa Barbara River, Niger Delta, Nigeria. *Current Research in Interdisciplinary Studies*, 2(1), 1–20.
- Indrawan, G. S., Putra, I. N. G., & Sugiana, I. P. (2023). Konsentrasi logam berat kadmium, kromium, tembaga, timbal dan seng pada ikan, kerang dan siput laut di Teluk Benoa, Bali. *Jurnal Biologi Udayana*, 27(1), 73.
- Indrawati, E., Musada, Z., Tantu, A. G., & Renal, R. (2022). Status Pencemaran Logam Berat Timbal dan Kadmium di Sungai Tallo Menggunakan Bioindikator Ikan Nila *Oreochromis Niloticus*. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, 22(2), 348–361.
- Island, S., & Regency, N. (2023). Kandungan Kadmium (Cd) dalam Kerang Darah (*Anadara granosa*) dan Sedimen Asal Perairan Pulau Sedanau Kabupaten Natuna. 6(2), 195–199.
- Jais, N. J., Ikhtiar, M., Gafur, A., Hasriwiani Habo Abbas, & Hidayat. (2020). Bioakumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) yang Terdapat dalam Air dan Ikan di Sungai Tallo Makassar. *Window of Public Health Journal*, November, 261–274.
- Juharna, F. M., Widowati, I., & Endrawati, H. (2022). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kromium (Cr) Pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Morosari, Sayung, Kabupaten Demak. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(2), 139–148.
- Kusmana, C., Hariyadi, S., Nurilmala, M., & Krisanti, M. (2025). Cadmium (Cd) and Lead (Pb) Levels in Oysters *Saccostrea cucullata* , Water ,

and Sediment in the Cunda Strait of Lhokseumawe City , Indonesia. 30(June), 259–273.

Latif, I. (2021). *Sukses Budidaya Kerang Darah untuk Pemula*. Elementa Agro Lestari.

Mahluddin, N., Gafur, A., & Yulianti. (2022). Bioakumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada Kerang Hijau, Air, dan Sedimen di Sungai Tallo. *Window of Public Health Journal*, March, 1649–1659.

Marhaini. (2022). *Pengolahan Limbah dan Dampak Lingkungan*. Penerbit NEM.

Melake, B. A., & Endalew, S. M. (2023). *Bioaccumulation and Biota-Sediment Accumulation Factor of Metals and Metalloids in Edible Fish : A Systematic Review in Ethiopian Surface Waters*.

Mitra, S., Jyoti, A., Montakim, A., Bin, T., Nainu, F., Khusro, A., Idris, A. M., Uddin, M., Osman, H., Alhumaydhi, F. A., & Simal-gandara, J. (2022). Journal of King Saud University – Science Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. *Journal of King Saud University - Science*, 34(3), 101865.

Muhammad, A. (2022). *Urgensi Pelestarian Lingkungan Hidup Dalam Al Quran*. 13(1), 67–87.

Nabila, N., & Hidayah, A. (2025). *Studi Kandungan Mikroplastik pada Kerang Lorjuk (Solen sp .) di Perairan Dusun Pesisir , Desa Kaduara Timur , Kabupaten Sumenep , Jawa Timur* Study of Microplastics Content in Lorjuk Clams (Solen sp .) in Dusun Pesisir , Kaduara Timur Village , Sumenep Regency , East Java. 2(1), 94–105.

Nabillah, A. (2022). *Senyawa Koordinasi dalam Perspektif Islam*. CV Jejak (Jejak Publisher).

Najamuddin, Inayah, Labenua, R., Samawi, M. F., Yaqin, K., Paembonan, R. E., Ismail, F., & Harahap, Z. A. (2024). Distribution of heavy metals Hg, Pb, and Cr in the coastal waters of small islands of Ternate, Indonesia. *Ecological Frontiers*, 44(3), 529–537.

Nata, M. A. D. B., Muslim, M., & Maslukah, L. (2024). Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Seng (Zn) Pada Sedimen Di Perairan Kabupaten Batang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(3), 249–456.

Natsir, N. A., Hanike, Y., & Allifah Af, A. N. (2021). Akumulasi Logam Berat Pb dan Cd dalam Sedimen dan Hubungannya dengan Biota Laut di

- Perairan Tulehu Ambon. *Biotropic: The Journal of Tropical Biology*, 5(1), 41–49.
- Niloy, H. K., Chowdhury, A. I., Islam, M. S., Pervez, A., Asseri, A. H., Alsohibany, K. S., Molla, M. H. R., Rahman, M. A., & Uddin, M. S. (2024). Bioaccumulation of heavy metals in water and mollusks in the Karnafully estuary: Potential human health risk and environmental contamination. *Regional Studies in Marine Science*, 78, 103752.
- Nur, A. P., Syam, N., & Sulaeman, U. (2024). *Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Logam Berat Merkuri (Hg) pada Kerang Hijau (Perna Viridis) terhadap Nelayan di Kelurahan Kaluku Bodoa Kota Makassar*. Address : Phone : Article history : Penerbit : Yayasan Citra Cendekia Celebes Penerbit : Yayasan Citra Cendekia Celebes. 03(02), 52–63.
- Nurjanah, S., Nazwasyawinka, K., Abrar, C. B., Nasution, I. A., Dida, E. N., Sasongko, A. S., Widiyanto, K., & Cahyarini, S. Y. (2025). Kandungan Logam Berat Besi (Fe) pada Sedimen Ekosistem Terumbu Karang di Perairan Pulau Kalih Selatan Banten. 14(2), 231–240.
- Nurrisal, M. N., Nurrahema, E., Asih, N., Giri, A., & Kartika, D. (2025). Kontaminasi Kadmium (Cd) serta Analisis Risiko Kesehatan Manusia melalui Konsumsi Kerang Tahu (Meretrix spp .) di Pesisir Bangkalan. 28(November), 508–520.
- Nzmul, Devaraj, S., & Farzana, Y. (2025). Bioaccumulation of heavy metals in aquatic organisms and its effects on human consumption. 5(1), 262–288.
- Olaoye, J., Bakare-abidola, T., Chinaza, O. F., Jude, D., & Taofeek, J. (2024). Bioaccumulation and Toxicological Effects of Heavy Metals in Wildlife : Implications for Ecosystem Health and Human Exposure Bioaccumulation and Toxicological Effects of Heavy Metals in Wildlife : Implications for Ecosystem Health and Human Exposure. August 2025.
- Oleo, U., Oleo, U., Farmasi, J., & Oleo, U. H. (2021). Studi Bioakumulasi Logam Crom (Cr), Seng (Zn) dan Nikel (Ni) pada Tanaman Obat Binahong (Anredera cordifolia (Ten) Steenis). 6(1), 12–27.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. 2021. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia. (2021). 097089.
- Permana, Raffi, & Eryati. (2022). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd) Dan Tembaga (Cu) Pada Air Dan Sedimen Di Muara Perairan Kecamatan Muara Jawa Kabupaten Kutai Kartanegara The

Lead Heavy Metal Content (Pb), Cadmium (Cd) And Copper (Cu) In Water And In Sediments. 1(1), 62–68.

- Polapa, F. S., Annisa, R. N., Yanuarita, D., & Ali, S. M. (2022). *Quality Indeks dan Konsentrasi Logam Berat dalam Perairan dan Sedimen di Perairan Kota Makassar. 20(2), 271–278.*
- Pratama, F. I. (2022). Analisis Kadar Logam Fe, Pb, Cu, Zn, Dan Cd Dalam Air Minum Isi Ulang Di Kecamatan Depok, Sleman, Yogyakarta. *Dalton: Jurnal Pendidikan Kimia Dan Ilmu Kimia, 5(1), 38.* <https://doi.org/10.31602/dl.v5i1.6468>
- Pratiwi. (2020). Dampak Pencemaran Logam Berat (Timbal, Tembaga, Merkuri, Kadmium, Krom) Terhadap Organisme Perairan Dan Kesehatan Manusia. *Jurnal Akuatek, 1(1), 59–65.*
- Proc, K., Bulak, P., Kaczor, M., & Bieganski, A. (2021). *A New Approach to Quantifying Bioaccumulation of Elements in Biological Processes. 1–9.*
- Pulungan, A. F., & Wahyuni, S. (2021a). *Analisis Kandungan Logam Kadmium (Cd) Dalam Air Minum Isi Ulang (Amiu) Di Kota Lhokseumawe , Aceh. 7(1), 75–83.*
- Pulungan, A. F., & Wahyuni, S. (2021b). Analisis Kandungan Logam Kadmium (Cd) Dalam Air Minum Isi Ulang (Amiu) Di Kota Lhokseumawe, Aceh. *Averrous: Jurnal Kedokteran Dan Kesehatan Malikussaleh, 7(1), 75–83.*
- Putri, W. A. E., & Anggraini, N. (2022). Akumulasi Logam Berat (Cu dan Pb) pada Kerang Darah Anadara granosa yang Berasal dari Perairan Muara Sungai Musi. *Jurnal Penelitian Sains, 24(1), 24.*
- Putri, W. A. E., Purwiyanto, A. I. S., Diansyah, G., Rozirwan, R., Fauziyah, F., Agustriani, F., Haryati, A., & Gusri, A. A. (2024). Logam Berat Cd di Sungai Musi Bagian Hilir, Sumatera Selatan. *Buletin Oseanografi Marina, 13(1), 13–20.*
- Rahayu, A., Syauqi, R., & Islami, M. K. (2021). *Teknologi Pengolahan Kandungan Kromium dalam Limbah Penyamakan Kulit Menggunakan Proses Adsorpsi: Review. 5(April), 90–99.*
- Rahmiati, S., Mardiansyah, Y., & Sabrina, N. (2024). Deteksi Kandungan Logam Berat Pada Kerang Yang Beredar Di Pasar Tradisional Kota Batam. *Jurnal Zarah, 12(1), 1–6.*
- Ramadhan, A. B. P., Kurniawan, E. R., & Dewistamara, M. G. (2023). Keanekaragaman Bivalvia di Pantai Goa Petapa Bangkalan, Madura.

Sains Dan Matematika, 8(1), 13–18.

- Razi, N. M., Fildzah, F., Dhani, D. N., Nasir, M., Rizki, A., & Firdus, F. (2023). Literatur Review: Pencemaran Logam Berat di Pelabuhan Indonesia. *Jurnal Laot Ilmu Kelautan*, 5(1), 48.
- Retnosari, F., Andriyono, S., & Nurmalia Dewi, N. (2024). Bioaccumulation of Heavy Metals Lead, Copper, and Zinc in Mangrove Roots *Avicennia marina*, Water, and Sediment in Panceng Waters, Gresik, Jawa Timur. *Journal of Marine and Coastal Science*, 13(2), 78–92.
- Rino, UlfaSulaiman, Sumiaty, Baharuddin4, A., & Puspitasari, A. (2022). Analisis Spasial Kualitas Air Logam Berat Timbal (Pb) Kanal Hertasning Kota Makassar Tahun 2022. 3(3), 470–479.
- Robin, A. (2024). *Paparan Logam Berat Dalam Air Minum : Studi*. 7, 3078–3086.
- Rudiyanti, S., Suryanti, S., & Ain, C. (2023). Bioconcentration of Chromium (Cr) on The Soft Tissue of Mussels (*Perna viridis* , Linnaeus 1758) in Tambak Lorok Waters , Semarang. 26(2), 245–254.
- Rumahlatu, D., S.P.M.P., Kristin Sangur, S. P. M. P., & Prof. Dr. Fredy Leiwakabessy, M. P. (2023). *Biomonitoring Logam Berat: Kajian Biomolekuler, Fisiologi, dan Etologi pada Biota Perairan*. CV. Bintang Semesta Media.
- Rusul, L., Denia, I., Moelyaningrum, A. D., Tri, P., & Ningrum, R. (2022). Kondisi Fisik Air Sungai Dan Kandungan Logam Kromium Pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) (Studi Di Sungai Kreongan Sekitar Industri Batik X , Kecamatan Patrang , Kabupaten Jember). 21(3), 293–300.
- Salman, S. (2020). 1. *Survei Parameter Fisika-Kimia Perairan Dan Konsentrasi Logam Berat Pada Kerang Hijau Di Pulau Reklamasi C Dan D, Teluk Jakarta*. 7(2), 122–129.
- Salsabila, A. M., & Dewi, I. P. (2024). Analisis Kandungan Logam Berat (Pb , Cd , Dan Cu) Pada Sedimen Kawasan Mangrove Dan Perairan Sekitarnya Kecamatan Aluh-Aluh Kabupaten Banjar. 8, 118–123.
- Sari, S. H. J., Yona, D., Aliviyanti, D., Asadi, M. A., & Yanuar, A. T. (2023). *Oseanografi Kimia*. Universitas Brawijaya Press.
- Satriawan, E. F., Widowati, I., & Suprijanto, J. (2021). Pencemaran Logam Berat Kadmium (Cd) dalam Kerang Darah (*Anadara granosa*) yang Didaratkan di Tambak Lorok Semarang. *Journal of Marine Research*, 10(3), 437–445.

- Savoca, D., & Pace, A. (2021). *Bioaccumulation , Biodistribution , Toxicology and Biomonitoring of Organofluorine Compounds in Aquatic Organisms*.
- Septya, L., & Pauzi, R. Y. (2024). *Potensi dan Ancaman Kesehatan Masyarakat Bioakumulasi Logam Berat pada Ikan Sungai . Review Kalimantan*. 2(2), 93–102.
- Shukla, P., Ahmed, A., & Lodhi, S. (2023). Cadmium Toxicity On Aquatic Ecosystem: A Review. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*, 11(8), 2320–2882. www.ijcrt.org
- Singh, V., Ahmed, G., Vedika, S., Kumar, P., Chaturvedi, S. K., Rai, S. N., Vamanu, E., & Kumar, A. (2024). Toxic heavy metal ions contamination in water and their sustainable reduction by eco-friendly methods: isotherms, thermodynamics and kinetics study. *Scientific Reports*, 14(1), 1–13.
- Sintie, T. (2022). *Bioaccumulation and Biota-Sediment Accumulation Factor of metals and metalloids in edible fish : A systematic review and meta-analysis in Ethiopian*. 1–15.
- Sulistiyarningsih, E., & Arbi, U. Y. (2020). Aspek Bio-Ekologi Dan Pemanfaatan Kerang Marga Anadara (Mollusca: Bivalvia: Arcidae). *Oseana*, 45(2), 69–85.
- Suryono, C. A., & Indardjo, A. (2023). *Kontaminasi Logam Cr dan Fe pada Organisme Benthik Laut yang Ditangkap di Perairan Jawa Tengah*. 26(November), 571–578.
- Suteja, Y., Dirgayusa, I. G. N. P., & Purwiyanto, A. I. S. (2020). Chromium in Benoa Bay, Bali - Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 153, 111017.
- Trisyani, N., Agustin, T. I., Ningrum, R. H., Perikanan, J., & Tuah, U. H. (2021). *Karakteristik Fisik Dan Organoleptik Tepung Daging Kerang Bambu (Solen Sp .) Dengan Bahan Perendam Yang Berbeda*. 14(1), 82–90.
- Untu, I. M., Rarumangkay, J., Hanna, Y., & Kowel, S. (2022). *E-Book Bioakumulasi Senyawa Xenobiotik*.
- Visayas, W., Norte-campos, A. G. C., Lapara, S. L., & Sanchez, K. A. S. (2020). Population Dynamics of the Hiant Venus Marcia hiantina (Lamarck, 1818) (Mollusca : Bivalvia , Veneridae) Gleaned in Banate. *Philippine Journal of Natural Sciences*, 25(1), 30–40.
- Water, N., & Management, Q. (2000). *Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality*. 1(4).

- Winerungan, Madussa, & Sondakh. (2025). *Analisis Risiko Ekologis Cromium (Cr) Pada Sedimen Dan*. 6, 15408–15415.
- Yuni, E., Yunilas, Y., Trisna, A., & Lubis, A. H. (2024). Pemberdayaan Kelompok Nelayan dalam Membudidayakan Kerang Dara sebagai Pendapatan Ekonomi Rakyat di Kampung Nelayan Belawan 1 Medan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat (ABDIRA)*, 4(3), 44–49.
- Yunusa, M. A., Igwe, E. C., & Mofoluke, A. O. (2023). Heavy Metals Contamination of Water and Fish- a Review. *Fudma Journal of Sciences*, 7(1), 110–118.
- Zaynab, M., Al-Yahyai, R., Ameen, A., Sharif, Y., Ali, L., Fatima, M., Khan, K. A., & Li, S. (2022). Health and environmental effects of heavy metals. *Journal of King Saud University - Science*, 34(1), 101653.
- Zhang, S., Fu, K., Gao, S., Liang, B., Lu, J., & Fu, G. (2023). *Bioaccumulation of Heavy Metals in the Water , Sediment , and Organisms from The Sea Ranching Areas of Haizhou Bay*.
- Zhou, Q., Zhang, J., Fu, J., Shi, J., & Jiang, G. (2008). Biomonitoring: An appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Analytica Chimica Acta*, 606(2), 135–150.

LAMPIRAN

Lampiran 1: SK Pembimbing



YAYASAN WAKAF UMI
UNIVERSITAS MUSLIM INDONESIA
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
 KAMPUS II UMI, Jln. Urip Sumoharjo KM 5 Makassar Info - www.fkmumi.ac.id

SURAT KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT UMI
 Nomor : 1852/H.23/FKM-UMI/X/2025

Tentang
PENGANGKATAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR (SKRIPSI)
 Atas Rahmat Allah SWT
Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Muslim Indonesia

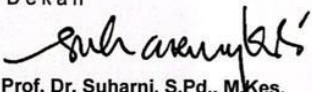
Menimbang	: 1. Bahwa untuk menjamin kelancaran dan terarahnya penulisan proposal dan Skripsi serta pelaksanaan penelitian mahasiswa maka dipandang perlu untuk menetapkan tim pembimbing Skripsi bagi mahasiswa S1 Kesehatan Masyarakat FKM UMI yang akan menyelesaikan studinya 2. Tim pembimbing ini membantu dan membimbing mahasiswa dalam penulisan proposal, Skripsi, dan pelaksanaan penelitian / praktek sampai mahasiswa tersebut menyelesaikan studinya.
Mengingat	: 1. UU. Nomor 20 thn 2003 tentang sistem pendidikan Nasional 2. Keputusan Menteri Pendidikan RI. Nomor 23/U/2000 3. PP No. 4 tahun 2014 Tentang penyelenggaraan pendidikan tinggi 4. Peraturan Universitas Muslim Indonesia Nomor 01 tahun 2014

MEMUTUSKAN

Menetapkan	:
Pertama	: Mengangkat Tim Pembimbing Skripsi bagi saudara (i) RIZMA JUWITA (NIM: 14120220116) Peminatan : KESEHATAN LINGKUNGAN Dengan susunan Tim sebagai berikut : 1. Dr. Abd. Gafur, SKM., M.Kes 2. Ayu Puspitasari, SKM., M.Kes Pembimbing I Pembimbing II
Kedua	: Kepada Tim Pembimbing diberikan honorarium sesuai dengan peraturan yang berlaku dalam lingkungan Universitas Muslim Indonesia
Ketiga	: Keputusan ini mulai berlaku sejak ditetapkan dan akan ditinjau serta diperbaiki sebagaimana mestinya apabila terdapat kekeliruan di dalamnya
Keempat	: Keputusan ini disampaikan kepada yang bersangkutan untuk diketahui dan dilaksanakan dengan penuh amanah dan rasa tanggungjawab.

Ditetapkan di : Makassar
 Pada Tanggal : 01 Jumadil Awwal 1447 H.
 23 Oktober 2025 M.

Dekan


Prof. Dr. Suharni, S.Pd., M.Kes.

Tembusan :

1. Ketua YW-UMI
2. Rektor UMI
3. Arsip

www.fkmumi.ac.id

KESEHATAN MASYARAKAT-ILMU KEPERAWATAN-KEBIDANAN-NERS

"Terwujudnya Fakultas Kesehatan Masyarakat yang Unggul untuk menghasilkan tenaga kesehatan yang Islami dan kompeten dalam melayani masyarakat dengan akses pelayanan kesehatan terpadu pada tahun 2030"



 fkmumiofficial
 Fakultas Kesehatan Masyarakat UMI
 fkmumiofficial
 fkmumiofficial

Lampiran 2: Surat Izin Penelitian Universitas Muslim Indonesia



YAYASAN WAKAF UMI
UNIVERSITAS MUSLIM INDONESIA
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
 KAMPUS II UMI, Jln. Urip Sumoharjo KM 5 Makassar Info - www.fkmumi.ac.id

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Nomor : 0914/B.09/FKM-UMI/XII/2025
 Lamp : -
 Hal : **Permohonan Izin Penelitian**

31 Desember 2025 M
 11 Rajab 1447 H

Kepada Yang Terhormat
 Kepala Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu satu Pintu Provinsi
 Sulawesi Selatan
 Cq. Bidang Penyelenggaraan Pelayanan Perizinan
 Di
 Makassar

كتبه بر و الله ورحمة عليكم السلام

Dengan Rahmat Allah SWT, dalam rangka penyusunan Skripsi dari mahasiswa:

Nama : Rizma Juwita
 Stambuk : 14120220116
 Program Studi : Kesehatan Masyarakat
 Peminatan : Kesehatan Lingkungan

Dimohon kiranya yang bersangkutan dapat diberikan izin / rekomendasi untuk melaksanakan Penelitian di:

"Selat Makassar"

Waktu Penelitian: 02 Januari - 30 Maret 2026

Judul Penelitian :
"Bioakumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) pada Kerang Bakalang (Marcia hiantina) di Perairan Selat Makassar"

Demikianlah permohonan ini, atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

التولي والتفويض والقبول والهداية

Dekan
 Wakil Dekan-I Bidang Akademik
 Dr. Sundari, SST., MPH

Tembusan:

1. Dekan FKM UMI (Sebagai laporan)
2. Arsip

www.fkmumi.ac.id

KESEHATAN MASYARAKAT - ILMU KEPERAWATAN - KEBIDANAN - NERS

"Terwujudnya Fakultas Kesehatan Masyarakat yang Unggul dalam menghasilkan tenaga kesehatan yang berdaya saing dan islami dalam pengembangan ilmu kesehatan masyarakat pada tingkat Nasional tahun 2020"



Lampiran 3: Surat Izin Penelitian Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu (PTSP) Provinsi Sulawesi Selatan



PEMERINTAH PROVINSI SULAWESI SELATAN
DINAS PENANAMAN MODAL DAN PELAYANAN TERPADU SATU PINTU
 Jl. Bougenville No.5 Telp. (0411) 441077 Fax. (0411) 448936
 Website : <http://proptsp.sulselprov.go.id> Email : ptsp@sulselprov.go.id
 Makassar 90231

Nomor	: 25745/S.01/PTSP/2026	Kepada Yth.
Lampiran	: -	Walikota Makassar
Perihal	: <u>Izin penelitian</u>	

di-
Tempat

Berdasarkan surat Dekan Fak. Kesehatan Masyarakat UMI Makassar Nomor : 0914/B.09/FKM-UMI/XII/2025 tanggal 31 Desember 2025 perihal tersebut diatas, mahasiswa/peneliti dibawah ini:

N a m a	: RIZMA JUWITA
Nomor Pokok	: 14120220116
Program Studi	: Kesehatan Masyarakat
Pekerjaan/Lembaga	: Mahasiswa (S1)
Alamat	: Jl. Urip Sumoharjo Km. 05 Makassar



PROVINSI SULAWESI SELATAN

Bermaksud untuk melakukan penelitian di daerah/kantor saudara dalam rangka menyusun SKRIPSI, dengan judul :

" BIOAKUMULASI LOGAM BERAT KADMIUM (Cd) DAN KROMIUM (Cr) PADA KERANG BAKALANG (MARCIA HIANTINA. L) DI PERAIRAN SELAT MAKASSAR TAHUN 2026 "

Yang akan dilaksanakan dari : Tgl. **09 Januari s/d 08 Maret 2026**

Sehubungan dengan hal tersebut diatas, pada prinsipnya kami **menyetujui** kegiatan dimaksud dengan ketentuan yang tertera di belakang surat izin penelitian.

Demikian Surat Keterangan ini diberikan agar dipergunakan sebagaimana mestinya.

Diterbitkan di Makassar
Pada Tanggal 09 Januari 2026

KEPALA DINAS PENANAMAN MODAL DAN PELAYANAN TERPADU SATU PINTU PROVINSI SULAWESI SELATAN



ASRUL SANI, S.H., M.Si.

Pangkat : PEMBINA UTAMA MUDA (IV/c)

Nip : 19750321 200312 1 008

Tembusan Yth

1. Dekan Fak. Kesehatan Masyarakat UMI Makassar di Makassar;
2. *Pertinggal.*

Lampiran 4: Surat Izin Penelitian Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu (PTSP) Provinsi Sulawesi Selatan



PEMERINTAH KOTA MAKASSAR
DINAS PENANAMAN MODAL DAN PELAYANAN TERPADU SATU PINTU
Jl. Jendral Ahmad Yani No. 2 Makassar 90171
Website: dpmpstsp.makassar.go.id



SURAT KETERANGAN PENELITIAN Nomor: 070/7939/SKP/SB/DPMPSTSP/1/2026

DASAR:

- Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2018 tentang Penerbitan Keterangan Penelitian.
- Peraturan Daerah Nomor 8 Tahun 2016 tentang Pembentukan Organisasi Perangkat Daerah
- Peraturan Walikota Nomor 4 Tahun 2023 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berbasis Resiko, Perizinan Non Berusaha dan Non Perizinan
- Keputusan Walikota Makassar Nomor 954/503 Tahun 2023 Tentang Pendelegasian Kewenangan Perizinan Berusaha Berbasis Resiko, Perizinan Non Berusaha dan Non Perizinan yang Menjadi Kewenangan Pemerintah Daerah Kepada Kepala Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Kota Makassar Tahun 2023
- Rekomendasi Teknis Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Kota Makassar nomor 7948/SKP/SB/BKBP/1/2026

Dengan Ini Menerangkan Bahwa :

Nama : RIZMA JUWITA
NIM / Jurusan : 14120220116 / Kesehatan Masyarakat
Pekerjaan : Mahasiswa (S1) / Universitas Muslim Indonesia
Alamat : Jl. Urip Sumoharjo Km. 05 Makassar
Lokasi Penelitian : Terlampir-,
Waktu Penelitian : 09 Januari 2026 - 08 Maret 2026
Tujuan : Skripsi
Judul Penelitian : BIOAKUMULASI LOGAM BERAT KADMIUM (CD) DAN KROMIUM (CR) PADA KERANG BAKALANG (MARCIA HIANTINA. L) DI PERAIRAN SELAT MAKASSAR TAHUN 2026

Dalam melakukan kegiatan agar yang bersangkutan memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- Surat Keterangan Penelitian ini diterbitkan untuk kepentingan penelitian yang bersangkutan selama waktu yang sudah ditentukan dalam surat keterangan ini.
- Tidak dibenarkan melakukan penelitian yang tidak sesuai / tidak ada kaitannya dengan judul dan tujuan kegiatan penelitian.
- Melaporkan hasil penelitian kepada Kepala Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Kota Makassar melalui email bidangekososbudkesbangpolmks@gmail.com.
- Surat Keterangan Penelitian ini dicabut kembali apabila pemegangnya tidak menaati ketentuan tersebut diatas.



Ditetapkan di Makassar

Pada tanggal: 13 Januari 2026



Ditandatangani secara elektronik oleh
**KEPALA DINAS PENANAMAN MODAL
DAN PELAYANAN TERPADU SATU PINTU
KOTA MAKASSAR**

H. MUHAMMAD MARIO SAID, S.IP., M.Si.

Tembusan Kepada Yth:

- Pimpinan Lembaga/Instansi/Perusahaan Lokasi Penelitian;
- Pertinggal,-

Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik.

Lampiran 5: Kode Etik



KOMITE ETIK PENELITIAN (KEP)
Universitas Muslim Indonesia
 Jalan Urip Sumoharjo Gedung Menara UMI lantai 2 Telp. & Fax. (0411)
 428075 Makassar 90231 Website: www.umi.ac.id
 Email: upt_kep@umi.ac.id

**REKOMENDASI PERSETUJUAN ETIK (*Expedited*)**

NOMOR : 022/A.1/KEP-UMI/II/2026

Berdasarkan Pemeriksaan Protokol dan Dokumen yang berhubungan dengan Protokol Penelitian:

Nama Peneliti : Rizma Juwia

Judul Penelitian : Bioakumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) Dan Kromium (Cr) Pada Kerang Bakalang (Marcia Hiantina. L) Di Perairan Selat Makassar

No Register

U	M	I	0	1	2	5	1	2	9	5	2
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Telah di review

secara(*Expedited*) oleh tim reviewer Komite Etik Penelitian UMI dengan

No Versi :0

No PSP :0

Berdasarkan hasil pemeriksaan reviewer, maka Pengurus Komite Etik Penelitian UMI memberikan **Persetujuan / Rekomendasi Etik** untuk Pelaksanaan Penelitian tersebut di atas sampai dengan Tanggal **08 Januari 2027**.

Dalam melaksanakan penelitian ini, Peneliti diminta untuk menjaga dan menghormati martabat makhluk hidup (Manusia / Hewan Coba) yang menjadi subyek / responden / informan dalam penelitian ini. Dengan demikian diharapkan masyarakat luas dapat memperoleh manfaat yang baik dari penelitian ini.

Pada akhir penelitian, laporan pelaksanaan penelitian harus diserahkan kepada KEP UMI Makassar. Jika ada perubahan protokol dan atau perpanjangan penelitian, harus mengajukan kembali permohonan kajian etik penelitian (Amandemen Protokol).

Makassar, 08 Januari 2026



Ketua Komite Etik Penelitian (KEP) UMI

Dr. H. Samudra S.K.M., S.Kep.Ns.M.Kes,M.Kep

Lampiran 6: Hasil Pemeriksaan Laboratorium Sampel Kerang



**LABORATORIUM PRODUKTIVITAS & KUALITAS PERAIRAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

Jl. Perintis Kemerdekaan, KM 10 Tamalanrea, Makassar, Indonesia 90245

Telp./Fax: +62-0411-586025, email: lpkp_fikp_uh@gmail.com, website: http://fikp.unhas.ac.id

LAPORAN HASIL UJI

No. 0930a/LHU-LPKP/II/2026

No. Penerimaan Sampel : 930/BPSU_LPKP/II/2026

I. Data Pelanggan

Nama pelanggan : Rizma Juwita & Annisa Atuz zahra (UMI)
Alamat : Makassar
No. Telp : +62 821-9452-0217
Email : annisatuzhira@gmail.com
No. Surat Permintaan :
Tujuan pengujian : Penelitian S1

II. Data Sampel

Jenis sampel : Kerang
Jumlah sampel : 6
Lokasi sampling : Perairan Selat Makassar Kelurahan Bira
Tanggal sampling : 26 Januari 2026
Tanggal diterima : 26 Januari 2026

Data Hasil Pengujian

No.	Parameter Uji	Satuan	Kode Sampel						Metode
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	
1	Kadmium (Cd)	mg/Kg	0,2973	0,4111	0,3538	0,3300	0,4993	0,3264	SNI 6989.16:2009
2	Kromium Total (Cr)	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	SNI 6989.17:2009

Pranata Laboratorium Pendidikan (PLP)

Fitriyani, S.Sn, M.K.M
NIP 197710122001122001

Diterbitkan Tanggal :
Makassar, 20 Februari 2026



Yengdahui
Kepala Laboratorium,
Rafaelaeni, MP
NIP 19651023 199103 2 001

Keterangan:

1. L H U hanya berlaku untuk sampel yang diuji.
2. Lembar LHU ini tidak boleh digandakan tanpa izin dari peminta jasa.
3. Batas komplain satu (1) minggu setelah LHU diterima Pelanggan.
4. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas proses pengambilan sampel uji (sampling) untuk sampel uji yang diantar dan dikirim oleh Pelanggan.
5. Laboratorium tidak memberikan opini dan interpretasi terhadap pernyataan kesesuaian dengan spesifikasi/standar baku mutu.

Lampiran 7: Hasil Pemeriksaan Laboratorium Sampel Air



**LABORATORIUM PRODUKTIVITAS & KUALITAS PERAIRAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

Jl. Perintis Kemerdekaan, KM 10 Tamalanrea, Makassar, Indonesia 90245
Telp / Fax : +62-0411-586025, email : lpkp_fkp_uh@gmail.com, website : http://fkip.unhas.ac.id

LAPORAN HASIL UJI

No. 0930b/LHU-LPKP/II/2026

No. Penerimaan Sampel : 930/BPSU_LPKP/II/2026

I. Data Pelanggan

Nama pelanggan : Rizma Juwita (UMI)
Alamat : Makassar
No. Telp : +62 821-9452-0217
Email : annisatuzhira@gmail.com
No. Surat Permintaan :
Tujuan pengujian : Penelitian S1

II. Data Sampel

Jenis sampel : Air
Jumlah sampel : 6
Lokasi sampling : Perairan Selat Makassar Kelurahan Bira
Tanggal sampling : 26 Januari 2026
Tanggal diterima : 26 Januari 2026

Data Hasil Pengujian

No.	Parameter Uji	Satuan	Kode Sampel						Metode
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	
1	Kadmium (Cd)	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	SNI 6989.16:2009
2	Kromium Total (Cr)	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	SNI 6989.17:2009

Pranata Laboratorium Pendidikan (PLP)

Fitriyani, S.Si, M.K.M
NIP. 197710122001122001

Diterbitkan Tanggal :
Makassar, 20 Februari 2026

Mengetahui
Kepada Laboratorium,
Fitriyani, S.Si, M.K.M
NIP. 19651023 199103 2 001

Keterangan:

1. L H U hanya berlaku untuk sampel yang diuji.
2. Lembar LHU ini tidak boleh digandakan tanpa izin dari peminta jasa.
3. Batas komplain satu (1) minggu setelah LHU diterima Pelanggan.
4. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas proses pengambilan sampel uji (sampling) untuk sampel uji yang diantar dan dikirim oleh Pelanggan.
5. Laboratorium tidak memberikan opini dan interpretasi terhadap pernyataan kesesuaian dengan spesifikasi/standar baku mutu.

Lampiran 8: Hasil Pemeriksaan Laboratorium Sampel Sedimen



**LABORATORIUM PRODUKTIVITAS & KUALITAS PERAIRAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

Jl. Perintis Kemerdekaan, KM 10 Tamalanrea, Makassar, Indonesia 90245
Telp / Fax : +62-0411-586025, email : lpkp_fkp_uh@gmail.com, website : http://fkip.unhas.ac.id

LAPORAN HASIL UJI

No. 0930c/LHU-LPKP/II/2026

No. Penerimaan Sampel : 930/BPSU_LPKP/II/2026

I. Data Pelanggan

Nama pelanggan : Rizma Juwita (UMI)
Alamat : Makassar
No. Telp : +62 821-9452-0217
Email : annisatuzhra@gmail.com
No. Surat Permintaan :
Tujuan pengujian : Penelitian S1

II. Data Sampel

Jenis sampel : Sedimen
Jumlah sampel : 6
Lokasi sampling : Perairan Selat Makassar Kelurahan Bira
Tanggal sampling : 26 Januari 2026
Tanggal diterima : 26 Januari 2026

Data Hasil Pengujian

No.	Parameter Uji	Satuan	Kode Sampel						Metode
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	
1	Kadmium (Cd)	mg/Kg	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	SNI 6989.16:2009
2	Kromium Total (Cr)	mg/Kg	3,9174	3,1054	6,0875	0,9504	3,1537	1,6924	SNI 6989.17:2009

Pranata Laboratorium Pendidikan (PLP)

Fitriyani, S.Sn., M.K.M
NIP. 197710122001122001

Diterbitkan Tanggal :
Makassar, 20 Februari 2026



Fitriyani, S.Sn., M.K.M
NIP. 19651023 199103 2 001

Keterangan:

1. L H U hanya berlaku untuk sampel yang diuji.
2. Lembar LHU ini tidak boleh digandakan tanpa izin dari peminta jasa.
3. Batas komplain satu (1) minggu setelah LHU diterima Pelanggan.
4. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas proses pengambilan sampel uji (sampling) untuk sampel uji yang diantar dan dikirim oleh Pelanggan.
5. Laboratorium tidak memberikan opini dan interpretasi terhadap pernyataan kesesuaian dengan spesifikasi/standar baku mutu.

Lampiran 9: Surat Keterangan Lulus Plagiasi



KAMPUS II UMI . JL. Urip Sumoharjo KM 5 Makassar Info – www.fkmumi.ac.id



SURAT KETERANGAN LULUS PLAGIASI

Nomor : 1195/PL.00/FKM/UMI/RB/2025

Assalamu Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Unit Ruang Baca Fakultas Kesehatan Masyarakat dengan ini menerangkan bahwa :

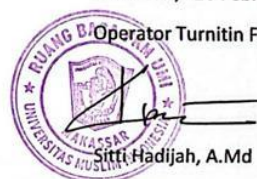
Nama : Rizma juwita
 NIM : 141 2022 0116
 Judul : BIOAKUMULASI LOGAM BERAT KADMIUM (Cd) DAN KROMIUM (Cr)
 PADA KERANG BAKALANG (MARCIA HANTINA. L) DI PERAIRAN SELAT MAKASSAR TAHUN 2026
 Program Studi / Peminatan : KESEHATAN MASYARAKAT / KESEHATAN LINGKUNGAN
 Status : Lulus (27%)
 Laporan Hasil Plagiasi : Terlampir

Adalah benar-benar sudah lulus pengecekan plagiasi dari Naskah publikasi Tugas Akhir dengan menggunakan aplikasi Turnitin.

Wassalamu Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, 26 Februari, 2026

Operator Turnitin FKM UMI

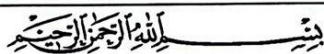


Lampiran 10: Keaslian Data



**LABORATORIUM KOMPUTER
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS MUSLIM INDONESIA**

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05 Kampus II Telp. (0411) 425607 Makassar 90231



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN DATA
Nomor : 031/A.01/LAB.KOMP-FKM-UMI/III/2026

NAMA : RIZMA JUWITA
JENIS KELAMIN : PEREMPUAN
STAMBUK : 14120220116
PRODI : KESEHATAN MASYARAKAT
PEMINATAN : KESEHATAN LINGKUNGAN
JUDUL SKRIPSI : BIOAKUMULASI LOGAM BERAT KADMIUM(Cd) DAN KROMIUM (Cr) PADA KERANG BAKALANG (MARCIA HIANTINA.L) DIPERAIRAN SELAT MAKASSAR TAHUN 2026

Apabila dikemudian hari terbukti tidak benar, maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan ketentuan hukum yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Wallahu Waliyyut Taufiq Walhidayah

Mengetahui
Kepala Lab. Komputer FKM UMI



FATMA JAWA, S.Kep.,Ns.,M.Kes

Makassar, 02 Maret 2026

Yang membuat pernyataan

Peneliti

RIZMA JUWITA

Lampiran 11: Perhitungan Bioakumulasi

1. Kerang Terhadap Air

$$\text{Rumus: } \text{BAF} = \frac{C_{\text{organisme}}}{C_{\text{lingkungan}}}$$

a. Kadmium

$C_{\text{organisme}}$: Titik 1= 0,2973 Titik 2= 0,4111 Titik 3= 0,3538 Titik
4=0,3300 Titik 5= 0,4993 Titik 6 = 0,3264

$C_{\text{lingkungan}}$: Titik 1= <0,003 Titik 2= <0,003 Titik 3=<0,003 Titik
4=<0,003 Titik 5=<0,003 Titik 6= <0,003 (Sampel Air)

$$\begin{aligned} \text{BAF} &= \frac{C_{\text{organisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\ &= \frac{0,2973}{0,003} \\ &= 99,1 \text{ (Titik I)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BAF} &= \frac{C_{\text{organisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\ &= \frac{0,4111}{0,003} \\ &= 137,03 \text{ (Titik II)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BAF} &= \frac{C_{\text{organisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\ &= \frac{0,3538}{0,003} \\ &= 117,93 \text{ (Titik III)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{organisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,3300}{0,003} \\
 &= 110 \text{ (Titik IIII)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{organisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,4993}{0,003} \\
 &= 166,43 \text{ (Titik IV)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{organisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,3264}{0,003} \\
 &= 108,8 \text{ (Titik VI)}
 \end{aligned}$$

Kromium

$C_{\text{organisme}}$: Titik 1= <0,01 Titik 2= <0,01 Titik 3 =<0,01 Titik 4= <0,01 Titik 5= <0,01 Titik 6 =<0,01

$C_{\text{Lingkungan}}$: Titik 1= <0,01 Titik 2= <0,01 Titik 3 =<0,01 Titik 4= <0,01 Titik 5= <0,01 Titik 6 =<0,01 (Sampel Air)

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{organisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,01}{0,01} \\
 &= 1,0 \text{ (Titik I)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{oragnisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,01}{0,01} \\
 &= 1,0 \text{ (Titik I)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{oragnisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,01}{0,01} \\
 &= 1,0 \text{ (Titik I)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{oragnisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,01}{0,01} \\
 &= 1,0 \text{ (Titik I)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{oragnisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,01}{0,01} \\
 &= 1,0 \text{ (Titik 2)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{oragnisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,01}{0,01} \\
 &= 1,0 \text{ (Titik I)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{oragnisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,01}{0,01} \\
 &= 1,0 \text{ (Titik III)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{oragnisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,01}{0,01} \\
 &= 1,0 \text{ (Titik IV)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{oragnisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,01}{0,01} \\
 &= 1,0 \text{ (Titik V)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{oragnisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,01}{0,01} \\
 &= 1,0 \text{ (Titik VI)}
 \end{aligned}$$

2. Kerang Terhadap Sedimen

a. Kadmium

C_{organisme}: Titik 1= 0,2973 Titik 2= 0,4111 Titik 3= 0,3538 Titik
4=0,3300 Titik 5= 0,4993 Titik 6 = 0,3264

C_{Lingkungan}: Titik 1= <0,003 Titik 2= <0,003 Titik 3=<0,003 Titik
4=<0,003 Titik 5=<0,003 Titik 6= <0,003 (Sampel Sedimen)

$$\begin{aligned} \text{BAF} &= \frac{C_{\text{organisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\ &= \frac{0,2973}{0,003} \\ &= 99,1 \text{ (Titik I)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BAF} &= \frac{C_{\text{organisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\ &= \frac{0,4111}{0,003} \\ &= 137,03 \text{ (Titik II)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BAF} &= \frac{C_{\text{organisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\ &= \frac{0,3538}{0,003} \\ &= 117,93 \text{ (Titik III)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{organisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,3300}{0,003} \\
 &= 110 \text{ (Titik IIII)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{organisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,4993}{0,003} \\
 &= 166,43 \text{ (Titik IV)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{organisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,3264}{0,003} \\
 &= 108,8 \text{ (Titik VI)}
 \end{aligned}$$

b. Kromium:

$C_{\text{organisme}}$: Titik 1= $<0,01$ Titik 2= $<0,01$ Titik 3= $<0,01$ Titik 4= $<0,01$ Titik
5= $<0,01$ Titik 6= $<0,01$

$C_{\text{Lingkungan}}$: Titik 1= 0,2773 Titik 2= 0,4111 Titik 3= 0,3538 Titik
4=0,330 Titik 5= 0,4993 Titik 6 = 0,3264 (Sampel Sedimen)

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{organisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,01}{3,9174} \\
 &= 0,0025 \text{ (Titik I)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{oragnisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,01}{3,1054} \\
 &= 0,0032 \text{ (Titik II)}
 \end{aligned}$$

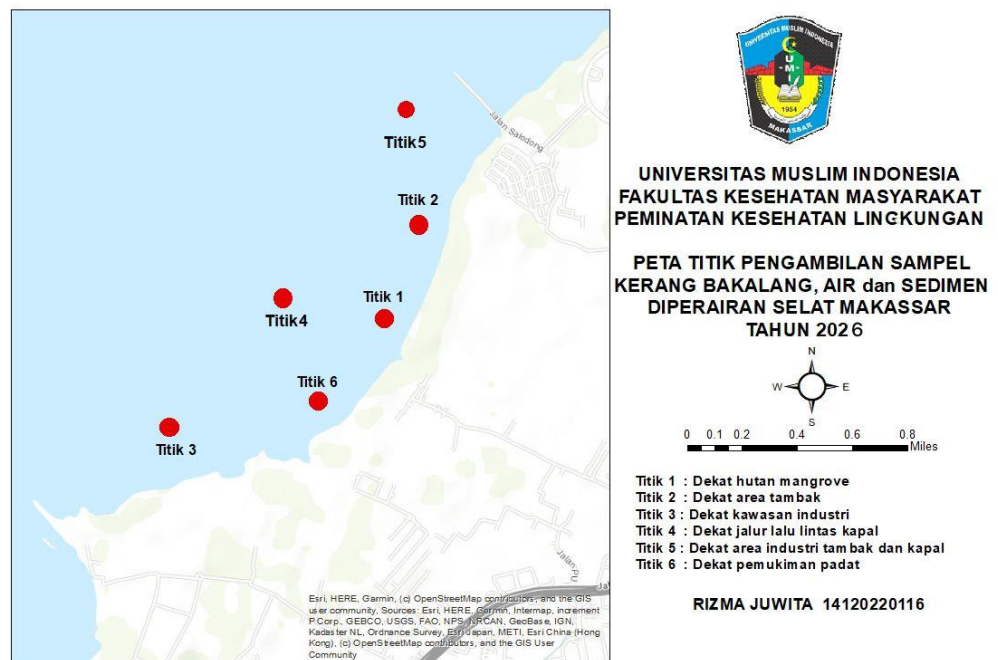
$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{oragnisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,01}{6,0875} \\
 &= 0,0016 \text{ (Titik III)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{oragnisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,01}{0,9504} \\
 &= 0,0105 \text{ (Titik IV)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{oragnisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,01}{3,1537} \\
 &= 0,0031 \text{ (Titik V)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BAF} &= \frac{C_{\text{oragnisme}}}{C_{\text{lingkungan}}} \\
 &= \frac{0,01}{1,6924} \\
 &= 0,0059 \text{ (Titik VI)}
 \end{aligned}$$

Lampiran 13: Peta Lokasi Pengambilan Sampel



Lampiran12 : Dokumentasi



Dokumentasi 1
Pengambilan Sampel Kerang



Dokumentasi 2
Pengambilan Sampel Air



Dokumentasi 3
Pengambilan Sampel Sedimen

RIWAYAT HIDUP



A. Identitas Penulis

Nama : Rizma Juwita
Nim : 14120220116
Agama : Islam
Tempat, Tanggal Lahir : Tarakan, 09 Desember 2003
Alamat : Jl. Poros Bulungan, Berau Kalimantan Timur
Email : rizmajuwita09@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. TK Terkini (2008-2010)
2. SD Negri 015 Gunung Tabur (2010-2016)
3. SMP Negri 4 Berau (2016-2019)
4. SMA Negri 5 Berau (2019-2022)