

SKRIPSI

ESTIMASI RISIKO KARSINOGENIK KADMIUM (Cd) DAN KROMIUM (Cr) PADA KERANG BAKALANG (*MARCIA HIANTINA. L*) TERHADAP MASYARAKAT NELAYAN DI LANTEBUNG BIRA KOTA MAKASSAR



Oleh:

**ANNISA ATUZ ZAHRA
14120220058**

**Skripsi ini dianjurkan 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

ESTIMASI RISIKO KARSINOGENIK KADMIUM (Cd) DAN KROMIUM (Cd) PADA KERANG BAKALANG TERHADAP MASYARAKAT NELAYAN DI LANTEBUNG BIRA KOTA MAKASSAR

ANNISA ATUZ ZAHRA

14120220058

Telah diujikan pada tanggal 11 Maret 2026
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

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

Anggota : Dr. Alfina Baharuddin, SKM., M.Kes.

Anggota : Dr. Ikhran Hardi S, SKM., M.Kes.

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

Makassar, 12 Maret 2026
Fakultas Kesehatan Masyarakat

Dekan,

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

FKM UMI

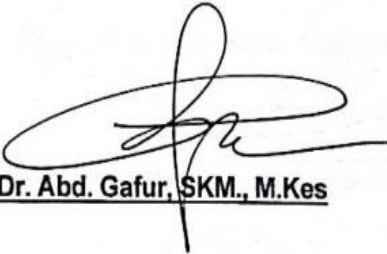
HALAMAN PERSETUJUAN

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, Maret 2026

Dosen Pembimbing

Pembimbing I



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

Pembimbing II



Dr. Alfina Baharuddin, SKM., M.Kes

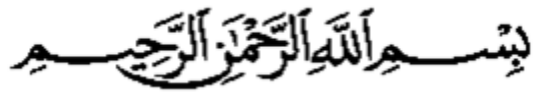
Diketahui

Wakil Dekan I



Dr. Sundari, S.ST., MPH

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, segala puji syukur penulis panjatkan atas segala limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul Estimasi Risiko Karsinogenik Kadmium (Cd) Dan Kromium (Cr) Pada Kerang Bakalang (*Marcia Hiantina. L*) Terhadap Masyarakat Nelayan Di Lantebung Bira Kota Makassar ini dapat disusun dan diselesaikan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan di Fakultas Kesehatan Masyarakat (FKM) Universitas Muslim Indonesia dan memperoleh gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat. Shalawat serta salam penulis haturkan kepada junjungan Nabi besar Muhammad SAW, yang telah membawa Cahaya islam dan menjadi teladan sempurna bagi umat manusia. Semoga kita semua termasuk umat yang senantiasa mengikuti sunnahnya dan mendapat syafa'atnya di hari kelak.

Penyusunan skripsi ini dijalani dengan berbagai tantangan, keraguan, serta tekanan yang hadir secara bergantian sepanjang perjalanan. Namun, ditengah berbagai kesulitan tersebut, penulis senantiasa memperoleh kekuatan melalui dukungan, kasih sayang, dan doa dari orang-orang terdekat yang selalu menyertai, baik melalui kehadiran secara langsung maupun melalui perhatian tulus yang mungkin tidak terlihat, tetapi sangat bermakna.

Secara khusus, dengan penuh rasa haru dan syukur, penulis menyampaikan terima kasih yang mendalam kepada orang tua tercinta atas seluruh dukungan dan kasih sayang yang telah diberikan selama ini.

Ibu Rahmawati, *support system* dan bidadari surgaku, bukan hanya berperan seorang ibu, tetapi juga teman curhat, guru, dan cahaya dalam setiap langkah kehidupan. Dari kelembutannya, penulis belajar tentang ketulusan, dari air matanya, penulis memahami makna perjuangan, dan dari doa yang tidak pernah terputus, penulis mengenal cinta sejati tanpa syarat.

Bapak Aris Hasim, *first love* dan panutanku, adalah sosok yang senantiasa mengkhawatirkan setiap langkah putrinya ketika berada jauh dari rumah. Beliau tidak pernah lelah mencurahkan tenaga, pengorbanan, dan kerja keras untuk memberikan yang terbaik, memenuhi kebutuhan, mendidik, membimbing, memberikan dukungan serta motivasi, dan terus mendoakan agar penulis mampu melangkah secara bertahap dalam meraih impian serta tetap pantang menyerah hingga akhirnya menyelesaikan pendidikan sarjana.

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

1. Bapak Prof. Dr. H. Mansyur Ramly, SE, M.Si. selaku Ketua Pembina Yayasan Wakaf Universitas Muslim Indonesia
2. Ibu Prof. 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 Prof. Dr. Suharni Andi Fachrin, S.Pd., M.Kes selaku Dekan Fakultas Kesenatan 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 Sekretaris Program Studi Kesehatan Masyarakat
6. Bapak Dr. Abd. Gafur, SKM., M.Kes selaku Pembimbing I dan Ibu Dr. Alfina Baharuddin, SKM., M.Kes selaku Pembimbing II, Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bimbingan, arahan, masukan, serta kesabaran yang telah diberikan selama proses penyusunan skripsi ini. Penulis sangat menghargai setiap waktu, perhatian, dan pengetahuan yang Bapak dan Ibu curahkan dengan penuh ketulusan.
7. Bapak Dr. Ikham Hardi S, SKM., M.Kes selaku Penguji 1 dan Ibu Ayu Puspitasari, SKM., M.Kes selaku Penguji 2 yang telah memberikan kritik dan saran yang konstruktif selama proses ujian skripsi. Masukan tersebut sangat berarti bagi penulis dalam memperbaiki dan menyempurnakan karya ini sehingga memiliki kualitas dan nilai akademik yang lebih baik.
8. Ibu Dr. Alfina Baharuddin, SKM., M.Kes selaku Pembimbing Akademik
9. Kepada Aparat Kelurahan Bira yang telah memberikan izin serta akses dalam pelaksanaan pengambilan data di lapangan, serta kepada masyarakat Kelurahan Bira atas sambutan yang hangat, kerja sama yang baik, dan bantuan yang diberikan selama proses pengambilan sampel, sehingga seluruh rangkaian penelitian dapat terlaksana dengan lancar, aman, dan sesuai harapan

10. Kepada Adikku tersayang, Prada Muh. Al Qadri Aris, yang telah memberikan dukungan, pengorbanan, serta membantu secara finansial melalui gajinya untuk mendukung keberlangsungan pendidikan penulis hingga penyusunan skripsi ini. Terbanglah yang tinggi adikku, tak apa kau diatasku, aku akan menjadi peta untukmu dan akan selalu berusaha membuka jalan untuk impianmu itu
11. Kepada kakek dan nenek atas kasih sayang, doa, serta dukungan yang terus menguatkan penulis dalam menyelesaikan pendidikan.
12. Kepada sahabat seperjuangan penulis, Auliah Rusdi dan Dwi Afriani Sukri yang selalu menemani di setiap langkah, memberikan semangat dan memberikan bantuan kepada penulis agar bisa menyelesaikan skripsi ini dan selalu menjadi tempat suka duka bagi penulis selama masa perkuliahan.
13. Kepada teman KKN, yaitu Rizma Juwita, Fika Pinrakati, dan Muh. Yahya, atas kerja sama, kebersamaan, serta dukungan yang telah diberikan selama menjalani kegiatan hingga proses penyusunan skripsi. Terima kasih telah setia menemani dan membantu dalam proses pengambilan sampel sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.
14. Kepada teman PBL Dusun Tammu-Tammu Posko 1 dan Sobat Kesling atas kebersamaan, dukungan, serta pengalaman berharga yang telah diberikan selama proses pembelajaran. Terima kasih atas kerja sama, semangat belajar, dan motivasi yang terus dibagikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan penuh tanggung jawab.

15. Penulis ingin mengucapkan terima kasih untuk diri sendiri, Annisa Atuz Zahra, atas segala kerja keras dan semangat sehingga tidak pernah menyerah dalam mengerjakan tugas akhir skripsi ini. Terima kasih karena telah berjuang sejauh ini serta berusaha keras untuk meyakinkan dan menguatkan diri sendiri bahwa studi ini dapat diselesaikan sampai selesai.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dan masih memiliki banyak kekurangan di dalamnya. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa depan. Di balik setiap lembar yang tertulis, ada harapan besar agar karya ini dapat memberikan manfaat serta menjadi sumber ilmu yang berarti bagi para pembaca.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, 28 Februari 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR SINGKATAN.....	xiii
DAFTAR ISTILAH	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
RINGKASAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	7
C. Tujuan Penelitian	8
D. Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
A. Tinjauan Umum tentang Logam berat.....	10
B. Tinjauan Umum tentang Kadmium (Cd).....	15
C. Tinjauan Umum tentang Kromium (Cr)	20
D. Tinjauan Umum tentang Estimasi Risiko Kesehatan.....	25
E. Tinjauan Umum tentang Kerang Bakalang	35
F. Kerangka Teori.....	39
BAB III KERANGKA KONSEP	49
A. Dasar Pemikiran Variabel yang Diteliti	49
B. Kerangka Konsep.....	51
C. Definisi Operasional dan Kriteria Objektif.....	51
BAB IV METODE PENELITIAN	54
A. Jenis Penelitian	54
B. Waktu dan Lokasi Penelitian	54
C. Populasi dan Sampel Penelitian.....	55
D. Metode Pemeriksaan Sampel	59
E. Teknik Pengumpulan Data.....	61
F. Pengolahan dan Analisis Data	61

G. Penyajian Data.....	64
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	65
A. Gambaran Umum Lokasi Penelitian.....	65
B. Hasil Penelitian	68
C. Pembahasan	99
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	127
A. Kesimpulan	127
B. Saran	128
DAFTAR PUSTAKA.....	129

DAFTAR TABEL

No.Tabel	Judul	Halaman
5.1	Titik Pengambilan Sampel di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	69
5.2	Distribusi Masyarakat Berdasarkan Umur di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	70
5.3	Distribusi Masyarakat Berdasarkan Jenis Kelamin di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	71
5.4	Distribusi Masyarakat Berdasarkan Pendidikan Terakhir di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	71
5.5	Distribusi Masyarakat Berdasarkan Berat Badan di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	72
5.6	Distribusi Masyarakat Berdasarkan Lama Tinggal di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	73
5.7	Distribusi Masyarakat Berdasarkan Pola Konsumsi di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	73
5.8	Distribusi Masyarakat Berdasarkan Cara Perolehan di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	74
5.9	Distribusi Masyarakat Berdasarkan Cara Memasak Kerang di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	75
5.10	Distribusi Masyarakat Berdasarkan Diolah Tanpa dilepas Cangkangnya di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	75
5.11	Distribusi Masyarakat Berdasarkan Gangguan Kesehatan di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	76
5.12	Distribusi Masyarakat Berdasarkan Keluhan Setelah Konsumsi Kerang di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	77
5.13	Distribusi Kosentrasi Kadmium (Cd) pada Kerang Bakalang di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	78
5.14	Distribusi Kosentrasi Kromium (Cr) pada Kerang Bakalang di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	79
5.15	Asupan Karsinogenik Kadmium (Cd) Masyarakat Nelayan yang Mengonsumsi Kerang Bakalang di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	80
5.16	Asupan Karsinogenik Kromium (Cr) Masyarakat Nelayan yang Mengonsumsi Kerang Bakalang di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	82

5.17	Karakteristik <i>Excess Cancer Risk</i> (ECR) Karsinogenik Kadmium (Cd) Masyarakat Nelayan yang Mengonsumsi Kerang Bakalang di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	85
5.18	Karakteristik <i>Excess Cancer Risk</i> (ECR) Karsinogenik Kromium (Cr) Masyarakat Nelayan yang Mengonsumsi Kerang Bakalang di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	88
5.19	Nilai Analisis Pemajanan Logam Kadmium (Cd) Masyarakat Nelayan yang Mengonsumsi Kerang Bakalang di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	91
5.20	Nilai Analisis Pemajanan Logam Kromium (Cr) Masyarakat Nelayan yang Mengonsumsi Kerang Bakalang di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	92
5.21	Parameter Pemajanan Masyarakat Nelayan yang Mengonsumsi Kerang Bakalang di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar.....	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Logam Kadmium (Cd)	15
Gambar 2.2 Logam Kromium (Cr).....	20
Gambar 2.3 Kerang Bakalang (<i>Marcia Hiantina. L</i>)	38

DAFTAR SINGKATAN

AAS	: <i>Atomic Absorption Spectrofotometr</i>
ADD	: <i>Average Daily Dose</i>
ADI	: <i>Acceptable Daily Intake</i>
ARKL	: Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan
BPOM	: Badan Pengawas Obat dan Makanan
BCF	: <i>Bio Concentration Factor</i>
B3	: Bahan Berbahaya dan Beracun
C	: Konsentrai
Cd	: <i>Cadmium</i>
Cr	: <i>Chromium</i>
D	: Durasi pajanan
ECR	: <i>Excess Cancer Risk</i>
EHRA	: <i>Environmental Health Risk Assessment</i>
ESADDI	: <i>Estimated Safe and Adequate Daily Dietary Intake</i>
FAO	: <i>Food and Agriculture Organization</i>
f_E	: Frekuensi Pajanan
I	: <i>Intake</i>
KEPMEN LH	: Keputusan Menteri Lingkungan Hidup
LOD	: <i>Limit of Detection</i>
MCL	: <i>Maximum Contaminant Level</i>
R	: Laju asupan
RfC	: <i>Reference Concentration</i>
RfD	: <i>Reference Dose</i>

RQ	: <i>Risk Quotient</i>
SF	: <i>Slope Factor</i>
T _{avg}	: <i>Time Average</i>
US EPA	: <i>United States Environmental Protection Agency</i>
W _b	: <i>Berat Badan</i>
WHO	: <i>World Health Organization</i>

DAFTAR ISTILAH

Bioakumulasi	: Proses penumpukan zat berbahaya seperti logam berat dalam jaringan organisme hidup akibat paparan dari lingkungan secara terus-menerus
Biomagnifikasi	: Proses peningkatan konsentrasi zat berbahaya dalam rantai makanan dari organisme tingkat trofik rendah ke tingkat trofik yang lebih tinggi
Durasi Paparan (D)	: Lama waktu individu terpapar suatu agen risiko dari lingkungan dalam periode tertentu, biasanya dinyatakan dalam tahun
<i>Environmental Health Risk Assessment</i> (EHRA)	: Metode analisis yang digunakan untuk memperkirakan risiko kesehatan manusia akibat paparan faktor lingkungan
<i>Excess Cancer Risk</i> (ECR)	: Perkiraan kemungkinan tambahan kejadian kanker pada populasi akibat paparan zat karsinogenik selama periode waktu tertentu
Frekuensi Paparan (fE)	: Jumlah hari dalam satu tahun di mana individu mengalami paparan terhadap suatu agen risiko
<i>Intake</i> (I)	: Jumlah zat berbahaya yang masuk ke dalam tubuh manusia melalui jalur paparan tertentu seperti makanan, air, atau udara
Kadmium (Cd)	: Logam berat beracun yang dapat mencemari lingkungan perairan dan berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan seperti kerusakan ginjal, gangguan tulang, serta risiko kanker
Konsentrasi (C)	: Jumlah atau kadar suatu zat yang terdapat dalam media lingkungan seperti air, sedimen, atau jaringan organisme
Kromium (Cr)	: Logam berat yang dapat ditemukan dalam beberapa bentuk oksidasi dan dapat menimbulkan efek toksik maupun karsinogenik pada manusia

<i>Limit of Detection</i> (LOD)	: Batas konsentrasi terendah suatu zat yang masih dapat dideteksi oleh alat analisis laboratorium
Laju Asupan (R)	: Jumlah bahan pangan yang dikonsumsi individu dalam satuan berat per hari yang berpotensi menjadi jalur masuknya zat berbahaya ke dalam tubuh
<i>Maximum Contaminant Level</i> (MCL)	: Batas maksimum kandungan zat pencemar yang diperbolehkan dalam air minum atau lingkungan berdasarkan standar kesehatan
Pajanan	: Kontak antara manusia dengan agen bahaya yang terdapat di lingkungan melalui berbagai jalur seperti konsumsi makanan, air, atau udara
<i>Reference Dose</i> (RfD)	: Perkiraan jumlah paparan harian suatu zat yang masih dianggap aman bagi manusia tanpa menimbulkan efek kesehatan yang merugikan
<i>Reference Concentration</i> (RfC)	: Perkiraan konsentrasi zat berbahaya di udara yang masih dapat ditoleransi manusia tanpa menimbulkan dampak kesehatan
<i>Risk Quotient</i> (RQ)	: Nilai yang digunakan untuk menilai risiko kesehatan non-karsinogenik dengan membandingkan nilai intake dengan dosis referensi
Sedimen	: Material padatan yang mengendap di dasar perairan dan sering menjadi tempat akumulasi bahan pencemar seperti logam berat
<i>Slope Factor</i> (SF)	: Nilai faktor kemiringan yang digunakan dalam analisis risiko untuk memperkirakan potensi karsinogenik suatu zat
Toksisitas	: Kemampuan suatu zat kimia untuk menimbulkan efek merugikan terhadap organisme hidup.

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : SK Pembimbing
- Lampiran 2 : Surat Keterangan Lulus Kaji Etik (*Ethical Cleareance*)
- Lampiran 3 : Surat Izin Pengambilan Data Awal
- Lampiran 4 : Surat Izin Penelitian PTSP
- Lampiran 5 : Surat Izin Penelitian DPMPTSP
- Lampiran 6 : Surat Izin Penelitian Kecamatan Tamalanrea
- Lampiran 7 : Surat Keterangan Lulus Plagiasi
- Lampiran 8 : Surat Keterangan Keaslian Data
- Lampiran 9 : Kuesioner Penelitian
- Lampiran 10 : Hasil Pemeriksaan Kerang Kandungan Cd dan Cr
- Lampiran 11 : Hasil Olah Data
- Lampiran 12 : Perhitungan Intake Cd *Real Time* dan *Life Time*
- Lampiran 13 : Perhitungan Intake Cr *Real Time* dan *Life Time*
- Lampiran 14 : Dokumentasi Penelitian

RINGKASAN

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

**Annisa Atuz Zahra
14120220058**

“Estimasi Risiko Karsinogenik Kadmium (Cd) Dan Kromium (Cr) Pada Kerang Bakalang (*Marcia Hiantina. L*) Terhadap Masyarakat Nelayan Di Lantebung Bira Kota Makassar”

(CLXXXVI + 186 halaman+ 21 tabel + 30 lampiran)

Konsumsi kerang sebagai sumber pangan laut berpotensi menjadi jalur pajanan logam berat yang dapat menimbulkan risiko kesehatan, khususnya efek karsinogenik pada masyarakat pesisir. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui estimasi risiko karsinogenik pajanan Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) melalui konsumsi kerang bakalang pada masyarakat nelayan di Lantebung Bira Kota Makassar.

Jenis penelitian ini menggunakan pendekatan Penilaian Risiko Kesehatan Lingkungan (*Environmental Health Risk Assessment/EHRA*) dengan desain deskriptif kuantitatif terhadap nelayan yang mengonsumsi kerang bakalang. Data konsentrasi logam berat melalui analisis, sedangkan data konsumsi dan responden melalui survei. Estimasi risiko karsinogenik dihitung melalui nilai *intake* dan *excess cancer risk* (ECR).

Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi Kadmium (Cd) pada kerang berkisar 0,2973–0,4993 mg/kg, sedangkan Kromium (Cr) terdeteksi <0,01 mg/kg. Nilai rata-rata asupan Cd sebesar $2,51 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari dan Cr sebesar $6,79 \times 10^{-3}$ mg/kg/hari (*real time*). Nilai rata-rata ECR Cd sebesar $1,03 \times 10^{-4}$ dan Cr sebesar $3,59 \times 10^{-3}$, dengan nilai maksimum ECR Cd $2,92 \times 10^{-3}$ dan Cr $8,66 \times 10^{-3}$, menunjukkan sebagian responden memiliki risiko karsinogenik melebihi batas aman terutama pada pajanan Cr. Kesimpulan penelitian ini menunjukkan bahwa konsumsi kerang bakalang berpotensi menimbulkan risiko karsinogenik jangka panjang sehingga diperlukan pengawasan kualitas lingkungan dan pengendalian konsumsi sebagai upaya pencegahan risiko kesehatan.

Daftar Pustaka : 82 (2002-2025)

Kata Kunci : Kadmium, kromium, nelayan, risiko karsinogenik

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pencemaran perairan akibat pembuangan limbah industri tanpa pengolahan yang memadai telah menjadi ancaman serius bagi ekosistem laut. Zat kimia berbahaya dalam limbah tersebut merusak habitat biota laut dan mengganggu keseimbangan lingkungan. Dampak aktivitas ini menurunkan kualitas habitat biota laut serta mengganggu kestabilan ekosistem perairan. Permasalahan pencemaran perairan merupakan bentuk gangguan lingkungan yang dapat terjadi baik sebagai akibat proses alami maupun dampak aktivitas manusia (Andriani *et al.*, 2023).

Menurut *World Health Organization* (WHO) dan *Food and Agriculture Organization* (FAO) sebagai lembaga internasional yang berfokus pada bidang kesehatan dan pangan, merekomendasikan untuk tidak mengonsumsi hasil laut (*seafood*) yang tercemar. Hal ini disebabkan karena pencemaran perairan oleh logam berat seperti Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) dikenal sangat toksik, sulit terurai, serta mampu terakumulasi dalam jaringan tubuh setelah paparan jangka panjang. Zat-zat ini dapat mengendap di dasar perairan membentuk sedimen yang berpotensi menjadi sumber pencemaran sekunder bagi ekosistem akuatik (Harmitha *et al.*, 2022).

Logam berat yang masuk ke lingkungan perairan umumnya terakumulasi pada sedimen dan biota akuatik, dengan akumulasi yang

meningkat seiring waktu. Sifat kimia logam berat memungkinkan mereka berikatan dengan partikel tersuspensi di udara, lalu mengendap ke dasar perairan dan menumpuk di sedimen. Sedimen berperan sebagai habitat organisme dan penjebak alami logam berat dalam ekosistem perairan, sekaligus menjadi indikator tingkat polusi karena kemampuannya menyerap logam dan bahan organik (Fendjalang & Rupilu, 2023).

Kromium sebagai salah satu logam berat pada dasarnya hanya ditemukan dalam konsentrasi sangat rendah di lingkungan perairan, yang sumber alaminya berasal dari pelapukan batuan serta aliran permukaan (*run-off*) dari daratan. Paparan kromium dapat menimbulkan berbagai dampak negatif bagi kesehatan manusia, seperti peningkatan risiko kanker payudara, penyakit jantung, gangguan fungsi ginjal, asam urat, dan munculnya artritis. Selain itu, akumulasi kromium dalam jumlah tinggi di dalam tubuh juga berpotensi menyebabkan kerusakan pada organ hati dan ginjal serta menunjukkan efek toksik terhadap protoplasma organisme hidup (Lukmanulhakim *et al.*, 2023).

Kasus itai-itai merupakan dampak akibat pencemaran kadmium (Cd) yang berasal dari aktivitas pertambangan di Jepang sejak tahun 1912. Masyarakat di sekitar sungai Jinzu menderita keracunan kronis karena mengonsumsi air minum yang terkontaminasi serta mengonsumsi padi yang diairi dengan air sungai tersebut. Penyakit ini dikenal karena menimbulkan rasa sakit parah di tulang dan sendi, yang membuat penderitanya sulit bergerak. Kejadian ini menjadi peringatan

global tentang bahaya pencemaran lingkungan oleh logam berat (Sasaki *et al.*, 2024).

Kromium merupakan logam berat yang dapat ditemukan dalam beberapa bilangan oksidasi, antara lain +2, +3, dan +6. Senyawa kromium dengan bilangan oksidasi +6 diketahui sebagai oksidan yang sangat kuat dan memiliki tingkat toksisitas paling tinggi dibandingkan bentuk oksidasi lainnya. Paparan terhadap kromium dapat menimbulkan berbagai efek kesehatan, seperti iritasi pada hidung dan saluran pernapasan, iritasi mata, serta gangguan pada kulit (Sholikhah *et al.*, 2021).

Di Indonesia, pencemaran logam kadmium (Cd) pada lahan pertanian telah menjadi permasalahan serius karena berdampak pada kualitas tanah dan keamanan pangan bagi kesehatan manusia. Sungai Tallo yang dimanfaatkan masyarakat sebagai jalur transportasi, objek wisata, sumber air baku, serta kawasan perikanan tangkap dan budidaya keramba jaring apung, kini menghadapi tekanan lingkungan akibat aktivitas permukiman, pertanian, dan pertambakan di sepanjang alirannya. Selain itu, pembuangan limbah cair dan bahan berbahaya serta beracun (B3) tanpa pengolahan yang memadai oleh sejumlah perusahaan turut menyebabkan pencemaran air sungai, yang pada akhirnya menimbulkan dampak kesehatan bagi masyarakat, seperti gatal-gatal dan iritasi kulit (Ofudin *et al.*, 2025).

Di Sulawesi Selatan, Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Antang, Kota Makassar, kandungan logam berat kadmium (Cd) pada tanah terukur mencapai 0,53 $\mu\text{g/g}$. Konsentrasi tersebut menunjukkan tingkat pencemaran yang signifikan. Hal ini disebabkan karena nilainya berada jauh di atas standar yang ditetapkan oleh Badan Standarisasi Nasional. Batas maksimum kadmium menurut standar tersebut hanya 0,01 $\mu\text{g/g}$. Dengan demikian, kondisi ini mengindikasikan bahwa tanah di area TPA Antang telah terkontaminasi kadmium pada level yang tidak aman (Sahabuddin *et al.*, 2020).

Ainun *et al.*, (2021) mengemukakan bahwa hasil analisis sampel kerang darah dari muara Sungai Tallo menunjukkan kadar kromium tertinggi di Titik III sebesar 11,4525 ppm, yang melampaui batas KEPMEN Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 yaitu 0,005 ppm. Kadar kromium (Cr) terendah terdeteksi di Titik I, II, dan IV sebesar 0,01 ppm, yang masih dalam kisaran batas. Untuk kadmium, kadar tertinggi ada di Titik II sebesar 0,7926 ppm, sedangkan terendah di Titik III sebesar 0,7671 ppm. Semua titik pengambilan sampel menunjukkan kadar Kadmium (Cd) yang melebihi batas KEPMEN Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004, yaitu sebesar 0,001 ppm.

Fatmayani *et al.*, (2022) mengemukakan bahwa paparan logam berat kromium (Cr) di kerang yang hidup di Perairan Selat Makassar dan Lantebung Bira tercatat dalam kisaran 0,70 hingga 1,08 mg/kg. Rata-rata konsumsi kerang oleh masyarakat Kelurahan Bira, Kota Makassar

mencapai 66,1867 gram per hari, dengan rentang antara minimum 3,89 gram hingga maksimum 186,88 gram per hari. Dari 80 responden yang ditemui, sebanyak 7 orang (8,7%) menunjukkan nilai *Risk Quotient* (RQ) untuk logam Pb dan Cr ≤ 1 , yang berarti risiko kesehatan relatif rendah. Namun, 73 orang (91,3%) memiliki nilai RQ > 1 , menandakan potensi paparan berisiko tinggi terhadap kesehatan akibat konsumsi kerang yang terkontaminasi logam berat.

Perairan Bira di Kota Makassar merupakan wilayah dengan aktivitas perikanan, pelabuhan, dan domestik yang berpotensi mencemari lingkungan laut. Data dari Puskesmas Bira menunjukkan bahwa penyakit kulit, termasuk dermatitis kontak, menjadi keluhan umum yang dapat dikaitkan dengan konsumsi makanan laut tercemar logam berat, sehingga menegaskan perlunya pendekatan berbasis risiko untuk menilai dampak konsumsi kerang terhadap kesehatan masyarakat. Di sisi lain, Kelurahan Bira sebagai kawasan pesisir di Pantai Barat Kota Makassar memiliki ekosistem mangrove yang berperan penting dalam menopang rantai makanan dan keberlanjutan biota akuatik melalui ketersediaan nutrisi serta fungsi habitat sebagai area pemijahan, pembesaran, dan perlindungan bagi ikan dan kerang (Zikrina *et al.* 2025).

Perairan disekitar Wisata Mangrove adalah wisata hutan mangrove Lantebung di pesisir utara Kota Makassar, yang mengembangkan ekowisata dengan menawarkan keindahan hutan mangrove dan sumber daya alam seperti kerang bakalang (Marchia

Hiantina. L) yang menjadi aset ekonomi berbasis ekowisata bagi masyarakat setempat. Namun, paparan logam berat melalui konsumsi kerang yang terkontaminasi memperbesar risiko kesehatan, terutama bagi komunitas nelayan yang mengandalkan hasil laut sebagai sumber pangan utama, sehingga pemantauan kadar dan risiko karsinogenik logam berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) di perairan sangat penting untuk melindungi kesehatan masyarakat (Astuti *et al.*, 2022).

Berdasarkan hasil observasi awal, data penyakit dengan prevalensi tertinggi di Puskesmas Bira, Kota Makassar meliputi, Nasofaringitis Akut, Hipertensi, Dispepsia, Diabetes Melitus, ISPA, *Paint In Joint*, *Fever Unspecified*, Myalgia, Diare, serta Dermatitis. Di antara kelompok penyakit tersebut, diare dan gangguan kulit seperti dermatitis kontak secara khusus dikaitkan dengan dampak paparan logam berat, yaitu kromium (Cr) dan kadmium (Cd), yang dapat terjadi melalui ingestasi makanan yang terkontaminasi.

Rata-rata Masyarakat di Kelurahan Bira bermata pencaharian Nelayan yang dimana mereka juga mengonsumsi hasil tangkapannya salah satunya Kerang Bakalang. Sehingga tingkat konsumsi nelayan akan kerang Bakalang termasuk tinggi.

Berdasarkan hal tersebut maka peneliti tertarik melakukan penelitian mengenai Estimasi Risiko Karsinogenik Kadmium (Cd) Dan Kromium (Cr) Pada Kerang Bakalang (*Marcia Hiantina. L*) Terhadap Masyarakat Nelayan Di Lantebung Bira Kota Makassar.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, dapat dirumuskan permasalahan dalam pertanyaan sebagai berikut:

1. Berapa besar konsentrasi logam berat Kadmium (Cd) yang terakumulasi dalam jaringan kerang bakalang (*Marcia Hiantina. L*) di Lantebung Bira Kota Makassar?
2. Berapa besar konsentrasi logam berat Kromium (Cr) yang terakumulasi dalam jaringan kerang bakalang (*Marcia Hiantina. L*) di Lantebung Bira Kota Makassar?
3. Bagaimana tingkat paparan harian (I) masyarakat nelayan terhadap logam berat Kadmium (Cd) melalui konsumsi kerang bakalang (*Marcia Hiantina. L*) di Lantebung Bira Kota Makassar?
4. Bagaimana tingkat paparan harian (I) masyarakat nelayan terhadap logam berat Kromium (Cr) melalui konsumsi kerang bakalang (*Marcia Hiantina. L*) di Lantebung Bira Kota Makassar?
5. Bagaimana *excess cancer risk* (ECR) karsinogenik logam berat Kadmium (Cd) pada Kerang Bakalang (*Marcia Hiantina. L*) yang di konsumsi oleh masyarakat nelayan di Lantebung Bira Kota Makassar?
6. Bagaimana *excess cancer risk* (ECR) karsinogenik logam berat Kromium (Cr) pada Kerang Bakalang (*Marcia Hiantina. L*) yang di konsumsi oleh masyarakat nelayan di Lantebung Bira Kota Makassar?

C. Tujuan Penelitian

1. Tujuan Umum

Untuk mengetahui estimasi risiko karsinogenik logam berat kadmium (Cd) dan kromium (Cr) pada kerang bakalang (*Marcia Hiantina. L*) terhadap masyarakat nelayan di Lantebung Bira Kota Makassar.

2. Tujuan Khusus

- a. Untuk mengetahui besarnya konsentrasi logam berat Kadmium (Cd) yang terakumulasi dalam jaringan kerang bakalang (*Marcia Hiantina. L*) di Lantebung Bira Kota Makassar.
- b. Untuk mengetahui besarnya konsentrasi logam berat Kromium (Cr) yang terakumulasi dalam jaringan kerang bakalang (*Marcia Hiantina. L*) di Lantebung Bira Kota Makassar.
- c. Untuk mengetahui tingkat paparan harian (*I*) masyarakat nelayan terhadap logam berat Kadmium (Cd) melalui konsumsi kerang bakalang (*Marcia Hiantina. L*) di Lantebung Bira Kota Makassar.
- d. Untuk mengetahui tingkat paparan harian (*I*) masyarakat nelayan terhadap logam berat Kromium (Cr) melalui konsumsi kerang bakalang (*Marcia Hiantina. L*) di Lantebung Bira Kota Makassar.
- e. Untuk mengetahui *excess cancer risk* (ECR) karsinogenik logam berat Kadmium (Cd) pada Kerang Bakalang (*Marcia Hiantina. L*) yang di konsumsi oleh masyarakat nelayan di Lantebung Bira Kota Makassar.

- f. Untuk mengetahui *excess cancer risk* (ECR) karsinogenik logam berat Kromium (Cr) pada Kerang Bakalang (*Marcia Hiantina. L*) yang di konsumsi oleh masyarakat nelayan di Lantebung Bira Kota Makassar.

D. Manfaat Penelitian

1. Manfaat bagi Peneliti

Penelitian ini bermanfaat untuk menambah wawasan dan pengalaman peneliti dalam menganalisis risiko kesehatan lingkungan akibat paparan logam berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr).

2. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi ilmiah terhadap pengembangan program pengendalian terhadap pencemaran Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr).

3. Manfaat Praktis

Hasil penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan bagi instansi terkait dalam pengawasan kualitas lingkungan perairan serta meningkatkan kesadaran masyarakat nelayan terhadap risiko kesehatan akibat konsumsi hasil laut yang terkontaminasi logam berat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum tentang Logam berat

1. Pengertian Logam Berat

Logam berat merupakan salah satu pencemar lingkungan yang tersebar luas dan dapat ditemukan pada berbagai media, seperti air, tanah, dan udara. Sifat logam berat yang mampu terakumulasi dalam sistem biologis menjadikannya berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan serta memengaruhi keberlangsungan hidup organisme, termasuk pada tingkat ekosistem yang lebih kompleks. Melalui proses biomagnifikasi dalam rantai makanan, konsentrasi logam berat dapat meningkat secara bertahap hingga mencapai organisme tingkat trofik lebih tinggi, termasuk manusia, sehingga memunculkan risiko kesehatan jangka panjang. Pergerakan dan perubahan bentuk logam berat di lingkungan berlangsung melalui media utama seperti air, sedimen, dan organisme benthik, misalnya *zoobentos*, yang berperan sebagai penyimpan sekaligus perantara perpindahan logam dalam ekosistem (Polapa *et al.*, 2022).

Pencemaran logam berat merupakan permasalahan lingkungan yang sebagian besar dipicu oleh aktivitas manusia dan cenderung sulit untuk dihindari. Logam berat didefinisikan sebagai unsur logam yang memiliki massa jenis relatif tinggi, umumnya melebihi 4 g/cm³. Dalam jumlah tertentu, beberapa logam berperan penting dalam proses metabolisme tubuh, namun paparan yang

berlebihan dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang serius. Logam berat dapat memasuki sistem perairan melalui proses alami maupun akibat kegiatan industri dan pertanian, sehingga pengendalian terhadap sumber pencemar menjadi aspek krusial dalam upaya menjaga keseimbangan ekosistem serta melindungi kesehatan manusia (Tony *et al.*, 2021).

2. Pencemaran Logam Berat di Perairan

Keberadaan logam berat di perairan merupakan salah satu ancaman utama terhadap kelangsungan hidup makhluk hidup, termasuk organisme akuatik, tumbuhan, dan manusia yang memanfaatkan sumber daya perairan tersebut. Logam berat dapat berasal dari proses alami, seperti pelapukan batuan dan aktivitas vulkanik, maupun dari aktivitas antropogenik, antara lain pembuangan limbah domestik dan industri. Sifat logam berat yang persisten menyebabkan unsur ini sulit terdegradasi sehingga mampu bertahan dalam jangka waktu lama di lingkungan perairan. Selain itu, logam berat memiliki kecenderungan mengalami bioakumulasi dalam ekosistem, yang pada akhirnya dapat menimbulkan dampak negatif terhadap organisme hidup (Amanda *et al.*, 2021).

Logam berat yang masuk ke lingkungan perairan umumnya mengalami proses pengendapan dan selanjutnya diserap oleh organisme akuatik. Unsur tersebut memiliki afinitas tinggi terhadap bahan organik sehingga mudah mengendap dan terakumulasi pada

sedimen dasar perairan. Oleh karena itu, konsentrasi logam berat pada sedimen sering kali lebih tinggi dibandingkan dengan kolom air. Dalam jangka panjang, sedimen yang telah terkontaminasi menjadi sumber paparan bagi biota bentik, seperti udang, kerang, dan kepiting. Kondisi ini meningkatkan risiko terjadinya kontaminasi logam berat pada organisme yang hidup serta memperoleh makanan di dasar perairan (Satriani, 2022).

Telah dijelaskan dalam Al-Quran mengenai adanya pencemaran yang terjadi di alam tertulis dalam Qs. Al-Baqarah : 11.

وَإِذَا قِيلَ لَهُمْ لَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ قَالُوا إِنَّمَا نَحْنُ مُصْلِحُونَ ﴿١١﴾

Terjemahan: “Dan apabila dikatakan kepada mereka, Janganlah berbuat kerusakan di bumi! Mereka menjawab, Sesungguhnya kami justru orang-orang yang melakukan perbaikan.” (Qs. Al-Baqarah : 11).

Makna ayat tersebut menegaskan bahwa terdapat golongan manusia yang ketika diperingatkan agar tidak melakukan kerusakan di bumi justru mengklaim dirinya sebagai pihak yang melakukan perbaikan, padahal pada kenyataannya tindakan mereka menjadi penyebab terjadinya kerusakan (fasad) yang nyata. Sikap demikian mencerminkan bentuk kezaliman yang terselubung, yaitu ketika perbuatan yang menyimpang disamarkan dengan niat yang tampak baik, namun secara substantif merusak tatanan alam dan kehidupan.

Konteks ini sangat relevan dengan kondisi modern, khususnya praktik pembuangan limbah domestik, pertanian, dan

industri yang mengandung bahan pencemar serta logam berat toksik ke lingkungan perairan. Pembuangan limbah secara tidak terkendali tidak hanya menurunkan kualitas air, tetapi juga mengancam kelangsungan hidup biota perairan, tumbuhan air, serta kesehatan manusia yang bergantung pada sumber daya tersebut. Oleh karena itu, ajaran Al-Qur'an menjadi pengingat penting bahwa manusia sebagai khalifah di bumi memiliki tanggung jawab moral dan amanah untuk menjaga keseimbangan lingkungan serta mencegah segala bentuk kerusakan demi keberlanjutan ciptaan Allah SWT (Rino *et al.*, 2022).

3. Sumber Pencemaran Logam Berat

Sumber utama keberadaan logam berat di perairan umumnya berasal dari aktivitas manusia, termasuk pembuangan limbah domestik, limbah industri, serta berbagai kegiatan antropogenik lainnya. Logam berat memiliki karakteristik persisten karena sulit terdegradasi, sehingga cenderung bertahan dan terakumulasi di lingkungan perairan. Proses akumulasi ini dapat meningkatkan konsentrasi logam berat pada sedimen maupun organisme akuatik. Dalam jangka panjang, kondisi tersebut berpotensi menurunkan kualitas ekosistem perairan serta menimbulkan risiko bagi kesehatan manusia dan biota air (Hardianti *et al.*, 2022).

Logam berat berasal dari dua sumber utama, yakni sumber alami seperti batuan yang mengandung mineral dengan kadar logam

tinggi, serta sumber antropogenik yang berasal dari berbagai jenis limbah industri. Keberadaan logam berat di dalam tanah berpotensi memicu perubahan terhadap karakteristik kimia dan biologis lingkungan. Secara umum, logam berat memiliki massa jenis lebih dari 5 g/cm^3 , berada pada bagian kanan bawah tabel periodik, memiliki kecenderungan kuat berikatan dengan sulfur, serta umumnya memiliki nomor atom antara 22 hingga 92. Beberapa logam seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) dikenal sebagai polutan berbahaya yang dapat menimbulkan dampak serius terhadap lingkungan dan kesehatan manusia (Oktavian *et al.*, 2024).

4. Dampak Pencemaran Logam Berat

Tingkat kesadaran masyarakat terhadap potensi pencemaran logam berat di lingkungan masih relatif rendah. Keterbatasan pengetahuan tersebut menyebabkan masyarakat kerap tidak memahami risiko kesehatan yang dapat muncul akibat paparan logam berat. Penumpukan logam berat dalam tubuh manusia dapat memicu berbagai gangguan kesehatan yang serius, seperti kerusakan fungsi ginjal, gangguan pada sistem saraf, serta hambatan pertumbuhan pada anak. Selain itu, paparan yang berlangsung dalam jangka panjang berpotensi meningkatkan risiko terjadinya penyakit kronis yang membahayakan kesehatan manusia (Rustiah *et al.*, 2025).

Kurangnya kepedulian manusia terhadap lingkungan berkontribusi terhadap terjadinya kerusakan pada berbagai

ekosistem, khususnya ekosistem perairan seperti sungai, danau, dan laut. Kondisi tersebut berdampak signifikan terhadap keanekaragaman hayati serta mengancam ketersediaan sumber daya alam yang esensial bagi keberlangsungan hidup. Kerusakan lingkungan tidak hanya mengganggu keseimbangan ekosistem, tetapi juga dapat memicu munculnya berbagai penyakit akibat kualitas lingkungan yang tercemar, sehingga berimplikasi negatif terhadap kesehatan manusia. Oleh sebab itu, diperlukan perhatian dan upaya yang serius untuk menjaga kelestarian lingkungan serta mencegah dampak merugikan yang lebih luas (Farhan *et al.*, 2023).

B. Tinjauan Umum tentang Kadmium (Cd)

1. Pengertian Kadmium (Cd)



Gambar 2.1 Logam Kadmium (Cd)
(Sumber: Yani, 2023)

Logam Kadmium (Cd) merupakan salah satu jenis logam berat yang bersifat toksik bagi organisme akuatik maupun manusia, bahkan dalam konsentrasi rendah. Kadmium yang masuk ke

lingkungan perairan cenderung mengalami proses pengendapan dan terakumulasi pada sedimen. Selain itu, unsur ini juga dapat diserap dan terakumulasi dalam tubuh organisme perairan melalui proses bioakumulasi. Kadmium termasuk logam berat yang kerap mencemari perairan laut dan memiliki tingkat toksisitas tinggi, sehingga berpotensi menimbulkan risiko kesehatan serius apabila terakumulasi dalam tubuh manusia, terutama yang berkaitan dengan sistem peredaran darah (Harahap *et al.*, 2022).

Paparan logam kadmium diketahui memberikan dampak merugikan terhadap kesehatan manusia. Dalam jangka pendek, inhalasi kadmium selama 4-10 jam dapat menimbulkan gangguan pernapasan seperti sesak napas, batuk, nyeri dada, edema paru, serta infeksi saluran pernapasan termasuk bronkopneumonia. Setelah memasuki tubuh melalui inhalasi maupun konsumsi, kadmium akan didistribusikan melalui aliran darah, dengan sekitar 90% berikatan pada eritrosit dan leukosit, sedangkan sekitar 10% berada dalam plasma darah. Efek akut yang dapat muncul dalam waktu 15-30 menit setelah kadmium tertelan antara lain muntah, hipersalivasi, tersedak, nyeri abdomen, tenesmus, diare, sakit kepala, gangguan ginjal, serta gangguan kardiopulmoner. Selain itu, paparan kronis kadmium berpotensi menyebabkan kerusakan ginjal, gangguan sistem rangka, penyakit kardiovaskular, dan peningkatan risiko terjadinya kanker (Nurwahdania *et al.*, 2024).

2. Karakteristik Kadmium (Cd)

Logam berat kadmium (Cd) merupakan unsur yang secara fisik menyerupai aluminium dengan warna putih keperakan dan termasuk dalam golongan IIB. Kadmium umumnya memiliki bilangan oksidasi +2, dengan ion yang tidak berwarna dalam larutan serta senyawa padat yang relatif tidak mencolok secara visual. Unsur ini memiliki massa atom 112,4, nomor atom 48, dan kerapatan sekitar 8,64 g/cm³, dengan titik leleh 320,9 °C serta titik didih 767 °C.

Dalam lingkungan perairan, keberadaan kadmium dapat meningkat akibat pembuangan limbah dari berbagai aktivitas industri, seperti proses elektroplating emas dan perak, produksi pigmen pada industri tekstil, plastik, dan kimia, serta kegiatan industri logam non-ferrous yang menghasilkan residu berupa abu, uap, air limbah, dan sedimen yang mengandung kadmium (Mahluddin *et al.*, 2022)

Kadmium (Cd) merupakan logam beracun modern yang pertama kali diidentifikasi pada tahun 1817, dan baru mulai digunakan secara luas dalam industri sekitar enam dekade terakhir. Saat ini, kadmium banyak dimanfaatkan dalam berbagai sektor industri, terutama untuk proses *electroplating* atau pelapisan logam karena sifatnya yang tahan terhadap korosi. Namun, aktivitas antropogenik yang menghasilkan kadmium bersifat toksik, sehingga keberadaannya di perairan menimbulkan kekhawatiran serius, sebab

konsentrasi yang melebihi ambang batas dapat menyebabkan kematian pada biota akuatik (Tasabaramo *et al.*, 2022).

3. Sumber Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) merupakan salah satu logam beracun yang pertama kali diidentifikasi pada tahun 1817 dan mulai dimanfaatkan secara luas dalam kegiatan industri dalam beberapa dekade terakhir. Logam ini banyak digunakan terutama pada proses electroplating atau pelapisan logam karena memiliki ketahanan yang tinggi terhadap korosi. Namun demikian, berbagai aktivitas antropogenik yang menghasilkan kadmium bersifat toksik sehingga keberadaannya di lingkungan perairan menjadi perhatian serius, mengingat konsentrasi yang melampaui ambang batas dapat menimbulkan dampak fatal bagi organisme akuatik (Saputra, 2022).

Kadmium yang ditemukan di perairan sungai maupun laut umumnya berasal dari pencemaran limbah domestik dan limbah industri. Kondisi ini semakin diperburuk oleh berbagai kegiatan industri, seperti industri tekstil, produksi baterai, cat, dan plastik, yang menghasilkan limbah mengandung kadmium (Cd) dalam jumlah signifikan. Sebagai logam non-esensial, kadmium memiliki tingkat toksisitas tinggi dan berpotensi menimbulkan kerusakan lingkungan. Paparan kadmium dapat terjadi melalui media air, sedimen, maupun bahan pangan yang telah terkontaminasi. Apabila masuk ke dalam tubuh manusia, kadmium dapat terakumulasi pada jaringan biologis

dan meningkatkan risiko gangguan kesehatan dalam jangka panjang (Yunita, 2023).

4. Dampak Kadmium Terhadap Kesehatan

Secara fisiologis, tubuh manusia tidak memerlukan kadmium. Bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah, logam ini dapat menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan. Tubuh manusia juga tidak memiliki mekanisme perlindungan yang efektif untuk mencegah penyerapan kadmium, sehingga unsur tersebut mudah masuk dan terakumulasi saat terjadi paparan. Di dalam tubuh, kadmium umumnya menumpuk pada organ hati dan berikatan dengan metalotionein, yaitu protein yang kaya sistein, di mana kadmium berinteraksi dengan gugus sulfhidril (-SH) pada enzim. Interaksi ini menjadi salah satu penyebab utama efek toksik kadmium karena dapat mengganggu aktivitas dan fungsi enzim dalam tubuh (Legiarsi *et al.*, 2022).

Secara fisiologis, tubuh manusia tidak memerlukan kadmium. Bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah, logam ini dapat menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan. Tubuh manusia juga tidak memiliki mekanisme perlindungan yang efektif untuk mencegah penyerapan kadmium, sehingga unsur tersebut mudah masuk dan terakumulasi saat terjadi paparan. Di dalam tubuh, kadmium umumnya menumpuk pada organ hati dan berikatan dengan metalotionein, yaitu protein yang kaya sistein, di mana kadmium

berinteraksi dengan gugus sulfhidril (-SH) pada enzim. Interaksi ini menjadi salah satu penyebab utama efek toksik kadmium karena dapat mengganggu aktivitas dan fungsi enzim dalam tubuh (Mariadi *et al.*, 2022).

C. Tinjauan Umum tentang Kromium (Cr)

1. Pengertian Kromium (Cr)



Gambar 2.2: Logam Kromium (Cr)
(Sumber: Haryani, 2023)

Kromium (Cr) merupakan salah satu logam berat yang banyak dijumpai di lingkungan serta dimanfaatkan secara luas dalam berbagai aktivitas industri. Unsur ini bersifat toksik dan dapat menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan manusia apabila masuk ke dalam tubuh melalui udara, air, maupun pangan yang terkontaminasi (Akhtar *et al.*, 2025). Akumulasi kromium dalam tubuh berpotensi menyebabkan kerusakan organ vital seperti hati dan ginjal, serta memicu gangguan pada sistem pernapasan dan sistem imun. Pembuangan limbah industri tanpa proses pengolahan yang memadai

menjadi faktor utama meningkatnya kadar kromium di lingkungan, sehingga pengendalian dan pemantauan konsentrasinya sangat diperlukan (Yanan et al., 2025).

Selain itu, kromium banyak digunakan dalam proses industri karena memiliki ketahanan tinggi terhadap korosi dan stabilitas kimia yang baik. Namun, pemanfaatan yang luas tersebut berkontribusi terhadap terjadinya pencemaran lingkungan, khususnya pada ekosistem perairan. Logam ini cenderung terakumulasi pada sedimen dan organisme akuatik, sehingga dapat meningkatkan kadar kromium di lingkungan serta menimbulkan efek toksik bagi biota dan risiko kesehatan bagi manusia melalui rantai makanan. Oleh karena itu, pemantauan kadar kromium di lingkungan menjadi langkah penting untuk menjaga kualitas ekosistem perairan sekaligus melindungi kesehatan masyarakat (Sergeev et al., 2023).

2. Karakteristik Kromium (Cr)

Kromium (Cr) merupakan logam berat yang bersifat toksik dan dapat menimbulkan risiko kesehatan bagi organisme apabila terakumulasi dalam tubuh pada konsentrasi tinggi. Secara alami, keberadaan kromium di lingkungan perairan relatif rendah, dengan kisaran konsentrasi sekitar 0,0005–0,002 mg/L. Meskipun kandungan kromium di kerak bumi diperkirakan mencapai sekitar 100 mg/kg, keberadaannya di perairan alami cenderung terbatas. Peningkatan kadar kromium di lingkungan perairan umumnya dipengaruhi oleh

aktivitas antropogenik, seperti kegiatan industri, limbah domestik, serta proses pembakaran yang tidak terkendali (Maryudi *et al.*, 2021).

Menurut Amir, (2022) mengemukakan bahwa adapun sifat fisika dan kimia kromium, yaitu:

- a. Tahan terhadap korosi dan panas,
- b. Titik didih 2672° C
- c. Titik lebur 1837-1877° C,
- d. Berat jenis 7,20 mg/l pada 28 ° C,
- e. Energi ionisasi 652 kg/mol.
- f. Kromium tidak larut dalam asam sulfat encer dan asam klorida,
- g. Kromium tidak dapat bercampur dengan basa oksidator, halogen peroksida dan logam logam lain

3. Sumber Kromium (Cr)

Batas maksimum konsentrasi kromium dalam air minum menurut *United States Environmental Protection Agency* (US EPA) adalah 0,1 ppm berdasarkan standar *Maximum Contaminant Level* (MCL). Di Indonesia, Kepmen LH No. 03/MENKLH/11/1991 menetapkan kadar maksimum kromium total dalam perairan sebesar 0,1 ppm, sedangkan untuk kromium heksavalen (Cr VI) dibatasi hingga 0,05 ppm. Dalam aspek konsumsi harian, kisaran *Estimated Safe and Adequate Daily Dietary Intake* (ESADDI) untuk kromium adalah sekitar 50-200 mikrogram per hari. Walaupun kromium dibutuhkan dalam jumlah kecil untuk mendukung proses metabolisme,

paparan pada kadar tinggi dapat menimbulkan efek toksik, karsinogenik, dan teratogenik. Terutama dalam bentuk Cr (VI), kromium berpotensi memicu stres oksidatif yang dapat merusak struktur sel dan mengganggu fungsi biologisnya (Suparman & Endah, 2023).

Kromium dapat masuk ke lingkungan melalui proses alami maupun aktivitas manusia. Sumber alami meliputi aktivitas vulkanik, pelapukan batuan, tanah, dan sedimen, sedangkan sumber antropogenik berasal dari pembakaran bahan bakar fosil serta berbagai kegiatan industri, seperti produksi pewarna dan cat berbasis kromat, industri plastik, kertas, pulp, karet, pelapisan logam, dan penyamakan kulit. Berbagai sektor tersebut menghasilkan limbah cair yang mengandung kromium, khususnya dalam bentuk Cr (VI) yang paling toksik dan berpotensi mencemari perairan. Senyawa ini memiliki tingkat toksisitas tinggi yang dapat menyebabkan keracunan akut maupun kronis serta mengganggu fungsi organ dalam sistem metabolisme manusia. Selain itu, Cr (VI) dapat menghambat aktivitas enzim benzopiren hidroksilase, memicu gangguan pertumbuhan sel, dan meningkatkan risiko proliferasi sel yang tidak terkontrol, sehingga dikategorikan sebagai logam berbahaya yang memerlukan pengelolaan lingkungan secara ketat (Allo, 2024).

3. Dampak Kromium Terhadap Kesehatan

Logam berat kromium dapat menimbulkan gangguan kesehatan pada tubuh manusia melalui efek karsinogenik, mutagenik, serta teratogenik yang berbahaya. Di samping itu, zat ini juga berpotensi memicu penyakit karsinogenik, seperti kerusakan pada hati, saluran pernapasan, dan ginjal. Kromium memiliki kemampuan untuk terakumulasi dalam tubuh makhluk hidup, sehingga dapat memasuki rantai makanan dan menyebar secara luas. Setelah memasuki sistem biologis, kromium sulit untuk diekskresikan, yang menyebabkan konsentrasinya terus meningkat dalam jaringan makhluk hidup. Akibatnya, paparan jangka panjang terhadap kromium dapat memperburuk risiko kesehatan secara kumulatif bagi ekosistem dan manusia (Ganish, 2023).

Kromium yang terlepas kelingkungan dapat menimbulkan dampak merugikan terhadap kesehatan biota perairan, termasuk ikan dan kerang. Logam ini memiliki sifat karsinogenik dan tidak dapat terurai secara hayati (*non-biodegradable*), sehingga sulit mengalami degradasi di lingkungan. Akibatnya, kromium dapat terakumulasi dalam jumlah tinggi dan mencemari organisme akuatik di sekitarnya melalui proses bioakumulasi. Paparan kromium pada manusia dapat memicu berbagai gangguan kesehatan seperti muntah, diare, serta kerusakan pada sistem pencernaan. Dalam kasus yang lebih parah,

toksisitas kromium dapat menyebabkan nekrosis atau kerusakan jaringan pada hati dan ginjal (Putri *et al.*, 2022).

Efek kromium dalam tubuh manusia sangat dipengaruhi oleh tingkat oksidasinya. Bentuk kromium (III) merupakan mineral esensial yang penting bagi keseimbangan nutrisi, bersifat tidak beracun, dan cenderung diserap secara terbatas oleh tubuh. Makanan seperti kerang, brokoli, gandum utuh, bawang putih, kemangi, dan kentang diketahui kaya akan kromium, sehingga direkomendasikan untuk memenuhi kebutuhan harian. Salah satu bentuk suplemen kromium yang paling umum adalah kromium (III) pikolinat. Kromium trivalen dapat meningkatkan efek insulin dengan berperan sebagai pengikat pada reseptor sel, sehingga membantu menurunkan risiko diabetes tipe 2. Berdasarkan asumsi penyerapan sekitar 25%, kebutuhan kromium (III) yang benar-benar dapat diserap oleh tubuh diperkirakan antara 0,5 hingga 2 μg per hari, yang dapat dipenuhi melalui asupan harian sekitar 2–8 mikrogram kromium (III). Namun, konsumsi berlebihan kromium trivalen melebihi ambang rekomendasi dapat menimbulkan efek toksik jangka panjang dan potensi karsinogenik (Tumolo *et al.*, 2020).

D. Tinjauan Umum tentang Estimasi Risiko Kesehatan

1. Pengertian Estimasi Risiko Kesehatan

Risiko dapat didefinisikan sebagai bahaya atau konsekuensi yang mungkin timbul dari proses yang sedang berjalan atau peristiwa

yang akan terjadi di masa depan. Bahaya atau *hazard*, mencakup senyawa biologis, kimia, maupun fisik yang memiliki potensi untuk menimbulkan gangguan kesehatan. Sementara itu, risiko, atau risk, didefinisikan sebagai fungsi dari probabilitas terjadinya gangguan kesehatan serta tingkat keparahannya yang disebabkan oleh suatu bahaya. Dengan demikian, pemahaman risiko melibatkan evaluasi terhadap kemungkinan dan dampak bahaya tersebut terhadap kesehatan manusia. Pendekatan ini penting dalam konteks analisis risiko untuk mencegah atau memitigasi potensi gangguan kesehatan (Amin *et al.*, 2024).

Analisis risiko merupakan suatu proses sistematis yang bertujuan untuk menggambarkan tingkat risiko terhadap organisme, sistem, atau subpopulasi tertentu dengan mempertimbangkan karakteristik agen penyebab dan target yang terpapar. Proses ini juga mencakup upaya pengendalian terhadap kondisi ketika suatu organisme, sistem, atau populasi berpotensi mengalami atau menimbulkan bahaya. Secara umum, analisis risiko terdiri atas tiga komponen utama, yaitu penilaian risiko, pengelolaan risiko (manajemen risiko), dan komunikasi risiko. Dalam konteks kesehatan lingkungan, analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) berfokus pada estimasi dampak risiko terhadap kesehatan manusia melalui tahapan identifikasi bahaya, penilaian paparan, serta karakterisasi risiko (Firdaus, 2024).

2. Estimasi Risiko Karsiogenik dan *Non*-Karsinogenik

Estimasi risiko merupakan pendekatan yang digunakan untuk memperkirakan tingkat ancaman terhadap kesehatan masyarakat akibat paparan terhadap faktor berisiko lingkungan atau faktor kesehatan tertentu. Tujuan utamanya adalah untuk memitigasi potensi dampak negatif terhadap kesehatan dengan menilai sejauh mana risiko tersebut dapat terjadi. Dalam konteks kesehatan, proses ini membantu pihak terkait seperti pejabat kesehatan atau praktisi lingkungan untuk mengelola dan meramalkan besarnya ancaman kesehatan menggunakan indikator dan ukuran risiko yang ilmiah, seperti tingkat paparan, keparahan efek, dan kerentanan populasi (Bakhtiar, 2022).

Tahap akhir dalam proses Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) adalah karakterisasi risiko, yaitu tahap yang bertujuan menentukan besarnya tingkat risiko suatu agen berdasarkan konsentrasi yang telah dianalisis. Pada tahap ini dilakukan penilaian apakah agen risiko berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan pada masyarakat dengan mempertimbangkan karakteristik individu, seperti berat badan, laju inhalasi atau konsumsi, serta durasi, frekuensi, dan waktu paparan. Karakterisasi risiko dilakukan dengan membandingkan nilai paparan (*intake*) yang diperoleh dari analisis pajanan terhadap nilai acuan, seperti dosis referensi (*Reference Dose/RfD*) atau konsentrasi referensi (*Reference*

Concentration/RfC) yang bersumber dari literatur ilmiah terpercaya, salah satunya melalui, misalnya melalui situs web www.epa.gov/iris (Hidayati , 2021).

a. Karakteristik risiko pada efek karsinogenik

Tingkatan risiko pada efek karsinogenik dituliskan pada *notasie excess cancer risk* (ECR). Perhitungan karakterisasi risiko efek karsinogenik dilakukan dengan mengalikan intake melalui *Slope Factor* (SF). Berikut ini merupakan rumus ECR:

$$ECR = I \times SF$$

Keterangan:

I : *Intake/Asupan*

ECR : *Excess Cancer Risk*

SF (*slope factor*) : Nilai referensi agen risiko dengan efek karsinogenik. Didapat dari situs www.epa.gov/iris

Tingkat risiko dinyatakan dalam bilangan *exponen* tanpa satuan. Tingkat risiko dikatakan *acceptable* atau aman bilamana $ECR \leq E-4$ (10^{-4}) atau dinyatakan dengan $ECR \leq 1/10.000$. Tingkat risiko dikatakan *unacceptable* atau tidak aman bilamana $ECR > E-4$ (10^{-4}) atau dinyatakan dengan $ECR > 1/10.000$ (Dirjen P2PL Kemenkes, 2012).

b. Karakteristik risiko pada efek non-karsinogenik

Tingkatan risiko dalam efek non karsinogenik dikemukakan kedalam *Risk Quotient* (RQ). Perhitungan karakterisasi risiko bagi

efek non karsinogenik dijalankan melalui cara membagikan atau membandingkan Intake dengan nilai dosis referensi (RfD). Berikut ini merupakan rumus *Risk Quotient* (RQ):

$$RQ = \frac{I}{RfD}$$

Keterangan:

I : *Intake*/Asupan

RQ : Karakteristik Risiko (*Risk Quotient*)

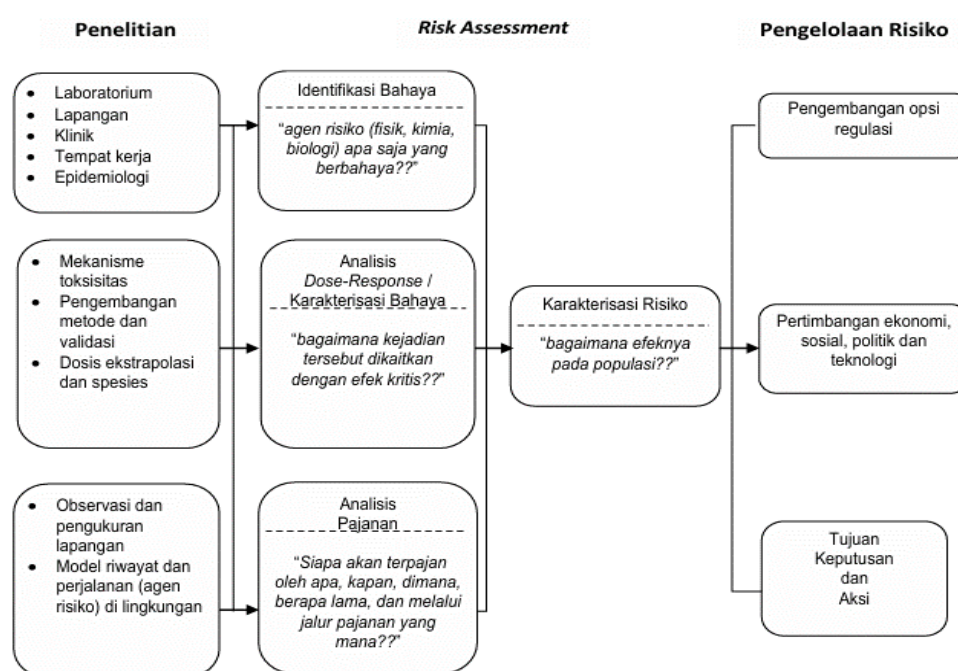
RfD : *Dosis Concentration* atau Dosis Referensi

Tingkatan risiko dituliskan dalam angka atau bilangan desimal tanpa satuan. Tingkatan risiko dinyatakan aman jika nilai intake $\leq$ RfD dipaparkan $RQ \leq 1$. Tingkatan risiko terbilang tidak aman bilamana nilai intake $>$ RfD ataupun RfCnya atau dinyatakan $RQ > 1$ (Dirjen P2PL Kemenkes, 2012).

3. Paradigma Analisis Risiko (*Risk Analysis Paradigma*)

Paradigma analisis risiko terdiri atas tiga komponen utama, yaitu penelitian, penilaian risiko (*risk assessment*), dan pengelolaan risiko. Tujuan penelitian adalah untuk mengamati dampak bahaya atau risiko lingkungan terhadap kesehatan manusia, serta menentukan dosis aman dari suatu agen risiko berdasarkan bukti ilmiah. Penilaian risiko, yang dalam konteks kesehatan lingkungan dikenal sebagai Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), bertujuan untuk mengidentifikasi potensi bahaya terhadap kesehatan manusia, menilai tingkat paparan, serta menentukan besar risiko dan

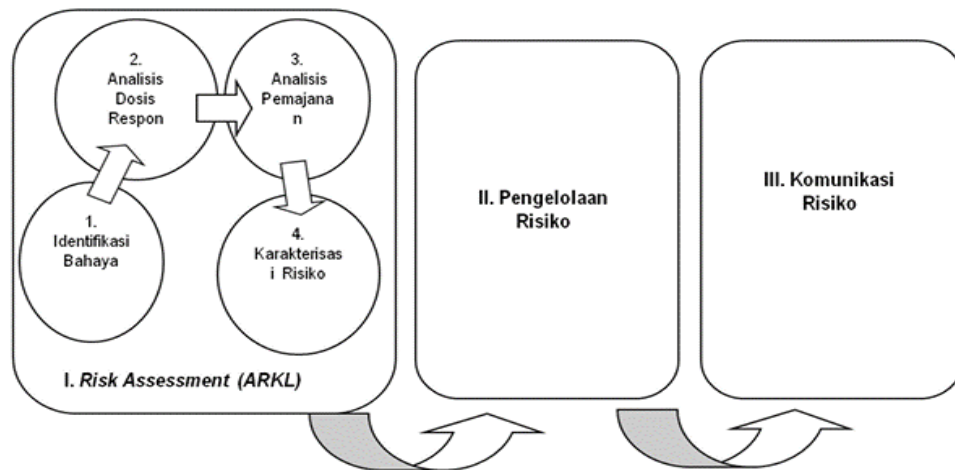
efek yang ditimbulkan. Jika hasil ARKL menunjukkan bahwa suatu agen risiko tidak aman bagi populasi, maka dilanjutkan dengan tahap pengelolaan risiko. Pengelolaan risiko mencakup intervensi dan kebijakan yang diperlukan untuk meminimalkan atau mengendalikan paparan serta melindungi kesehatan masyarakat secara efektif (Nurhanisah, 2022).



Gambar 2.4: Paradigma Analisis Risiko
(Sumber :Dirjen P2PL Kemenkes, 2012)

Gambar tersebut menunjukkan bahwa proses analisis risiko secara menyeluruh diawali dengan penelitian mengenai agen risiko, hubungan dosis, serta respons atau efeknya terhadap kesehatan manusia yang dilakukan oleh peneliti. Sementara itu, penerapan risk assessment atau Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) beserta pengelolaan risikonya menjadi tanggung jawab praktisi kesehatan lingkungan. Secara operasional, pelaksanaan ARKL

diharapkan tidak hanya berfokus pada penilaian risiko suatu agen atau parameter lingkungan terhadap kesehatan masyarakat, tetapi juga mampu merumuskan skenario pengelolaan risiko sebagai langkah tindak lanjut yang efektif.



Gambar 2.5: Bagian Alir ARKL
(Sumber: Dirjen P2PL Kemenkes, 2012)

Gambar tersebut menunjukkan bahwa ARKL merupakan suatu pendekatan yang digunakan untuk menilai risiko kesehatan yang berasal dari faktor lingkungan, dengan keluaran utama berupa karakterisasi risiko yang dinyatakan sebagai tingkat risiko. Hasil karakterisasi ini memberikan gambaran apakah suatu agen risiko atau parameter lingkungan berpotensi menimbulkan dampak terhadap kesehatan masyarakat. Selanjutnya, hasil ARKL menjadi dasar dalam pelaksanaan pengelolaan risiko serta komunikasi risiko kepada masyarakat sebagai langkah tindak lanjut.

a. Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*)

Bahaya merupakan segala sesuatu yang memiliki potensi untuk menimbulkan kerusakan terhadap kesehatan, keselamatan organisme, maupun lingkungan. Dalam konteks kesehatan lingkungan, bahaya dipahami sebagai sumber yang dapat menyebabkan dampak merugikan bagi manusia atau ekosistem. Tahap awal dalam Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) adalah identifikasi bahaya, yang bertujuan untuk menentukan agen risiko yang berpotensi membahayakan tubuh ketika terjadi paparan.

Pada tahap ini, dapat pula disertakan informasi mengenai gejala gangguan kesehatan yang berkaitan dengan agen risiko yang dikaji sebagai pendukung proses identifikasi. Identifikasi bahaya mencakup penelaahan apakah suatu agen bersifat berbahaya, media lingkungan yang menjadi tempat keberadaannya, jumlah dan tingkat konsentrasinya, serta potensi dampak kesehatan yang mungkin ditimbulkan akibat paparan tersebut (Dofendra, 2023).

b. Analisis Dosis-Respon (*Dose-Response Assessment*)

Analisis dosis-respon merupakan salah satu tahapan dalam Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) yang bertujuan menentukan nilai kuantitatif toksisitas suatu agen risiko. Tahap ini digunakan untuk menilai apakah agen tersebut berpotensi

menimbulkan efek kesehatan yang merugikan pada populasi yang terpapar. Melalui analisis ini, hubungan antara besarnya dosis paparan dengan kemungkinan timbulnya dampak negatif dapat dijelaskan secara ilmiah. Hasil penilaian dosis-respon memberikan dasar yang objektif dalam menentukan tingkat bahaya suatu agen terhadap kesehatan manusia (Rasyid et al., 2024).

c. Analisis Pemajanan (*Exposure Assessment*)

Menurut Dirjen P2PL Kemenkes, (2012) mengemukakan bahwa analisis pemajanan merupakan proses untuk menghitung besarnya intake atau asupan agen risiko yang diterima individu. Perhitungan ini dapat menggunakan data primer maupun data sekunder, serta didukung oleh asumsi yang didasarkan pada pertimbangan logis atau nilai baku (*default value*) yang tersedia. Dalam konteks pajanan ingesti karsinogenik, analisis pemajanan dilakukan dengan menggunakan rumus intake untuk memperkirakan jumlah agen risiko yang masuk ke dalam tubuh melalui konsumsi, sebagai dasar dalam penilaian risiko kesehatan. Rumus perhitungan intake untuk pajanan ingesti karsinogenik dinyatakan sebagai berikut:

$$I = \frac{C \times R \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

Keterangan:

I = Asupan (*intake*), mg/kg/hari,

C = Konsentrasi *risk agent*, mg/m^3 (udara), mg/L (air minum),
 mg/kg (pangan/makanan),

R = Laju asupan atau konsumsi, m^3/jam (*inhalasi*), L/hari (air
 minum), g/hari (makanan)

f_E = Frekuensi pajanan

D = Durasi pajanan, tahun (real time atau *default*)

W_b = Berat badan (kg)

t_{avg} = Periode waktu rata-rata (30×365 hari/ tahun untuk *real time*,
 70 tahun $\times 365$ hari/ tahun untuk *life time*)

d. Karakteristik risiko (*Risk Characterization*)

Tahap ini mengintegrasikan seluruh informasi dari tahapan sebelumnya untuk memperkirakan besarnya risiko gangguan kesehatan akibat paparan agen risiko. Karakterisasi risiko dilakukan berdasarkan dua kategori, yaitu risiko non-karsinogenik dan karsinogenik. Risiko non-karsinogenik dinyatakan melalui nilai Risk Quotient (RQ), yaitu angka numerik tanpa satuan, di mana paparan dianggap aman apabila nilai intake $\leq \text{RfD}$ atau $\text{RQ} \leq 1$, dan dinyatakan tidak aman apabila intake $> \text{RfD}$ atau $\text{RQ} > 1$.

Sementara itu, risiko karsinogenik dinyatakan menggunakan *excess cancer risk* (ECR), yang menggambarkan peluang tambahan terjadinya kanker akibat paparan agen risiko sepanjang waktu hidup. Nilai ECR diperoleh dari perkalian intake dengan slope factor (SF). Risiko kanker umumnya dianggap masih dapat diterima

apabila ECR berada pada kisaran $\leq 10^{-4}$, sedangkan nilai yang melebihi batas tersebut menunjukkan adanya potensi risiko kanker yang memerlukan pengelolaan risiko lebih lanjut (Aryo & Hilda , 2024).

E. Tinjauan Umum tentang Kerang Bakalang

1. Pengertian Kerang

Kerang merupakan salah satu biota laut yang banyak dijumpai di perairan Indonesia dan memiliki peran penting sebagai sumber daya hayati yang dimanfaatkan oleh masyarakat. Tingginya tingkat konsumsi kerang menunjukkan bahwa komoditas ini memiliki nilai ekonomis yang signifikan. Selain sebagai sumber pangan, kerang juga berkontribusi terhadap sektor perikanan serta mendukung perekonomian masyarakat pesisir, sehingga keberadaannya memiliki nilai ekonomi yang tinggi (Zulfikar et al., 2022).

Secara taksonomi, kerang termasuk dalam kelas *Bivalvia* dan umumnya hidup di lingkungan laut dengan substrat berupa lumpur atau lumpur berpasir halus. Habitat kerang banyak ditemukan pada zona intertidal yang berbatasan dengan ekosistem mangrove serta dipengaruhi oleh aliran air sungai. Persebarannya berada pada rentang wilayah antara pasang tertinggi hingga pasang terendah, dan sering dijumpai di kawasan teluk yang memiliki hutan bakau melimpah serta perairan payau (Alburhana et al., 2023).

2. Pengertian Kerang Bakalang (*Marcia Hiantina. L*)

Kerang merupakan organisme laut atau air tawar yang termasuk dalam kelas *molusca*, yaitu hewan bertubuh lunak yang dilindungi oleh cangkang keras. Sebagai hewan sedentari (menetap), kerang berperan penting sebagai indikator kualitas air karena mampu menyaring partikel dan zat terlarut dari lingkungan sekitarnya untuk dikonsumsi sebagai makanan. Karena cara kerja ini, kerang dapat menumpuk logam berat seperti timbal dari air yang tercemar. Kandungan logam berbahaya tersebut kemudian bisa masuk ke rantai makanan dan membahayakan manusia, terutama nelayan yang mengonsumsi kerang secara rutin (Asril *et al.*, 2024).

Bivalvia dikenal sebagai organisme penyaring yang hidup menetap dan berperan penting sebagai bioindikator kualitas lingkungan akuatik. Salah satu spesies yang menjadi sumber makanan penting bagi masyarakat Makassar adalah kerang bakalang (*Marcia Hiantina. L*). Kondisi perairan pesisir Makassar yang tercemar akibat aktivitas antropogenik meningkatkan risiko akumulasi bahan pencemar dalam tubuh (*Marcia Hiantina. L*) (Wicaksono *et al.*, 2021).

3. Klasifikasi Kerang Bakalang (*Marcia Hiantina. L*)

Famili Veneridae mencakup keragaman spesies yang cukup tinggi, menunjukkan variasi morfologi dan ekologi yang luas. Beberapa genus dari famili ini, seperti *Marcia*, *Tapes*, *Gafrarium*, dan *Callista*, memiliki nilai ekonomi karena dimanfaatkan sebagai bahan

konsumsi oleh masyarakat pesisir. Pemanfaatan tersebut menjadikan kelompok ini tidak hanya penting secara ekologis, tetapi juga sebagai sumber daya alam pangan yang mendukung mata pencaharian lokal (Handrayani & Agil, 2025).

Spesies dari famili ini umumnya ditemukan di zona mangrove bagian luar yang berbatasan langsung dengan laut, dengan substrat berpasir yang berbeda dari kawasan dalam mangrove yang didominasi oleh lumpur. Kondisi tersebut diduga menjadi faktor utama pembatas distribusi dan kelimpahan *Veneridae* di ekosistem mangrove. Salah satu spesies yang relatif stabil ditemukan sepanjang tahun adalah *Marcia Hiantina. L*, meskipun populasinya tergolong terbatas. Spesies ini merupakan penghuni perairan dangkal dan sering dijumpai di zona intertidal berpasir, menunjukkan adaptasi yang spesifik terhadap lingkungan pesisir dengan sirkulasi air laut yang baik (Hidayah & Ambarwati, 2020).

Menurut Bagas *et al.*, (2023) kerang bakalang (*Marcia Hiantina. L*) diklasifikasikan sebagai berikut:

<i>Phylum</i>	: <i>Mollusca</i>
<i>Class</i>	: <i>Bivalvia</i>
<i>Subclass</i>	: <i>Autobranchia</i>
<i>Order</i>	: <i>Venerida</i>
<i>Superfamily</i>	: <i>Veneroidea</i>
<i>Family</i>	: <i>Veneridae</i>

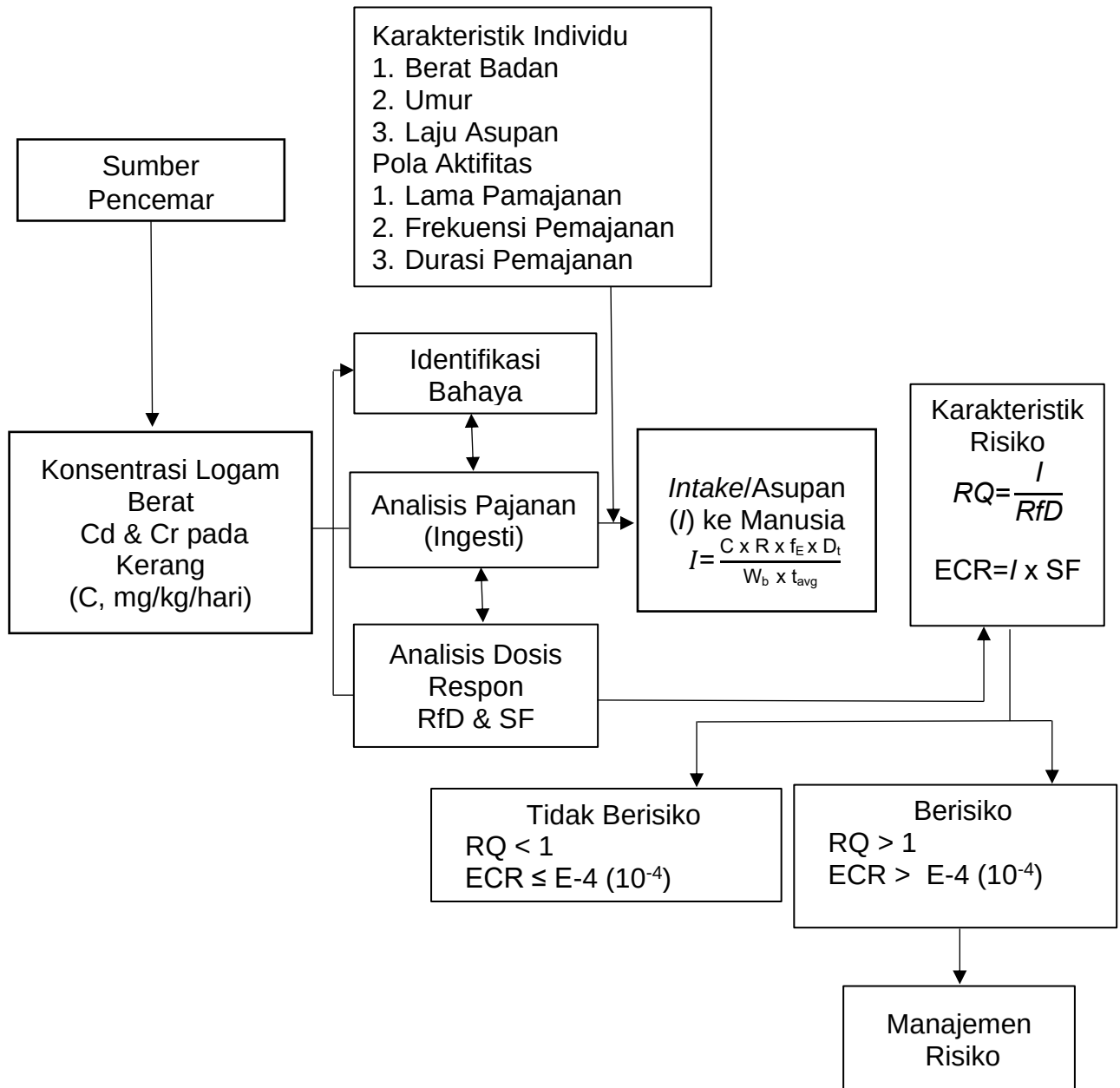
Genus : *Marcia*

Species : *Marcia Hiantina*



Gambar 2.3 Kerang Bakalang (*Marcia Hiantina. L*)
(Sumber: Indrawan *et al.*, 2023)

F. Kerangka Teori



(Sumber: Dirjen P2PL Kemenkes, 2012)

G. Tabel Sintesa

No	Nama Penulis	Tahun	Judul	Jurnal	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
1	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	<i>Window of Public Health Journal</i>	Konsentrasi Cd pada semua sampel kerang melebihi standar KEPMEN LH No. 51/2004 (0,001 ppm), dengan nilai 0,7671-0,7942 ppm; Cr melebihi standar pada titik III (11,4525 ppm vs 0,005 ppm). Semua sampel sedimen Cd dan Cr melebihi batas Australian and New Zealand <i>Environment Council</i> 2013 (0,001 ppm). Nilai BCF Cd >1 (7,67-7,94, akumulasi tinggi) dan Cr <1 (0,02-0,33, akumulasi rendah); MTI > MWI menunjukkan toksisitas pada konsumsi kerang.	Penelitian sebelumnya fokus pada bioakumulasi Cd dan Cr di sedimen serta kerang <i>Anadara</i> sp. di Muara Sungai Tallo, Makassar, sedangkan penelitian yang direncanakan menargetkan estimasi risiko karsinogenik Cd dan Cr pada kerang bakalang (<i>Marcia hiantina. L</i>) terhadap masyarakat nelayan di Lantebung Bira, Kota Makassar.
2	Fatmayani Irma, Abd Gafur, Arman	2022	Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Timbal dan Kromium pada Masyarakat yang	<i>Window of Public Health Journal</i>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat timbal (Pb) dalam kerang berkisar 0,68–1,20 mg/kg dan kromium (Cr) 0,70–1,08 mg/kg. Asupan harian masyarakat: Pb 0,964 mg/kg/hari dan Cr 0,828 mg/kg/hari. Sebanyak 91,3% responden menunjukkan RQ>1, mengindikasikan risiko non-	Penelitian baru fokus pada risiko karsinogenik Cd dan Cr (bukan non-karsinogenik Pb dan Cr), khusus masyarakat nelayan di Lantebung Bira, Kota Makassar (populasi lebih spesifik)

			Mengonsums i Kerang Marcia hiantina di Perairan Selat Makassar		karsinogenik dari konsumsi kerang tercemar.	
3	Lukmanulha kim, R. C., Baedowi, M., & Hidayati, N. V.	2023	Analisis Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) pada Matriks Air di Sungai Pelus Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah	Jurnal Maiyah	Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat kadmium (Cd) dan kromium (Cr) di Sungai Pelus melampaui baku mutu, dengan kadar tertinggi masing-masing 25,59 mg/L dan 11,05 mg/L. Indeks pencemaran rata-rata mencapai 16,119 mg/L, menunjukkan kualitas air sangat tercemar.	Penelitian baru fokus pada estimasi risiko karsinogenik Cd dan Cr pada kerang Marcia hiantina (bukan hanya konsentrasi pada air sungai), khusus terhadap masyarakat nelayan di Lantebung Bira, Makassar (lokasi, matriks biota, dan populasi berbeda)
4	Asril, F. U., Baharuddin, A., & Syam, N.	2024	Faktor Umur Berhubungan Dengan Paparan Timbal Dalam Rambut Pada Nelayan Kerang di	<i>Window of Public Health Journal</i>	Hasil penelitian menunjukan bahwa ada hubungan antara umur dengan konsentrasi timbal dalam rambut nelayan kerang dan tidak ada hubungan antara keluhan kesehatan dengan konsentrasi timbal dalam rambut nelayan kerang. Bagi nelayan kerang yang berumur lebih atau kategori dewasa diharapkan untuk	Penelitian sebelumnya meneliti paparan logam berat timbal (Pb) pada nelayan secara langsung melalui rambut, sedangkan penelitian yang akan dilakukan memfokuskan pada estimasi risiko karsinogenik dari kadmium (Cd) dan kromium (Cr) dalam konsumsi kerang bakalang oleh masyarakat nelayan. Selain itu, lokasi penelitian

			Galesong Utara		istirahat dan tidak bekerja lagi lalu diharapkan nelayan kerang agar lebih banyak mengonsumsi makanan yang mengandung gizi atau vitamin.	berbeda, yaitu Galesong Utara dan Lantebung Bira, Makassar. Pendekatan penelitian baru lebih berfokus pada risiko kesehatan jangka panjang akibat konsumsi makanan laut, bukan paparan langsung lingkungan kerja.
5	Polapa, F. S., Annisa, R. N., Yanuarita, D., & Ali, S. M	2022	<i>Quality Indeks dan Konsentrasi Logam Berat dalam Perairan dan Sedimen di Perairan Kota Makassar</i>	Jurnal Ilmu Lingkungan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa perairan Kota Makassar tergolong “Cemar Ringan” berdasarkan indeks pencemar dan “Cemar Berat” berdasarkan status mutu perairan. Parameter logam berat yang melampaui baku mutu adalah Kromium (Cr = $0,016 \pm 0,005$ mg/L) dan Tembaga (Cu = $0,112 \pm 0,035$ mg/L). Sedangkan logam berat pada sedimen masih berada di bawah ambang batas baku mutu. Sumber utama pencemaran berasal dari aktivitas reklamasi pantai, limbah domestik, dan aktivitas industri di pesisir.	Penelitian berfokus pada estimasi risiko karsinogenik kadmium (Cd) dan kromium (Cr) pada kerang bakalang (<i>Marcia hiantina. L</i>) dan dampaknya terhadap masyarakat nelayan di Lantebung Bira Kota Makassar, sehingga lebih menekankan pada risiko kesehatan manusia dan bioakumulasi logam berat dalam kerang, bukan hanya konsentrasi dan status mutu perairan seperti penelitian terdahulu.
6	Nurwahdani a, Khairuddin, M. Yamin	2024	<i>Analysis of Cadmium (Cd) Levels in Tilapia Fish (Oreochromis</i>	Jurnal Biologi Tropis	Kadar kadmium dalam ikan Mujair berkisar antara 0,0033-0,0057 mg/kg, rata-rata 0,00465 mg/kg, masih di bawah standar BPOM 0,30 mg/kg. Meskipun aman untuk	Fokus penelitian adalah kadar kadmium pada ikan Mujair dari tambak dengan aman konsumsi. Sedangkan penelitian yang akan dilakukan berfokus pada estimasi

			<i>mossambicus</i>) from Ponds in Palibelo		konsumsi, pencemaran tetap ada dari limbah rumah tangga dan aktivitas industri.	risiko karsinogenik dari kadmium (Cd) dan kromium (Cr) pada kerang bakalang (<i>Marcia hiantina. L</i>), serta dampaknya terhadap masyarakat nelayan, yang berarti memperhatikan bioakumulasi logam berat pada kerang dan risiko kesehatan manusia akibat konsumsi kerang tersebut, dengan lokasi spesifik di Lantebung Bira, Makassar.
7	Najihah, N., & Rachmadiarti, F.	2023	Analisis Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Tumbuhan Air di Sungai Brantas Mojokerto	Lentera Bio	Kadar logam kadmium (Cd) pada kangkung mencapai 0,235 mg/kg, melebihi baku mutu 0,2 ppm. Kadar Cd di air sungai tertinggi 0,133 mg/L, juga melebihi standar 0,01 mg/L. Kualitas air memenuhi baku mutu kecuali kekeruhan yang tinggi.	Penelitian sebelumnya fokus pada analisis kadar logam berat kadmium (Cd) di tumbuhan air dan air sungai di Mojokerto, sedangkan penelitian yang akan dilakukan berfokus pada estimasi risiko karsinogenik Cd dan kromium (Cr) pada kerang bakalang serta dampaknya terhadap masyarakat nelayan di Makassar. Perbedaan utama terletak pada objek kajian dan fokus analisis, yaitu bioakumulasi di lingkungan dan risiko kesehatan manusia melalui konsumsi makanan laut.
8	Mahluddin Nurgitarini ,	2022	Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan	<i>Window of Public</i>	Konsentrasi kadmium (Cd) dan timbal (Pb) pada kerang hijau serta air memenuhi standar nasional Indonesia. Namun, Pb	Penelitian ini mengkaji bioakumulasi logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada kerang hijau, air, dan sedimen di Sungai Tallo

	Abd. Gafur, Yulianti		Kadmium (Cd) pada Kerang Hijau, Air, dan Sedimen di Sungai Tallo Makassar	<i>Health Journal</i>	dalam sedimen (4,27–4,97 mg/L) melebihi batas USEPA 2000. Bioakumulasi Pb dan Cd pada kerang rendah. Pencemaran disebabkan limbah industri dan permukiman di Sungai Tallo. Diperlukan peningkatan kesadaran masyarakat dan pengelolaan limbah yang lebih baik.	Makassar dengan pendekatan kuantitatif terhadap konsentrasi logam di media lingkungan. Sebaliknya, penelitian yang akan dilaksanakan memiliki fokus evaluasi risiko karsinogenik kadmium (Cd) dan kromium (Cr) pada kerang bakalang serta implikasi toksikologisnya terhadap kesehatan masyarakat nelayan di Lantebung Bira. Perbedaan mendasar terletak pada subjek kajian yang berbeda (kerang hijau versus kerang bakalang) dan jenis logam berat yang dianalisis (Cd dan Pb dengan Cd dan Cr), di mana penelitian terdahulu lebih mengedepankan aspek bioakumulasi lingkungan, sedangkan penelitian terbaru berorientasi pada penilaian risiko kesehatan manusia.
9	Sasaki, T., Horiguchi, H., Matsukawa, T., Kobayashi, M., Omori,	2024	<i>A suspected case of "itai-itai disease" in a cadmium-polluted area in Akita</i>	<i>Environmental Health and Preventive Medicine</i>	Terjadi kasus pertama dugaan penyakit itai-itai akibat paparan kadmium (Cd) kronis di prefektur Akita, kecuali daerah endemik di lembah Sungai Jinzu, Toyama. Seorang petani wanita usia lanjut dengan nefropati Cd dan disfungsi tubulus ginjal lanjut	Penelitian sebelumnya bersifat klinis dan deskriptif observasional dengan fokus pada individu yang terkena dampak langsung dari pencemaran kadmium. Sementara itu, penelitian yang ingin dilakukan di Lantebung Bira bersifat epidemiologis dan berbasis risiko dengan

	Y., & Oguma, E.		<i>prefecture, Japan</i>		ditemukan. Memiliki deformitas tulang, pemendekan tinggi badan, dan osteoporosis yang menunjukkan osteomalasia serta anemia ginjal. Fungsi ginjal menurun secara progresif dan kondisi tulang memburuk. Paparan Cd diduga dari konsumberas dan sayur hasil panen lokal yang terkontaminasi.	mengevaluasi potensi karsinogenik logam berat (Cd dan Cr) melalui konsumsi kerang.
10	Amanda Nurul Putri, Muhammad Ikhtiar, & Abd. Gafur	2021	Bioakumulasi Logam Berat Arsen dalam Kerang Darah (<i>Anadara Granosa</i>) dan Sedimen di Muara Sungai Tallo Makassar	<i>Window of Public Health Journal</i>	Hasil pemeriksaan kadar logam As pada kerang darah berkisar 0,001 - 0,004 mg/kg, sedimen <0,1 mg/kg, masih di bawah standar kualitas. Penelitian ini dilakukan dengan metode observasi dan deskriptif untuk mengukur bioakumulasi arsen dalam kerang darah dan sedimen.	Penelitian sebelumnya berfokus pada bioakumulasi logam berat arsen (As) dalam kerang darah dan sedimen di muara sungai Tallo Makassar. Sedangkan penelitian yang akan dilakukan berfokus pada estimasi risiko karsinogenik logam berat kadmium (Cd) dan kromium (Cr) pada kerang bakalang (<i>Marcia hiantina L</i>) serta dampaknya pada masyarakat nelayan di Lantebung Bira Kota Makassar. Fokus risikonya ke aspek kesehatan dan pada logam berat berbeda serta lokasi penelitian berbeda.
11	Andriani Titik, Fera Agustin, Sitti Chadijah,	2021	Analisa Logam Berat Kadmium (Cd) dan	<i>Chimica et Natura Acta</i>	Kandungan Pb (5,9 mg/kg) dan Cd (0,7 mg/kg) pada kerang hijau melebihi ambang batas aman. Penelitian menekankan risiko	Penelitian sebelumnya berfokus pada kerang hijau (<i>Perna viridis</i>) dan logam berat Cd serta Pb di lokasi pelelangan ikan Paotere, sedangkan

	Syarifah Rabiatul Adawiah, A. N.		Timbal (Pb) pada Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>) yang Beredar di Pelelangan Ikan Paotere Kota Makassar		bioakumulasi logam berat di kerang yang dijual dan potensi bahaya bagi konsumen.	penelitian Anda fokus pada estimasi risiko karsinogenik Cd dan Cr pada kerang bakalang (<i>Marcia hiantina L</i>) di Lantebung Bira serta dampaknya pada masyarakat nelayan.
12	Rino, Ulfa Sulaiman, Sumiaty, Alfina Baharuddin, A. P.	2022	Analisis Spasial Kualitas Air Logam Berat Timbal (Pb) Kanal Hertasning Kota Makassar Tahun 2022.	<i>Window of Public Health Journal</i>	Studi menggunakan ArGIS untuk memetakan distribusi logam berat Pb di air Kanal Hertasning. Ditemukan konsentrasi Pb yang bervariasi dengan titik tertinggi melampaui ambang batas kualitas air menurut standar. Penelitian ini menekankan pentingnya pemantauan kualitas air untuk melindungi kesehatan masyarakat.	Penelitian sebelumnya berfokus pada kualitas air dan logam Pb di kanal perairan, sedangkan penelitian Anda fokus pada estimasi risiko karsinogenik Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) pada kerang bakalang (<i>Marcia hiantina L</i>) dan dampaknya terhadap masyarakat nelayan di lokasi berbeda (Lantebung Bira). Fokus sampel dan parameter berbeda.
13	Sergeev, V., Balandinsky, D., Romanov, G., & Rukin, G.	2023	<i>Sorption treatment of water from chromium using biochar material</i>	<i>Arab Journal of Basic and Applied Sciences</i>	Penelitian ini membahas metode adsorpsi menggunakan bahan biochar untuk menghilangkan logam berat kromium dari air limbah. Efektivitas biochar dalam menyerap kromium diperiksa melalui parameter tertentu,	Penelitian sebelumnya berfokus pada pengolahan air limbah untuk mengurangi kadar kromium menggunakan biochar, berbeda dengan penelitian Anda yang fokus pada estimasi risiko karsinogenik kadmium (Cd) dan kromium (Cr) pada kerang bakalang (<i>Marcia hiantina L</i>) serta dampaknya pada

					menunjukkan potensi pengolahan air yang ramah lingkungan.	masyarakat nelayan di Lantebung Bira Kota Makassar.
14	Yanan, T., Miaomiao, H., Yunting, X., Fangda, P., Chuanlong, X., & Chunguang, D.	2025	<i>Urine metabolomic characteristics of people exposed to hexavalent chromium in drinking water</i>	<i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i>	Studi ini menyelidiki mekanisme toksikologi paparan kromium heksavalen (Cr(VI)) terhadap kesehatan manusia melalui analisis metabolomik urin. Ditemukan 30 metabolit diferensial dengan 17 metabolit naik dan 13 turun. Beberapa biomarker potensial seperti N-ceramide-sphingosine dan asam stearat diidentifikasi. Paparan Cr(VI) jangka panjang mempengaruhi jalur metabolisme seperti siklus urea, metabolisme hormon, dan sintesis steroid. Studi juga menunjukkan potensi risiko kesehatan serta perlunya langkah pengurangan paparan Cr(VI) dari air minum.	Penelitian yang akan dilakukan berfokus pada estimasi risiko karsinogenik kadmium (Cd) dan kromium (Cr) yang terkandung dalam kerang Bakalang, dengan target populasi masyarakat nelayan yang terpapar melalui konsumsi kerang tersebut. Berbeda dengan studi yang meneliti metabolit urin manusia akibat paparan Cr(VI) melalui air minum, penelitian ini fokus pendekatan epidemiologis untuk mengevaluasi potensi risiko karsinogenik secara langsung dari sumber makanan yang dikonsumsi.
15	Akhtar, S., Iftikhar, M., Iqbal, Z., Akhtar, T., Muneeb, A., Khan, A., Ahmad, K., Hussain, S.,	2025	<i>Waste water irrigation elevates chromium uptake in cereal crops: Bioaccumulation dynamics</i>	<i>Agricultural Water Management</i>	Irigasi air limbah menjadi vektor utama kontaminasi kromium (Cr) di agroekosistem semi-kering Punjab, Pakistan, dengan kadar Cr signifikan di air limbah (0,054–0,066 mg/L) dari limbah industri (penyamakanan, pelapisan listrik) dan perkotaan, menyebabkan	Penelitian yang akan dilakukan berfokus pada pengaruh irigasi limbah terhadap akumulasi kromium di tanah dan tanaman pangan. Sedangkan penelitian yang akan dilakukan berfokus pada estimasi risiko karsinogenik Cd dan Cr pada kerang bakalang serta evaluasi

	Bashir, S., Ali, S., Faisal, M., & Alatar, A. A.		<i>and carcinogenic risk assessment in a semi-arid agroecosyste ms</i>		akumulasi di tanah (hingga 2,00 mg/kg) dan serapan tanaman. Millet sebagai hiperakumulator berisiko tinggi (hingga 2,18 mg/kg), sementara gandum resisten dengan konsentrasi biji rendah (0,28–1,68 mg/kg) berkat eksklusi akar. Millet berair limbah menimbulkan risiko karsinogenik tidak aman bagi anak-anak (CR hingga 0,0115), melebihi batas keamanan hingga 115 kali.	dampaknya terhadap kesehatan masyarakat nelayan di lokasi spesifik Lantebung Bira Kota Makassar. Penelitian ini lebih spesifik pada bioakumulasi dan risiko kesehatan dari konsumsi kerang, bukan tanaman pangan.
--	---	--	--	--	--	---

BAB III

KERANGKA KONSEP

A. Dasar Pemikiran Variabel yang Diteliti

Kadmium (Cd) merupakan logam berat yang bersifat toksik tinggi dan karsinogenik, menyebabkan kerusakan multiorgan pada manusia dan hewan, termasuk disfungsi paru-paru, hati, ginjal, serta gangguan pada sistem jantung dan reproduksi yang dapat mengarah pada kematian sel sperma. Sensitivitas terhadap kontaminasi Kadmium (Cd) bervariasi antar spesies dan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan yang menghuni organisme tersebut. Dalam ekosistem, kadmium dapat menghambat pertumbuhan organisme, mengganggu keseimbangan ekologis, dan merusak interaksi antar spesies. Pada tumbuhan, paparan Kadmium (Cd) di atas batas toleransi mengganggu proses fotosintesis, sehingga berdampak pada pertumbuhan, perkembangan, dan kemampuan reproduksi secara menyeluruh (Najihah & Rachmadiarti, 2023).

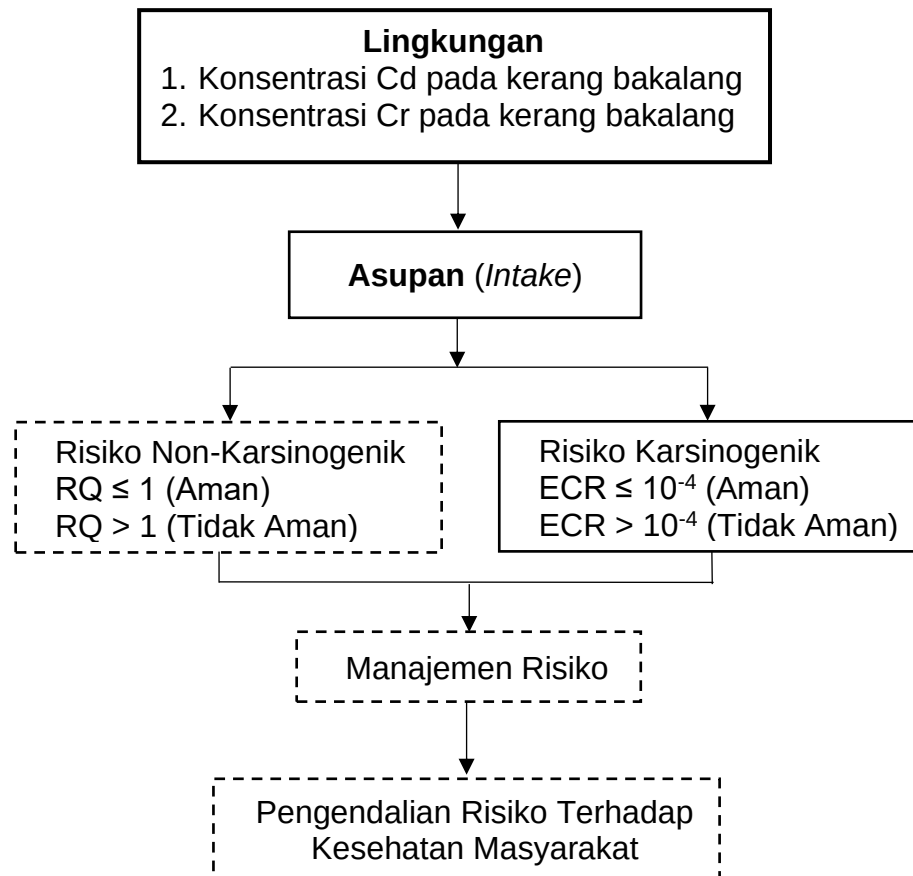
Kromium (Cr) merupakan logam berat yang menimbulkan ancaman signifikan bagi kelangsungan hidup organisme perairan, baik tumbuhan maupun hewan, serta berbahaya bagi manusia yang mengonsumsi biota yang telah terkontaminasi, bahkan dapat berujung pada kematian. Logam ini dikenal memiliki tingkat toksisitas yang tinggi dan tergolong karsinogenik. Paparan kromium dapat menyebabkan efek kesehatan yang bersifat akut maupun kronis. Dalam tubuh manusia, kromium dapat mengganggu fungsi saluran pernapasan, kulit, pembuluh

darah, dan ginjal. Akumulasi dalam jangka panjang juga berpotensi merusak sistem respirasi, yang selanjutnya dapat memicu gangguan seperti asma serta meningkatkan risiko kanker paru-paru (Fatmayani *et al.*, 2022).

Dalam ekosistem lingkungan logam berat memiliki kecenderungan untuk terakumulasi dan mengalami bioakumulasi sepanjang rantai makanan. Proses ini menyebabkan organisme pada tingkat trofik yang lebih tinggi menampung konsentrasi logam berat yang lebih tinggi dibandingkan organisme pada tingkat trofik yang lebih rendah. Akumulasi logam berat dalam tubuh organisme dapat memicu berbagai dampak negatif terhadap kesehatan, termasuk keracunan yang berpotensi menyebabkan disfungsi organ, gangguan metabolisme, dan bahkan kematian, baik pada hewan maupun manusia. Toksisitas logam berat dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk dosis yang dikonsumsi, durasi paparan, usia, jenis kelamin, kondisi fisiologis, serta kapasitas fungsional jaringan tubuh dalam menanggulangi logam berat tersebut (Putra, 2023).

Standar baku mutu dari Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan Tahun 2012 pada Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan bahwa kadar kadmium (Cd) yang ditetapkan yaitu 0,38 mg/kg/hari sedangkan kromium heksavalen (Cr^{6+}) yaitu 0,5 mg/kg/hari (Dirjen P2PL Kemenkes, 2012).

B. Kerangka Konsep



Keterangan:

: Variabel diteliti

: Variabel tidak diteliti

C. Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

1. Kandungan Logam Berat Cd dan Cr pada Kerang Bakalang

Kadar Cd dan Cr adalah besarnya kandungan logam berat Cd dan Cr yang terkandung dalam kerang yang dikonsumsi oleh masyarakat nelayan.

a. Kriteria Objektif Kadmium (Cd)

- 1) Memenuhi syarat jika kadar Cd melalui oral pada kerang $> 0,38$ mg/kg/hari (Dirjen P2PL Kemenkes, 2012).
- 2) Tidak memenuhi syarat jika kadar Cd melalui oral pada kerang $\leq 0,38$ mg/kg/hari (Dirjen P2PL Kemenkes, 2012).

b. Kriteria Objektif Kromium (Cr)

- 1) Memenuhi syarat jika kadar Cr melalui oral pada kerang $> 0,5$ mg/kg/hari (Dirjen P2PL Kemenkes, 2012).
- 2) Tidak memenuhi syarat jika kadar Cr melalui oral pada kerang $\leq 0,5$ mg/kg/hari (Dirjen P2PL Kemenkes, 2012).

2. Tingkat Paparan Harian (*I*)

a. Frekuensi Pemajanan (f_E)

Frekuensi Pemajanan (f_E) adalah keseringan responden mengonsumsi kerang bakalang per hari selama setahun dengan satuan hari/tahun yang di peroleh melalui wawancara dan pengukuran langsung kepada responden.

b. Laju Asupan (*R*)

Laju asupan (*R*) adalah jumlah berat kerang bakalang yang dikonsumsi responden per hari dengan satuan gram/hari yang diperoleh melalui wawancara kepada responden.

c. Durasi Pajanan (D_t)

Durasi pajanan (D_t) adalah lamanya waktu (tahun) kontak responden dengan pajanan (*risk agent*) di tempat tinggal dengan

satuan tahun yang diperoleh melalui wawancara kepada responden.

d. Berat Badan (W_b)

Berat badan (W_b) adalah berat badan responden saat penelitian dengan satuan kilogram (Kg) yang diperoleh melalui pengukuran langsung kepada responden.

e. Periode Waktu (t_{avg})

t_{avg} adalah periode waktu rata-rata munculnya efek logam berat. Untuk efek karsinogenik adalah 70 tahun x 365 hari/tahun.

3. Besarnya Risiko Kandungan Cd dan Cr pada Kerang Bakalang

Besarnya risiko kandungan logam berat Cd dan Cr pada kerang bakalang yang dikonsumsi oleh masyarakat menurut Pedoman Penilaian Risiko Kesehatan Lingkungan Kementerian Kesehatan RI sebagai berikut:

- a. $ECR \leq 10^{-4}$: Tidak berisiko terhadap kesehatan bagi masyarakat yang mengonsumsi kerang bakalang (tidak signifikan)
- b. $ECR = 1-10^{-4}$: Risiko sedang terhadap kesehatan bagi masyarakat yang mengonsumsi kerang bakalang (perlu pengawasan)
- c. $ECR > 10^{-4}$: Berisiko terhadap kesehatan bagi masyarakat yang mengonsumsi kerang bakalang

BAB IV

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian observasional yang menggunakan pendekatan Penilaian Risiko Kesehatan Lingkungan (*Environmental Health Risk Assessment/EHRA*), yang meliputi identifikasi bahaya, penilaian paparan, analisis dosis-respons, dan karakterisasi risiko. Tahapan-tahapan ini untuk memperkirakan besarnya risiko kesehatan akibat paparan logam berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) dari konsumsi kerang bakalang (Dirjen P2PL Kemenkes, 2012). Data primer diperoleh melalui survei lapangan untuk menentukan parameter pajanan seperti laju konsumsi kerang, frekuensi dan durasi pajanan, serta data antropometri responden. Selain itu, dilakukan pengujian laboratorium untuk mengetahui adanya kandungan Cd dan Cr pada kerang bakalang.

B. Waktu dan Lokasi Penelitian

1. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2025 - Maret 2026 mulai dari pemberian kuesioner di lapangan hingga pengambilan sampel.

2. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Kelurahan Bira, Kecamatan Tamalanrea, Kota Makassar. Penelitian ini meliputi observasi lapangan dan wawancara dengan menggunakan kuesioner,

pengambilan sampel dan dilanjutkan pemeriksaan kandungan logam berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) pada kerang bakalang di Laboratorium Produktivitas dan Kualitas Perairan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin.

C. Populasi dan Sampel Penelitian

1. Populasi

a. Masyarakat

Populasi lingkungan dalam penelitian ini adalah kerang bakalang yang dikonsumsi masyarakat nelayan di Lantebung, Bira, Kecamatan Tamalanrea, Kota Makassar. Kelurahan Bira memiliki jumlah penduduk sebanyak 5.420 jiwa (data yang tercatat), sehingga konsumsi kerang bakalang di wilayah ini menjadi aspek penting dalam melihat potensi paparan logam berat pada masyarakat setempat.

b. Lingkungan

Populasi lingkungan dalam penelitian ini adalah kerang bakalang yang dikonsumsi masyarakat nelayan di Lantebung, Kelurahan Bira, Kecamatan Tamalanrea, Kota Makassar.

2. Sampel Penelitian

a. Masyarakat

Dalam menentukan jumlah sampel masyarakat maka peneliti menggunakan rumus perhitungan yaitu *rumus slovin* sebagai berikut:

$$n = \frac{N}{1 + N (e)^2}$$

Keterangan:

n = Ukuran sampel/jumlah responden

N = Ukuran pupolasi

e = Tingkat kesalahan (0,1=10%)

Adapun jumlah ukuran sampel dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$n = \frac{N}{1 + N (e)^2}$$

$$n = \frac{5.420}{1 + 5.420 (0,1)^2}$$

$$n = \frac{5.420}{1 + 5.420 (0,01)}$$

$$n = \frac{5.420}{54,2 + 1}$$

$$n = \frac{5.420}{55,2}$$

$$n = 98,18$$

Berdasarkan jumlah perhitungan tersebut, maka dapat diketahui jumlah sampel yang dapat digunakan dalam penelitian ini adalah 98 responden. Akan tetapi, penelitian hanya menggunakan 30 responden berdasarkan kriteria yang telah ditentukan.

Metode yang digunakan dalam pengambilan sampel manusia adalah *purposive sampling*, yang dimana mengambil sampel dengan ciri-ciri tertentu sampai jumlah (kuota) yang di

inginkan. Pengambilan sampel didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut:

- 1) Masyarakat Nelayan yang berada di sekitar Lantebung Bira Kota Makassar
- 2) Masyarakat Nelayan yang bertempat tinggal di Lantebung Bira Kota Makassar
- 3) Masyarakat Nelayan yang mengonsumsi kerang bakalang selama 10 tahun terakhir.

b. Lingkungan

Sampel diambil pada 6 titik dengan pengambilan sampel sebanyak satu kali pada tiap titik menggunakan *judgmental sampling*, yaitu teknik pemilihan lokasi berdasarkan penilaian profesional terhadap area yang berpotensi terkontaminasi (USEPA, 2002). Titik pengambilan sampel dipilih dengan melihat tingkat pencemaran di daerah tersebut yang memungkinkan terdapatnya Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) dalam lingkungan. Titik pengambilan sampel sebagai berikut:

- 1) Titik 1: Dekat hutan mangrove dipilih untuk mengetahui peran ekosistem mangrove sebagai penyerap dan penjerap alami logam berat. Mangrove dapat mengakumulasi Cd dan Cr dalam sedimen yang selanjutnya berpotensi masuk ke biota perairan seperti kerang Bakalang.

- 2) Titik 2: Berada dekat area tambak, di mana aktivitas penggunaan pakan buatan, bahan kimia pengelolaan tambak, serta potensi limpasan limbah dapat menjadi sumber utama pencemaran, kemungkinan adanya kontribusi dari peralatan atau bahan kimia yang digunakan selama kegiatan budidaya.
- 3) Titik 3: Dekat Area Industri, titik ini dipilih untuk mengidentifikasi pengaruh limbah industri yang berpotensi mengandung logam berat, khususnya Cd dan Cr, yang bersifat toksik dan karsinogenik apabila terakumulasi dalam biota laut.
- 4) Titik 4: Lokasinya yang dekat dengan jalur lintas kapal menjadi wilayah rentan terhadap masuknya logam berat dari aktivitas manusia, seperti bongkar muat barang, pembuangan limbah operasional kapal, kebocoran minyak dari bahan bakar, serta komponen mesin yang mengandung logam berat. Titik ini dipilih untuk mengamati dampak dari interaksi aktivitas lalu lintas laut terhadap kandungan logam di perairan.
- 5) Titik 5: Berada di kawasan dengan kombinasi aktivitas seperti industri, tambak, dan jalur lalu lintas kapal di Perairan Lantebung Bira, Kota Makassar sehingga tetap memiliki potensi pencemaran.
- 6) Titik 6: Lokasi ini berada dekat dengan kawasan pemukiman warga yang padat, yang berpotensi meningkatkan logam berat dari aktivitas antropogenik domestik seperti limbah rumah

tangga, pembuangan plastik, serta penggunaan produk rumah tangga yang mengandung logam berat. Kepadatan penduduk di sekitar lokasi juga berkorelasi dengan peningkatan volume sampah yang tidak dikelola secara optimal.

Metode yang digunakan dalam pengambilan sampel kerang bakalang yaitu menggunakan kantong jaring kemudian dimasukkan kedalam plastik sampel dan diberi label lalu dimasukkan ke *cool box*.

D. Metode Pemeriksaan Sampel

Pemeriksaan sampel dilakukan di Laboratorium Produktivitas dan Kualitas Perairan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin, sebagai berikut:

1. Alat dan Bahan

a. Alat

- 1) Plastik sampel
- 2) Timbangan neraca
- 3) Tabung reaksi
- 4) Pinset
- 5) *Waterbath*
- 6) Gelas ukur
- 7) Corong
- 8) Kertas saring
- 9) *Funnel stand* (rak corong)

10) *Atomic Absorption Spectrofotometry (AAS)*

11) *Hot plate*

12) Pipet ukur

13) *Bulp*

b. Bahan

1) Kerang

2) *Aquadest*

3) Asam nitrat pekat (HNO_3)

4) Larutan standar Kadmium (Cd) Kromium (Cr)

2. Prosedur Kerja

1) Pisahkan daging kerang dengan cangkangnya menggunakan pisau kemudian bersihkan dari kotoran,

2) Sampel dimasukkan kedalam oven pada suhu 105°C selama 1 hari,

3) Selanjutnya timbang daging kerang seberat 1 gram dan masukkan ke dalam cawan porselin untuk di tanur sampai menjadi abu. Suhu yang digunakan adalah 500°C selama 2 jam,

4) Sampel yang sudah menjadi abu kemudian didinginkan dan ditambahkan 5 ml asam nitrat pekat (HNO_3),

5) Larutkan menggunakan aquades sebanyak 50 ml dan saring menggunakan kertas saring dalam labu ukur 100 ml,

6) Sampel siap untuk di analisis dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrofotometry (AAS)*.

E. Teknik Pengumpulan Data

1. Data primer

a. Data Kandungan Logam Berat Cd dan Cr pada Kerang Bakalang

Untuk mengetahui kandungan logam berat Cd dan Cr pada kerang bakalang, dilakukan pengambilan sampel di perairan Mangrove Lantebung Bira Kota Makassar. Kemudian kerang tersebut dikirim ke Laboratorium untuk diperiksa dan analisa kadar logam beratnya.

b. Pengumpulan Data dengan Kuesioner

Kuesioner digunakan untuk mendapatkan data karakteristik responden, durasi pajanan dan laju konsumsi. Untuk mendapatkan data-data tersebut dilakukan wawancara dan observasi dengan pedoman kuesioner.

2. Data sekunder

Data sekunder diperoleh melalui referensi-referensi hasil penelitian sebelumnya, internet, beberapa buku dan literatur-literatur lain yang berkaitan dengan tema penelitian.

F. Pengolahan dan Analisis Data

1. Pengolahan Data

a. Data-data primer yang telah diperoleh kemudian dilanjutkan dengan tahap-tahap sebagai berikut:

1) *Editing* (Pemeriksaan Data)

Editing merupakan kegiatan pengecekan dan perbaikan terhadap semua isian kuesioner yang telah dikumpulkan, setelah pengambilan data di lapangan dan diuji laboratorium telah selesai.

2) *Coding* (Pemberian Kode)

Data yang telah terkumpul dan dikoreksi ketepatan dan kelengkapan kemudian diberi kode oleh peneliti secara manual yakni mengubah data berbentuk kalimat atau huruf menjadi data angka atau bilangan. Pemberian kode ini sangat berguna dalam memasukkan data.

3) *Entry* (Memasukkan Data ke Komputer)

Data yang dalam bentuk kode (huruf atau angka) dimasukkan ke program komputer untuk diolah secara komputerisasi.

4) *Cleaning* (Pembersihan Data)

Pemeriksaan semua data yang dimasukkan ke dalam program komputer guna menghindari terjadinya kesalahan dalam memasukkan data.

- b. Pengolahan data menggunakan perhitungan analisis risiko yaitu dengan menghitung asupan (*intake*) untuk mengetahui tingkat *Slopee Factor* (SF) terhadap masyarakat. Perhitungan dengan asupan (*intake*) diperoleh berdasarkan data kandungan logam

berat Cd dan Cr sebagai agen dalam kerang (mg/kg), laju asupan pajanan (gram/hari), frekuensi pajanan tahunan (*real time*) dalam tahunan berat badan (kg), periode waktu rata-rata karsinogenik (70 tahun x 365 hari/tahunan). ECR dihitung dengan membagi I (*intake*) dengan SF. Nilai ECR ini kemudian digunakan untuk menentukan tingkat risiko kesehatan bagi masyarakat nelayan yang mengonsumsi kerang di Lantebung Bira Kota Makassar. Perhitungan laju asupan akan digunakan rumus sebagai berikut:

$$I = \frac{C \times R \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

Keterangan:

I = Asupan (*intake*), mg/kg/hari,

C = Konsentrasi *risk agent*, mg/m³ (udara), mg/L (air minum),
mg/kg (pangan/makanan),

R = Laju asupan atau konsumsi, m³/jam (inhalasi), L/hari (air minum), g/hari (makanan)

f_E = Frekuensi pajanan

D = Durasi pajanan, tahun (*real time* atau *default*)

W_b = Berat badan (kg)

t_{avg} = Periode waktu rata-rata (30x 365 hari/ tahun untuk *real time*,
70 tahun x 365 hari/ tahun untuk *life time*)

Perhitungan karakterisasi risiko efek karsinogenik dilakukan dengan mengalikan intake melalui *Slope Factor* (SF).

Berikut ini merupakan rumus ECR:

$$ECR = I \times SF$$

Keterangan:

I : *Intake/Asupan*

ECR : *Excess Cancer Risk*

SF (*slope factor*) : Nilai referensi agen risiko dengan efek karsinogenik

Tingkatan risiko dikatakan aman apabila $ECR \leq 10^{-4}$ dan tingkat risiko dinilai tidaklah aman jika $ECR > 10^{-4}$.

2. Analisis Data

Data hasil pengukuran di lapangan dan laboratorium selanjutnya dilakukan pengolahan dengan SPSS dan Excel untuk memperoleh gambaran secara deskriptif terkait masing-masing variabel yang diteliti.

G. Penyajian Data

Data yang diperoleh dari hasil pengambilan data di lapangan dan laboratorium disajikan dalam bentuk tabel dan selanjutnya diuraikan dalam bentuk narasi.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

1. Letak Geografis

Secara geografis, Kelurahan Bira yang terletak di Kecamatan Tamalanrea, Kota Makassar, berada pada koordinat 05°09'05.845" LS dan 119°47'13.044" BT. Berdasarkan aspek administratif, Kelurahan Bira merupakan wilayah dengan luas terbesar di Kecamatan Tamalanrea, yaitu mencapai 9,26 km². Wilayah ini termasuk dalam kawasan pesisir dengan ketinggian berkisar antara 1-22 meter di atas permukaan laut. Adapun batas-batas wilayah Kelurahan Bira adalah sebagai berikut:

- a. Sebelah Utara : Kelurahan Untia, Kecamatan Biringkanaya
- b. Sebelah selatan : Kelurahan Parangloe Kecamatan Tamalanrea
- c. Sebelah Timur : Kelurahan Bulurokeng, Kecamatan Tamalanrea
- d. Sebelah barat : Selat Makassar

Perairan Selat Makassar secara geografis di bagian utara berhubungan dengan Samudera Pasifik melalui Laut Sulawesi dan di bagian selatan terhubung dengan Laut Jawa serta Laut Flores, dengan batas wilayah di sebelah barat berupa Pulau Kalimantan dan di sebelah timur Pulau Sulawesi. Selat Makassar memiliki peranan strategis sebagai jalur utama transport massa air dari Samudera Pasifik menuju Samudera Hindia melalui sistem Arus Lintas Indonesia (ARLINDO). Aliran ARLINDO bergerak dari Samudera Pasifik Tengah melalui Laut Sulawesi, kemudian berbelok ke arah selatan melewati Selat Makassar,

sambil membawa massa air yang kaya sumber daya sehingga meningkatkan potensi kelautan wilayah tersebut. Selain itu, ARLINDO juga melintasi Kepulauan Spermonde dari arah utara ke selatan, termasuk perairan di sekitar pesisir Dusun Lantebung, Kelurahan Bira, yang turut dipengaruhi oleh dinamika oseanografi tersebut.

2. Letak Administratif

Kelurahan Bira merupakan salah satu wilayah administratif yang berada di Kecamatan Tamalate, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan. Wilayah kelurahan ini terbagi ke dalam beberapa Rukun Warga (RW) dan Rukun Tetangga (RT), dengan cakupan area yang meliputi kawasan permukiman hingga wilayah pesisir. Secara administratif, Kelurahan Bira berada di bawah pembinaan Pemerintah Kota Makassar serta berperan aktif dalam pelaksanaan berbagai program pemberdayaan masyarakat pesisir, khususnya yang berkaitan dengan pengelolaan lingkungan laut dan upaya konservasi sumber daya alam.

Pengelolaan administrasi wilayah pesisir memiliki peranan strategis dalam mendukung perencanaan pembangunan sektor kelautan. Kelurahan Bira telah terintegrasi dalam sejumlah program pesisir terpadu yang diinisiasi oleh Dinas Kelautan dan Perikanan Kota Makassar, antara lain pengembangan kampung nelayan modern dan kegiatan konservasi laut. Keberhasilan program-program tersebut sangat bergantung pada keterlibatan aktif para pemangku kepentingan lokal dalam menjaga keberlanjutan lingkungan sekaligus mendorong

peningkatan kesejahteraan masyarakat pesisir.

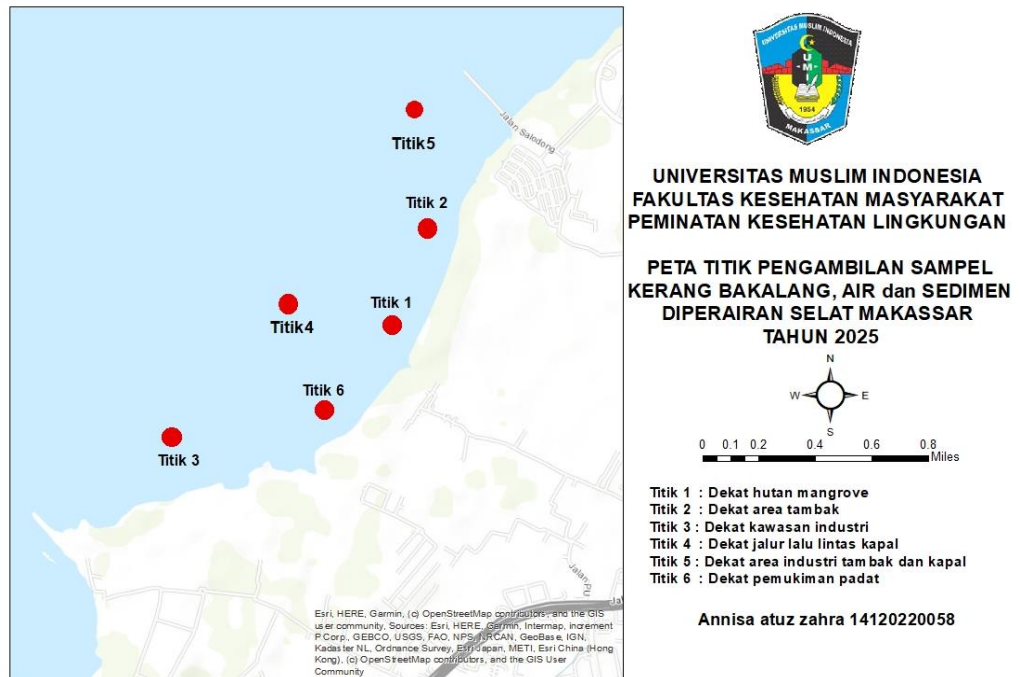
3. Gambaran Sosial Ekonomi

Masyarakat Kelurahan Bira memiliki ketergantungan tinggi terhadap sumber daya laut sebagai sumber penghasilan utama. Profesi seperti nelayan, pembudidaya rumput laut, pengumpul kerang mendominasi aktifitas ekonomi. Pendapatan masyarakat umumnya bersifat musiman dan bergantung pada kondisi alam serta pasang surut laut. Dalam kondisi musim buruk atau hasil tangkapan menurun, sebagian keluarga mengalihkan aktivitas ke sektor informal lain seperti berdagang atau menjadi buruh harian.

Secara umum, mata pencaharian utama penduduk adalah nelayan, pembudidaya rumput laut, dan pengumpul kerang dan kepiting. Ibu rumah tangga dan lansia, juga banyak terlibat dalam aktivitas pencarian kerang dan pengolahan hasil laut. Peran keluarga dalam ekonomi rumah tangga cukup besar, karena banyak aktivitas ekonomi dilakukan secara mandiri dan berbasis komunitas. Tingkat ketergantungan terhadap hasil laut menjadikan masyarakat sangat rentan terhadap perubahan cuaca dan musim.

Dari sisi sosial, masyarakat menunjukkan solidaritas dan sistem kerja gotong royong yang masih kuat. Kegiatan seperti pengolahan hasil laut dan perbaikan alat tangkap sering dilakukan bersama-sama. Beberapa kelompok Perempuan juga tergabung dalam kelompok usaha bersama (KUB) yang bergerak dalam pengolahan kerang asin atau

rumput laut kering. Meskipun demikian, tantangan masih ada, terutama dalam hal pemasaran, akses modal dan pelatihan keterampilan yang berkelanjutan untuk meningkatkan nilai ekonomi produk laut mereka.



B. Hasil Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Perairan Lantebung Bira, Kecamatan Tamalanrea, Kota Makassar. Pengumpulan data dilakukan sejak Januari-Februari 2026. Sampel manusia merupakan masyarakat nelayan yang mengonsumsi kerang bakalang sebanyak 30 orang. Jumlah masyarakat tersebut akan digunakan sebagai unit analisis dalam desain estimasi risiko karsinogenik, di mana seluruh faktor risiko diukur untuk memprediksi besarnya risiko kesehatan akibat paparan logam berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) dari konsumsi kerang bakalang. Desain ini mengikuti pendekatan Penilaian Risiko Kesehatan Lingkungan (*Environmental Health Risk Assessment/EHRA*), dimana setiap individu merupakan sasaran yang

akan dihitung risikonya setelah terpapar logam berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) dalam kerang bakalang. Sampel lingkungan merupakan *Marcia Hiantina* atau dikenal sebagai kerang bakalang yang diasumsikan telah terkontaminasi logam berat berbahaya, pengambilan sampel kerang diambil di 6 titik yang berbeda.

Data dikumpulkan melalui wawancara, pengukuran berat badan responden, serta pengambilan sampel lingkungan yang kemudian dianalisis di Laboratorium Produktivitas dan Kualitas Perairan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin. Proses pengolahan data dilakukan menggunakan *software Ms Excel* dan SPSS. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan uraian deksriptif. Adapun temuan dari penelitian ini dipaparkan sebagai berikut:

1. Karakteristik Perairan Lokasi Penelitian

a. Titik Pegambilan Sampel

Tabel 5.1
Titik Pengambilan Sampel di Perairan Lantebung Bira
Kota Makassar

Titik	Koordinat		Lokasi
	Bujur	Lintang	
1	119.4660"E	-5.074754"S	Dekat dengan hutan mangrove
2	119.27'56"E	-5.068714"S	Dekat area tambak
3	119.083416"E	-5.083416"S	Dekat kawasan industri
4	119.4649"E	-5.077023"S	Jalur lalu lintas kapal
5	119.27'51"E	-5.3544""S	Dekat area industri, tambak, dan kapal
6	119.46'68"E	-5.079357"S	Pemukiman padat

Sumber: Data Primer, 2026

Tabel 5.1 menunjukkan bahwa titik pengambilan sampel di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar pada titik 1 di dekat dengan hutan mangrove, titik 2 di dekat area tambak, titik 3 di dekat kawasan industri, titik 4 di dekat jalur lalu lintas kapal, titik 5 di Dekat area industri, tambak, dan kapal, dan titik 6 di pemukiman padat.

2. Karakteristik Masyarakat Nelayan

Karakteristik masyarakat yang dikaji dalam penelitian ini meliputi umur, jenis kelamin, berat badan, lama tinggal, tingkat pendidikan di wilayah pesisir, serta riwayat gangguan kesehatan pada sampel masyarakat yang mengonsumsi kerang bakalang.

a. Umur

Distribusi responden berdasarkan umur dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 5.2
Distribusi Masyarakat Berdasarkan Umur di Perairan
Lantebung Bira Kota Makassar

No	Kelompok Umur	n	%
1	21-30 tahun	2	6,7
2	31-40 tahun	7	23,3
3	41-50 tahun	15	50,0
4	51-60 tahun	4	13,3
5	61-70 tahun	1	3,3
6	71-80 tahun	1	3,3
Total		30	100

Sumber: Data Primer, 2026

Tabel 5.2 menunjukkan bahwa distribusi masyarakat nelayan berdasarkan kelompok umur yang mengonsumsi kerang Bakalang di Perairan Lantebung, Kota Makassar. Dari 30 responden yang diteliti kelompok umur tertinggi pada umur 41-50 tahun sebanyak 15 orang

(50,0%) dan kelompok umur terendah pada umur 61-70 tahun dan 71-80 tahun sebanyak masing-masing 1 orang (3,3%).

b. Jenis Kelamin

Distribusi responden berdasarkan jenis kelamin dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 5.3
Distribusi Masyarakat Berdasarkan Jenis Kelamin di Perairan
Lantebung Bira Kota Makassar

No	Jenis Kelamin	n	%
1	Laki-laki	29	96,7
2	Perempuan	1	3,3
Total		30	100

Sumber: Data Primer, 2026

Tabel 5.3 menunjukkan bahwa distribusi masyarakat berdasarkan jenis kelamin di Perairan Lantebung Bira, Kota Makassar. Dari 30 responden yang diteliti, sebagian besar responden berjenis kelamin laki-laki sebanyak 29 orang (96,7%) dan responden perempuan sebanyak 1 orang (3,3%).

c. Pendidikan Terakhir

Distribusi responden berdasarkan pendidikan terakhir dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 5.4
Distribusi Masyarakat Berdasarkan Pendidikan Terakhir
di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar

No	Pendidikan Terakhir	n	%
1	SD	23	76,7
2	SMP	4	13,3
3	SMA/SMK	3	10,0
Total		30	100

Sumber: Data Primer, 2026

Tabel 5.4 menunjukkan bahwa distribusi masyarakat yang mengonsumsi kerang bakalang berdasarkan pendidikan terakhir di Perairan Lantebung Bira, Kota Makassar. Dari 30 responden, pendidikan terakhir tertinggi yaitu SD sebanyak 23 orang (76,7%) dan pendidikan terakhir yang terendah SMA/SMK sebanyak 3 orang (10,0%).

d. Berat Badan

Distribusi responden berdasarkan berat badan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 5.5
Distribusi Masyarakat Berdasarkan Berat Badan di Perairan
Lantebung Bira Kota Makassar

No	Berat Badan	n	%
1	41-50 kg	2	6,7
2	51-60 kg	22	73,3
3	61-70 kg	6	20,3
Total		30	100

Sumber: Data Primer, 2026

Tabel 5.5 menunjukkan bahwa distribusi masyarakat berdasarkan berat badan di Perairan Lantebung Bira, Kota Makassar. Dari 30 responden, kelompok berat badan tertinggi pada 51-60 kg yaitu sebanyak 22 orang (73,3%) dan kelompok berat badan terendah pada 41-50 kg sebanyak 2 orang (6,7%).

e. Lama Tinggal

Distribusi responden berdasarkan lama tinggal dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 5.6
Distribusi Masyarakat Berdasarkan Lama Tinggal di Perairan
Lantebung Bira Kota Makassar

No	Lama Tinggal	n	%
1	15-29 tahun	5	16,7
2	30-44 tahun	12	40,0
3	45-59 tahun	11	36,7
4	60-74 tahun	2	6,7
Total		30	100

Sumber: Data Primer, 2026

Tabel 5.6 menunjukkan bahwa distribusi masyarakat berdasarkan lama tinggal di Perairan Lantebung Bira, Kota Makassar. Dari 30 responden yang diteliti, lama tinggal terbanyak terdapat pada kategori 30-44 tahun sebanyak 12 orang (40,0%), sedangkan lama tinggal paling sedikit terdapat pada kategori 60-74 tahun sebanyak 2 orang (6,7%).

f. Pola Konsumsi Kerang

Distribusi responden berdasarkan pola konsumsi dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 5.7
Distribusi Masyarakat Berdasarkan Pola Konsumsi di Perairan
Lantebung Bira Kota Makassar

No	Pola Konsumsi	n	%
1	2-3 kali/minggu	22	73,3
2	1 kali/minggu	6	20,0
3	< 1 kali/minggu	2	6,7
Total		30	100

Sumber: Data Primer, 2026

Tabel 5.7 menunjukkan bahwa distribusi masyarakat berdasarkan pola konsumsi kerang di Perairan Lantebung Bira, Kota Makassar. Dari 30 responden yang diteliti, pola konsumsi terbanyak

terdapat pada 2-3 kali/minggu sebanyak 22 orang (73,3%), sedangkan pola konsumsi paling sedikit terdapat pada < kali/minggu sebanyak 2 orang (6,7%).

g. Cara Perolehan Kerang

Distribusi responden berdasarkan lama tinggal dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 5.8
Distribusi Masyarakat Berdasarkan Cara Perolehan
di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar

No	Cara Perolehan	n	%
1	Beli (pasar tradisional)	4	13,3
2	Tangkap Sendiri (nelayan langsung)	26	86,7
Total		30	100

Sumber: Data Primer, 2026

Tabel 5.8 menunjukkan bahwa distribusi masyarakat yang mengonsumsi kerang bakalang berdasarkan cara perolehan kerang bakalang di Perairan Lantebung Bira, Kota Makassar. Dari 30 responden, sebagian besar masyarakat memperoleh kerang dengan cara menangkap sendiri (nelayan langsung) yaitu sebanyak 26 orang (86,7%) dan responden yang memperoleh kerang dengan cara membeli di pasar tradisional berjumlah 4 orang (13,3%).

h. Cara Memasak Kerang

Distribusi responden berdasarkan cara memasak kerang oleh masyarakat dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 5. 9
Distribusi Masyarakat Berdasarkan Cara Memasak Kerang
di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar

No	Cara Memasak	n	%
1	Direbus	28	93,3
2	Dibakar	2	6,7
Total		30	100

Sumber: Data Primer, 2026

Tabel 5.9 menunjukkan bahwa distribusi masyarakat dalam mengolah kerang bakalang berdasarkan cara memasak di Perairan Lantebung Bira, Kota Makassar. Dari 30 responden, sebagian besar masyarakat memasak kerang dengan cara direbus, yaitu sebanyak 28 orang (93,3%) dan responden yang memasak kerang dengan cara dibakar sebanyak 2 orang (6,7%).

i. Cara Pengolahan Kerang

Distribusi responden berdasarkan cara pengolahan kerang oleh masyarakat dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 5.10
Distribusi Masyarakat Berdasarkan Diolah Tanpa dilepas
Cangkangnya di Perairan Lantebung Bira
Kota Makassar

No	Diolah Tanpa dilepas Cangkangnya	n	%
1	Dilepas	2	6,7
2	Tidak	28	93,3
Total		30	100

Sumber: Data Primer, 2026

Tabel 5.10 menunjukkan bahwa distribusi masyarakat berdasarkan pengolahan kerang Bakalang yang diolah tanpa dilepas cangkangnya di Perairan Lantebung Bira, Kota Makassar. Dari 30 responden, sebagian besar masyarakat tidak mengolah kerang tanpa

melepas cangkangnya, yaitu sebanyak 28 orang (93,3%) dan responden yang mengolah kerang tanpa dilepas cangkangnya sebanyak 2 orang (6,7%).

j. Gangguan Kesehatan

Distribusi responden berdasarkan gangguan kesehatan yang pernah diderita selama mengonsumsi kerang bakalang oleh masyarakat dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 5.11
Distribusi Masyarakat Berdasarkan Gangguan Kesehatan
di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar

No	Gangguan Kesehatan	n	%
1	Gangguan pada ginjal	1	3,3
2	Gangguan pada tulang	4	13,3
3	Gangguan pada kulit	14	46,7
4	Tidak ada gangguan	11	36,7
Total		30	100

Sumber: Data Primer, 2026

Tabel 5.11 menunjukkan bahwa distribusi masyarakat berdasarkan gangguan kesehatan di Perairan Lantebung Bira, Kota Makassar. Dari 30 responden yang diteliti gangguan kesehatan yang paling banyak dialami adalah gangguan pada kulit, yaitu sebanyak 14 orang (46,7%) dan gangguan kesehatan yang paling sedikit dialami gangguan pada ginjal sebanyak 1 orang (3,3%).

k. Keluhan Setelah Konsumsi Kerang

Distribusi responden berdasarkan keluhan setelah mengonsumsi kerang bakalang oleh masyarakat dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 5.12
Distribusi Masyarakat Berdasarkan Keluhan Setelah
Konsumsi Kerang di Perairan Lantebung Bira
Kota Makassar

No	Keluhan Setelah Konsumsi Kerang	n	%
1	Nyeri perut / diare	12	40,0
2	Mual, muntah	1	3,3
3	Nyeri tulang dan sendi	4	13,3
4	Bengkak pada kaki atau tangan	2	6,7
5	Tidak ada keluhan	11	36,7
Total		30	100

Sumber: Data Primer, 2026

Tabel 5.12 menunjukkan bahwa distribusi masyarakat berdasarkan keluhan setelah konsumsi kerang di Perairan Lantebung Bira, Kota Makassar. Dari 30 responden yang diteliti, keluhan yang paling banyak dialami adalah nyeri perut/diare sebanyak 12 orang (40,0%) dan keluhan yang paling sedikit dialami adalah mual/muntah sebanyak 1 orang (3,3%).

3. Gambaran Hasil Analisis Risiko

a. Konsentrasi Logam Berat Kadmium (Cd) pada Kerang Bakalang

Hasil pemeriksaan konsentrasi logam berat kadmium (Cd) pada kerang bakalang dilakukan melalui analisis laboratorium menggunakan metode atomisasi. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui kadar logam berat yang terkandung dalam kerang bakalang yang diperoleh dari lokasi penelitian. Hasil pemeriksaan konsentrasi logam berat kadmium (Cd) pada kerang bakalang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.13
Distribusi Kosentrasi Kadmium (Cd) pada Kerang Bakalang
di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar

No	Titik Pengambilan Sampe	Kadmium (Cd) (mg/kg)	Ket
1	T1	0,2973	MS
2	T2	0,4111	MS
3	T3	0,3538	MS
4	T4	0,3300	MS
5	T5	0,4993	TMS
6	T6	0,3264	MS

Sumber: Data Primer, 2026

Keterangan:

MS : Memenuhi Syarat

TMS : Tidak Memenuhi Syarat

Tabel 5.13 menunjukkan bahwa kadar logam berat Kadmium (Cd) pada kerang bakalang yang tertinggi berada pada titik 5 yaitu sebesar 0,4993 mg/kg sedangkan terendah berada pada titik 1 dimana kadar logam berat kadmium (Cd) yaitu sebesar 0,2973 mg/kg. Berdasarkan hasil tersebut, sebagian besar sampel masih tergolong memenuhi syarat (MS) karena berada di bawah baku mutu yang ditetapkan, namun pada titik T5 dikategorikan tidak memenuhi syarat (TMS) karena konsentrasi kadmium melebihi batas yang diperbolehkan.

b. Konsentrasi Logam Berat Kromium (Cr) pada Kerang Bakalang

Hasil pemeriksaan konsentrasi logam berat kromium (Cr) pada kerang bakalang dilakukan melalui analisis laboratorium

menggunakan metode atomisasi. Hasil pemeriksaan konsentrasi logam berat kromium (Cr) pada kerang bakalang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.14
Distribusi Kosentrasi Kromium (Cr) pada Kerang Bakalang
di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar

No	Titik Pengambilan Sampel	Kromium (Cr) (mg/kg)	Ket
1	T1	<0,01	MS
2	T2	<0,01	MS
3	T3	<0,01	MS
4	T4	<0,01	MS
5	T5	<0,01	MS
6	T6	<0,01	MS

Sumber: Data Primer, 2026

Keterangan:

Tt : Tidak terdeteksi

MS : Memenuhi Syarat

TMS : Tidak Memenuhi Syarat

Tabel 5.14 menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat Kromium (Cr) pada kerang bakalang yang diambil dari enam titik pengambilan sampel (T1, T2, T3, T4, T5, dan T6) menunjukkan nilai <0,01 mg/kg. Nilai tersebut berada di bawah batas deteksi alat (*Limit of Detection/LOD*) yang digunakan dalam pemeriksaan laboratorium, sehingga keberadaan logam Kromium pada sampel tidak dapat terdeteksi secara kuantitatif. Hal ini menunjukkan bahwa kadar Kromium pada kerang bakalang di lokasi penelitian sangat rendah atau berada di bawah kemampuan alat untuk mendeteksinya. Dengan demikian, seluruh sampel pada titik pengambilan tersebut

dikategorikan memenuhi syarat (MS) karena tidak melebihi baku mutu yang telah ditetapkan.

c. Tingkat Paparan Harian *Intake* (I) Logam Berat Kadmium (Cd)

Tingkat paparan harian masyarakat nelayan terhadap logam berat kadmium (Cd) dihitung berdasarkan parameter analisis pemajanan, seperti konsentrasi logam dalam kerang, laju konsumsi, frekuensi pajanan, durasi pajanan, serta berat badan responden. Hasil perhitungan tingkat paparan harian (*intake*) kadmium (Cd) dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.15
Asupan Karsinogenik Kadmium (Cd) Masyarakat Nelayan
yang Mengonsumsi Kerang Bakalang di Perairan
Lantebung Bira Kota Makassar

No	<i>Intake</i> (mg/kg)	Kadmium (Cd)	
		<i>Real Time</i>	<i>Life Time</i>
1	<i>Mean</i>	$2,51 \times 10^{-4}$	$2,06 \times 10^{-4}$
2	Median	$2,27 \times 10^{-4}$	$1,95 \times 10^{-4}$
3	Minimum	$2,84 \times 10^{-5}$	$2,79 \times 10^{-5}$
4	Maksimum	$7,67 \times 10^{-4}$	$6,03 \times 10^{-4}$

Sumber: Data Primer, 2026

Tabel 5.15 menunjukkan bahwa *intake* (karsinogenik) logam berat Kadmium (Cd) masyarakat nelayan yang mengonsumsi kerang bakalang di Perairan Lantebung Bira menunjukkan adanya variasi tingkat pajanan pada *real time* maupun *life time*. Secara umum, nilai rata-rata asupan pada logam tersebut masih berada dalam kisaran yang relatif rendah.

Pada logam Kadmium (Cd), nilai rata-rata (*mean*) asupan sebesar $2,51 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari (*real time*) dan $2,06 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari

(*life time*). Nilai median masing-masing sebesar $2,27 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari (*real time*) dan $1,95 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari (*life time*). Nilai median yang lebih rendah dibandingkan nilai rata-rata menunjukkan bahwa terdapat sebagian kecil responden dengan tingkat asupan yang lebih tinggi sehingga memengaruhi nilai rata-rata secara keseluruhan. Nilai minimum sebesar $2,84 \times 10^{-5}$ mg/kg/hari (*real time*) dan $2,79 \times 10^{-5}$ mg/kg/hari (*life time*) menunjukkan bahwa seluruh responden tetap mengalami pajanan, meskipun dalam jumlah yang rendah. Sementara itu, nilai maksimum sebesar $7,67 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari (*real time*) dan $6,03 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari (*life time*) mengindikasikan adanya kelompok responden dengan tingkat pajanan yang relatif lebih tinggi.

Berikut ini perhitungan nilai asupan harian (*intake*) logam berat Kadmium (Cd) untuk durasi pajanan *real time* sebagai berikut pada sampel masyarakat no.21 (tertinggi) dan no. 27 (terendah).

1. Masyarakat No. 21 (tertinggi)

$$I = \frac{C \times R \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

$$I = \frac{0,0004993 \times 300 \times 144 \times 50}{55 \times 25.550}$$

$$I = \frac{1.078.488}{1.405.250}$$

$$I = 0,00076747 = 7,76 \times 10^{-4}$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada masyarakat no.21 melalui nilai *intake* tertinggi $7,76 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari.

2. Masyarakat No. 27 (terendah)

$$I = \frac{C \times R \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

$$I = \frac{0,0003264 \times 50 \times 60 \times 51}{68,9 \times 10950}$$

$$I = \frac{49.939,2}{1.760.395}$$

$$I = 0,000028368 = 2,84 \times 10^{-5}$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada masyarakat no.27 melalui nilai intake terendah $2,84 \times 10^{-5}$ mg/kg/hari.

d. Tingkat Paparan Harian *Intake* (I) Logam Berat Kromium (Cr)

Tingkat paparan harian masyarakat nelayan terhadap logam berat kromium (Cr) dihitung berdasarkan parameter analisis pemajanan, seperti konsentrasi logam dalam kerang, laju konsumsi, frekuensi pajanan, durasi pajanan, serta berat badan responden. Hasil perhitungan tingkat paparan harian (*intake*) kadmium (Cd) dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.16
Asupan Karsinogenik Kromium (Cr) Masyarakat Nelayan
yang Mengonsumsi Kerang Bakalang di Perairan
Lantebung Bira Kota Makassar

No	<i>Intake</i> (mg/kg)	Kromium (Cr)	
		<i>Real Time</i>	<i>Life Time</i>
1	<i>Mean</i>	$6,79 \times 10^{-3}$	$5,60 \times 10^{-3}$
2	Median	$5,70 \times 10^{-3}$	$4,90 \times 10^{-3}$
3	Minimum	$8,69 \times 10^{-4}$	$1,21 \times 10^{-4}$
4	Maksimum	$1,73 \times 10^{-3}$	$8,92 \times 10^{-4}$

Sumber: Data Primer, 2026

Berdasarkan Tabel 5.15 menunjukkan bahwa nilai intake (karsinogenik) logam berat Kadmium (Cd) pada masyarakat nelayan yang mengonsumsi kerang bakalang di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar menunjukkan variasi tingkat paparan baik pada kondisi *real time* maupun *life time*. Secara umum, nilai rata-rata asupan logam kadmium masih berada pada kisaran yang relatif rendah. Namun demikian, terdapat perbedaan antara nilai *mean* dan median yang menunjukkan adanya variasi distribusi tingkat paparan di antara responden, sehingga mengindikasikan bahwa jumlah asupan kadmium yang diterima oleh masyarakat tidak merata dan dipengaruhi oleh perbedaan pola konsumsi kerang bakalang pada masing-masing responden.

Pada logam Kromium (Cr), nilai rata-rata (*mean*) asupan sebesar $6,79 \times 10^{-3}$ mg/kg/hari (*real time*) dan $5,60 \times 10^{-3}$ mg/kg/hari (*life time*). Nilai median masing-masing sebesar $5,70 \times 10^{-3}$ mg/kg/hari (*real time*) dan $4,90 \times 10^{-3}$ mg/kg/hari (*life time*). Kondisi ini juga menunjukkan bahwa nilai median lebih rendah dibandingkan nilai rata-rata, sehingga mencerminkan adanya distribusi paparan yang tidak merata. Nilai minimum sebesar $8,69 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari (*real time*) dan $1,21 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari (*life time*) menunjukkan bahwa seluruh responden tetap terpapar Kromium (Cr), meskipun pada tingkat yang rendah. Adapun nilai maksimum sebesar $1,73 \times 10^{-3}$ mg/kg/hari (*real time*) dan $8,92 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari (*life time*) menunjukkan adanya

subkelompok responden dengan tingkat asupan yang lebih tinggi dibandingkan responden lainnya.

Berikut ini perhitungan nilai asupan harian (*intake*) logam berat Kromium (Cr) untuk durasi pajanan real time sebagai berikut pada sampel masyarakat no.21 (tertinggi) dan no. 27 (terendah).

1. Masyarakat No. 30 (tertinggi)

$$I = \frac{C \times R \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

$$I = \frac{0,01 \times 300 \times 120 \times 70}{56,92 \times 25.550}$$

$$I = \frac{25.200}{1.454.306}$$

$$I = 0,0173227853 = 1,73 \times 10^{-2}$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada masyarakat no.30 melalui nilai *intake* tertinggi $1,73 \times 10^{-2}$ mg/kg/hari.

2. Masyarakat No. 27 (terendah)

$$I = \frac{C \times R \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

$$I = \frac{0,01 \times 50 \times 60 \times 51}{68,9 \times 25.550}$$

$$I = \frac{1.530}{1.760.395}$$

$$I = 0,000869123 = 8,69 \times 10^{-4}$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada masyarakat no.27 melalui nilai *intake* terendah $8,69 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari.

e. *Excess Cancer Risk* (ECR) Karsinogenik Logam Berat Kadmium (Cd)

Karakterisasi risiko karsinogenik dilakukan dengan menghitung nilai *excess cancer risk* (ECR) untuk mengetahui potensi risiko kanker akibat paparan logam berat kadmium (Cd) melalui konsumsi kerang bakalang. Hasil perhitungan nilai ECR kadmium (Cd) pada masyarakat nelayan disajikan pada tabel berikut.

Tabel 5.17
Karakteristik *Excess Cancer Risk* (ECR) Karsinogenik Kadmium (Cd) Masyarakat Nelayan yang Mengonsumsi Kerang Bakalang di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar

No	ECR	Kadmium (Cd)	
		<i>Real Time</i>	<i>Life Time</i>
1	<i>Mean</i>	$1,03 \times 10^{-4}$	$8,57 \times 10^{-5}$
2	Median	$9,02 \times 10^{-5}$	$7,64 \times 10^{-5}$
3	Minimum	$1,08 \times 10^{-5}$	$1,06 \times 10^{-5}$
4	Maksimum	$2,92 \times 10^{-4}$	$2,92 \times 10^{-4}$

Sumber: *Data Primer, 2026*

Tabel 5.17 menunjukkan bahwa nilai rata-rata (*mean*) *slope factor* (SF) karsinogenik untuk Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) pada nelayan yang mengonsumsi kerang darah di Perairan Lantebung Bira, Kota Makassar Tahun 2025 menunjukkan adanya potensi risiko kanker akibat pajanan logam berat melalui konsumsi hasil laut tersebut, baik pada pajanan *real time* maupun seumur hidup. Hal ini mengindikasikan bahwa paparan logam berat dalam jangka panjang berkontribusi terhadap peningkatan terjadinya efek karsinogenik.

Pada logam Kadmium (Cd), nilai rata-rata (*mean*) *excess cancer risk* (ECR) sebesar $1,03 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari (*real time*) dan $8,57 \times$

10^{-5} mg/kg/hari (*life time*). Nilai median masing-masing sebesar $9,02 \times 10^{-5}$ mg/kg/hari (*real time*) dan $7,64 \times 10^{-5}$ mg/kg/hari (*life time*). Nilai minimum sebesar $1,08 \times 10^{-5}$ mg/kg/hari (*real time*) dan $1,06 \times 10^{-5}$ mg/kg/hari (*life time*) menunjukkan bahwa seluruh responden memiliki potensi risiko karsinogenik, meskipun pada tingkat yang relatif rendah. Sementara itu, nilai maksimum sebesar $2,92 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari pada kedua kondisi mengindikasikan adanya kelompok responden dengan tingkat risiko yang relatif lebih tinggi dibandingkan responden lainnya. Berikut ini perhitungan tingkat risiko terjadinya efek karsinogenik dinyatakan dengan simbol *excess cancer risk* (ECR). Karakterisasi risiko untuk efek karsinogenik dihitung dengan mengalikan *intake* dengan *slope factor* (SF) pada logam berat Kadmium (Cd) untuk durasi pajanan *real time* sebagai berikut pada sampel masyarakat no. 21 (tertinggi) dan no. 27 (terendah).

1. Masyarakat 21 (tertinggi)

$$ECR = I \times SF$$

$$ECR = 7,76 \times 10^{-4} \text{ mg/kg/hari} \times 0,38 \text{ mg/kg/hari}^{-1}$$

$$ECR = 2,92 \times 10^{-4}$$

Berdasarkan hasil perhitungan *excess cancer risk* (ECR) pada masyarakat nelayan yang mengonsumsi kerang bakalang, diperoleh nilai ECR sebesar $2,92 \times 10^{-4}$ pada responden nomor 21. Nilai tersebut diperoleh dari hasil perkalian antara *intake* (I) sebesar $7,76 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari dengan *slope factor* (SF) sebesar 0,38

mg/kg/hari⁻¹. Hasil ini menunjukkan bahwa responden tersebut memiliki tingkat risiko karsinogenik tertentu akibat paparan logam berat melalui konsumsi kerang bakalang. Nilai ECR tersebut menggambarkan adanya potensi risiko kesehatan dalam jangka panjang apabila paparan terjadi secara terus-menerus.

2. Masyarakat 27 (terendah)

$$ECR = I \times SF$$

$$ECR = 2,84 \times 10^{-5} \text{ mg/kg/hari} \times 0,38 \text{ mg/kg/hari}^{-1}$$

$$ECR = 1,08 \times 10^{-5}$$

Berdasarkan hasil perhitungan *excess cancer risk* (ECR) pada masyarakat nelayan yang mengonsumsi kerang bakalang, diperoleh nilai ECR sebesar $1,08 \times 10^{-5}$ pada responden nomor 27. Nilai tersebut diperoleh dari hasil perkalian antara *intake* (I) sebesar $2,84 \times 10^{-5}$ mg/kg/hari dengan *slope factor* (SF) sebesar 0,38 mg/kg/hari⁻¹. Hasil ini menunjukkan bahwa tingkat risiko karsinogenik pada responden tersebut relatif rendah, namun tetap menggambarkan adanya potensi risiko kesehatan akibat paparan logam berat melalui konsumsi kerang bakalang dalam jangka waktu tertentu.

f. *Excess Cancer Risk* (ECR) Karsinogenik Logam Berat Kromium (Cr)

Karakterisasi risiko karsinogenik dilakukan dengan menghitung nilai *excess cancer risk* (ECR) untuk mengetahui potensi risiko kanker akibat paparan logam berat kromium (Cr) melalui konsumsi kerang

bakalang. Hasil perhitungan nilai ECR kromium (Cr) pada masyarakat nelayan disajikan pada tabel berikut.

Tabel 5.18
Karakteristik *Excess Cancer Risk* (ECR) Karsinogenik Kromium (Cr) Masyarakat Nelayan yang Mengonsumsi Kerang Bakalang di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar

No	ECR	Kromium (Cr)	
		<i>Real Time</i>	<i>Life Time</i>
1	<i>Mean</i>	$3,59 \times 10^{-3}$	$2,65 \times 10^{-3}$
2	Median	$2,87 \times 10^{-3}$	$2,48 \times 10^{-3}$
3	Minimum	$4,35 \times 10^{-4}$	$4,28 \times 10^{-4}$
4	Maksimum	$8,66 \times 10^{-3}$	$7,05 \times 10^{-3}$

Sumber: Data Primer, 2026

Tabel 5.18 menunjukkan bahwa logam Kromium (Cr), nilai rata-rata (*mean*) ECR sebesar $3,59 \times 10^{-3}$ mg/kg/hari (*real time*) dan $2,65 \times 10^{-3}$ mg/kg/hari (*life time*). Nilai median masing-masing sebesar $2,87 \times 10^{-3}$ (*real time*) dan $2,48 \times 10^{-3}$ (*life time*). Nilai minimum sebesar $4,35 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari (*real time*) dan $4,28 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari (*life time*) menunjukkan bahwa seluruh responden memiliki potensi risiko karsinogenik akibat pajanan Kromium (Cr). Adapun nilai maksimum sebesar $8,66 \times 10^{-3}$ mg/kg/hari (*real time*) dan $7,05 \times 10^{-3}$ mg/kg/hari (*life time*) menunjukkan adanya subkelompok responden dengan tingkat risiko yang jauh lebih tinggi dibandingkan responden lainnya.

Berikut ini perhitungan tingkat risiko terjadinya efek karsinogenik dinyatakan dengan simbol *excess cancer risk* (ECR). Karakterisasi risiko untuk efek karsinogenik dihitung dengan mengalikan *intake* dengan *slope factor* (SF) pada logam berat kromium

(Cr) untuk durasi pajanan *real time* sebagai berikut pada sampel masyarakat no. 30 (tertinggi) dan no. 27 (terendah).

1. Masyarakat 30 (tertinggi)

$$ECR = I \times SF$$

$$ECR = 1,73 \times 10^{-2} \text{ mg/kg/hari} \times 0,5 \text{ mg/kg/hari}^{-1}$$

$$ECR = 8,66 \times 10^{-3}$$

Berdasarkan hasil perhitungan *excess cancer risk* (ECR) pada masyarakat nelayan yang mengonsumsi kerang bakalang, diperoleh nilai ECR tertinggi sebesar $8,66 \times 10^{-3}$ pada responden nomor 30. Nilai tersebut diperoleh dari hasil perkalian antara *intake* (I) sebesar $1,73 \times 10^{-3} \text{ mg/kg/hari}$ dengan *slope factor* (SF) sebesar $0,5 \text{ mg/kg/hari}^{-1}$. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai ECR pada responden tersebut tergolong tinggi, sehingga mengindikasikan adanya potensi risiko karsinogenik akibat paparan logam berat melalui konsumsi kerang bakalang. Nilai ini menggambarkan kemungkinan terjadinya risiko kanker pada populasi yang terpapar dalam jangka waktu tertentu akibat akumulasi logam berat dalam tubuh.

2. Masyarakat 27 (terendah)

$$ECR = I \times SF$$

$$ECR = 8,69 \times 10^{-4} \text{ mg/kg/hari} \times 0,5 \text{ mg/kg/hari}^{-1}$$

$$ECR = 4,35 \times 10^{-4}$$

Berdasarkan hasil perhitungan *excess cancer risk* (ECR) pada masyarakat nelayan yang mengonsumsi kerang bakalang, diperoleh nilai ECR terendah sebesar $4,35 \times 10^{-4}$ pada responden nomor 27. Nilai tersebut diperoleh dari hasil perkalian antara *intake* (I) sebesar $8,69 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari dengan *slope factor* (SF) sebesar $0,5 \text{ mg/kg/hari}^{-1}$. Hasil ini menunjukkan bahwa tingkat risiko karsinogenik pada responden tersebut relatif lebih rendah dibandingkan responden lainnya, namun tetap menunjukkan adanya potensi risiko kesehatan akibat pajanan logam berat melalui konsumsi kerang bakalang.

4. Analisis Pemajanan

a. Logam Berat Kadmium (Cd)

Nilai analisis pemajanan logam berat kadmium (Cd) dihitung untuk mengetahui besarnya paparan yang diterima oleh masyarakat nelayan melalui konsumsi kerang bakalang. Analisis pemajanan ini dilakukan untuk memperkirakan jumlah asupan logam berat kadmium yang masuk ke dalam tubuh masyarakat akibat konsumsi kerang yang berasal dari Perairan Lantebung Bira, Kota Makassar.

Perhitungan analisis pemajanan atau intake logam berat kadmium (Cd) dilakukan dengan menggunakan konsentrasi logam berat (C), laju asupan (R), frekuensi pajanan (f_E), durasi pajanan (D_t), berat badan masyarakat (W_b), periode waktu rata-rata (T_{avg}).

Tabel 5.19
Nilai Analisis Pemajanan Logam Kadmium (Cd) Masyarakat
Nelayan yang Mengonsumsi Kerang Bakalang
di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar

Titik	Res p	Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan							
		C (mg/kg)	R (gr/ hr)	Dt (th)	f _E (hr/th)	W _b (kg)	T _{avg} (hr)	Intake (mg/kg/hr)	ECR
1	1	0,2973	300	28	144	57,2	25550	2,46 × 10 ⁻⁴	9,35 × 10 ⁻⁵
	2	0,2973	150	30	120	55	25550	1,14 × 10 ⁻⁴	1,14 × 10 ⁻⁵
	3	0,2973	150	32	120	56,8	25550	1,18 × 10 ⁻⁴	4,48 × 10 ⁻⁵
	4	0,2973	150	33	156	57,7	25550	1,56 × 10 ⁻⁴	5,92 × 10 ⁻⁵
	5	0,2973	150	33	144	66,3	25550	1,25 × 10 ⁻⁴	4,75 × 10 ⁻⁵
2	6	0,4111	150	20	156	59	25550	1,28 × 10 ⁻⁴	4,85 × 10 ⁻⁵
	7	0,4111	50	28	144	58,5	25550	5,54 × 10 ⁻⁵	2,11 × 10 ⁻⁵
	8	0,4111	150	40	132	53,4	25550	2,39 × 10 ⁻⁴	9,07 × 10 ⁻⁵
	9	0,4111	150	40	156	68,6	25550	2,20 × 10 ⁻⁴	8,34 × 10 ⁻⁵
	10	0,4111	150	43	144	54	25550	2,77 × 10 ⁻⁴	1,05 × 10 ⁻⁴
3	11	0,3538	150	43	156	59	25550	2,36 × 10 ⁻⁴	8,97 × 10 ⁻⁵
	12	0,3538	150	44	132	60	25550	2,01 × 10 ⁻⁴	7,64 × 10 ⁻⁵
	13	0,3538	150	44	108	60,4	25550	1,63 × 10 ⁻⁴	6,21 × 10 ⁻⁵
	14	0,3538	150	45	72	57,2	25550	1,18 × 10 ⁻⁴	4,47 × 10 ⁻⁵
	15	0,3538	150	45	72	55,9	25550	1,20 × 10 ⁻⁴	4,57 × 10 ⁻⁵
4	16	0,3300	300	46	144	56,5	25550	4,54 × 10 ⁻⁴	1,73 × 10 ⁻⁴
	17	0,3300	150	48	144	71	25550	1,89 × 10 ⁻⁴	1,89 × 10 ⁻⁴
	18	0,3300	300	49	156	58,65	25550	5,05 × 10 ⁻⁴	1,92 × 10 ⁻⁴
	19	0,3300	150	49	120	60	25550	1,90 × 10 ⁻⁴	1,90 × 10 ⁻⁴
	20	0,3300	150	50	156	54,73	25550	2,76 × 10 ⁻⁴	1,05 × 10 ⁻⁴
5	21	0,4993	300	50	144	55	25550	7,67 × 10 ⁻⁴	2,92 × 10 ⁻⁴
	22	0,4993	150	50	108	44,7	25550	3,54 × 10 ⁻⁴	1,35 × 10 ⁻⁴
	23	0,4993	150	50	96	60	25550	2,35 × 10 ⁻⁴	8,91 × 10 ⁻⁵
	24	0,4993	150	50	120	67,6	25550	2,60 × 10 ⁻⁴	9,89 × 10 ⁻⁵
	25	0,4993	150	51	132	61	25550	3,24 × 10 ⁻⁴	1,23 × 10 ⁻⁵
6	26	0,3264	300	51	156	57,4	25550	5,31 × 10 ⁻⁴	2,02 × 10 ⁻⁴
	27	0,3264	50	51	60	68,9	25550	2,84 × 10 ⁻⁵	1,08 × 10 ⁻⁵
	28	0,3264	50	38	84	50	25550	4,08 × 10 ⁻⁵	1,55 × 10 ⁻⁵
	29	0,3264	150	70	108	51,6	25550	2,81 × 10 ⁻⁴	1,07 × 10 ⁻⁴
	30	0,3264	300	70	120	56,92	25550	5,66 × 10 ⁻⁴	2,15 × 10 ⁻⁴

Sumber: Data Primer, 2026

Tabel 5.19 menunjukkan bahwa dari 30 masyarakat di perairan Lantebung Bira yang diwawancarai, masyarakat yang memiliki laju asupan tertinggi yaitu sebesar 300 gram/hari. Sedangkan laju asupan terendah yaitu sebesar 50 gram/hari. Pada durasi pajanan nilai tertinggi yaitu 70 tahun sedangkan nilai terendah yaitu 20 tahun. Pada frekuensi pajanan tertinggi yaitu 156 hari/tahun

sedangkan nilai terendah yaitu 60 hari/tahun. Berat badan tertinggi 71 kg sedangkan terendah yaitu sebesar 44,7 kg. Sementara itu, periode waktu rata-rata yang digunakan semuanya sebesar 25.550 untuk karsinogenik.

b. Logam Berat Kromium (Cr)

Tabel 5.20
Nilai Analisis Pemajanan Logam Kromium (Cr) Masyarakat
Nelayan yang Mengonsumsi Kerang Bakalang
di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar

Titik	Respon	Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan							
		C (mg/kg)	R (gr/hr)	Dt (th)	f _E (hr/th)	W _b (kg)	T _{avg} (hr)	Intake (mg/kg/hr)	ECR
1	1	<0,01	300	28	144	57,2	25550	8,28 x 10 ⁻³	4,14 x 10 ⁻³
	2	<0,01	150	30	120	55	25550	3,84 x 10 ⁻³	1,92 x 10 ⁻³
	3	<0,01	150	32	120	56,8	25550	3,97 x 10 ⁻³	1,98 x 10 ⁻³
	4	<0,01	150	33	156	57,7	25550	5,24 x 10 ⁻³	2,62 x 10 ⁻³
	5	<0,01	150	33	144	66,3	25550	4,21 x 10 ⁻³	2,10 x 10 ⁻³
2	6	<0,01	150	20	156	59	25550	3,10 x 10 ⁻³	1,55 x 10 ⁻³
	7	<0,01	50	28	144	58,5	25550	1,35 x 10 ⁻³	6,74 x 10 ⁻⁴
	8	<0,01	150	40	132	53,4	25550	5,80 x 10 ⁻³	2,90 x 10 ⁻³
	9	<0,01	150	40	156	68,6	25550	5,34x 10 ⁻³	2,67 x 10 ⁻³
	10	<0,01	150	43	144	54	25550	6,73 x 10 ⁻³	3,37 x 10 ⁻³
3	11	<0,01	150	43	156	59	25550	6,67 x 10 ⁻³	3,34 x 10 ⁻³
	12	<0,01	150	44	132	60	25550	5,68 x 10 ⁻³	2,84 x 10 ⁻³
	13	<0,01	150	44	108	60,4	25550	4,62 x 10 ⁻³	2,31 x 10 ⁻³
	14	<0,01	150	45	72	57,2	25550	3,33 x 10 ⁻³	1,66 x 10 ⁻³
	15	<0,01	150	45	72	55,9	25550	3,40 x 10 ⁻³	1,70 x 10 ⁻³
4	16	<0,01	300	46	144	56,5	25550	1,38 x 10 ⁻²	6,88 x 10 ⁻³
	17	<0,01	150	48	144	71	25550	5,72 x 10 ⁻³	5,72 x 10 ⁻³
	18	<0,01	300	49	156	58,65	25550	1,53 x 10 ⁻²	7,65 x 10 ⁻³
	19	<0,01	150	49	120	60	25550	5,75 x 10 ⁻³	5,75 x 10 ⁻³
	20	<0,01	150	50	156	54,73	25550	8,37 x 10 ⁻³	4,18 x 10 ⁻³
5	21	<0,01	300	50	144	55	25550	1,54 x 10 ⁻²	7,69 x 10 ⁻³
	22	<0,01	150	50	108	44,7	25550	7,09 x 10 ⁻³	3,55 x 10 ⁻³
	23	<0,01	150	50	96	60	25550	4,70 x 10 ⁻³	2,35 x 10 ⁻³
	24	<0,01	150	50	120	67,6	25550	5,21 x 10 ⁻³	2,61 x 10 ⁻³
	25	<0,01	150	51	132	61	25550	6,48 x 10 ⁻³	3,24 x 10 ⁻³
6	26	<0,01	300	51	156	57,4	25550	1,63 x 10 ⁻²	8,14 x 10 ⁻³
	27	<0,01	50	51	60	68,9	25550	8,69 x 10 ⁻⁴	4,35 x 10 ⁻⁴
	28	<0,01	50	38	84	50	25550	1,25 x 10 ⁻³	6,25 x 10 ⁻⁴
	29	<0,01	150	70	108	51,6	25550	8,60 x 10 ⁻³	4,30 x 10 ⁻³
	30	<0,01	300	70	120	56,92	25550	1,73 x 10 ⁻²	8,66 x 10 ⁻³

Sumber: Data Primer, 2026

Keterangan:

C : Konsentrasi agen risiko

R : Laju asupan

D_t : Durasi pajanan

f_E : Frekuensi pajanan

W_b : Berat badan

T_{avg} : Periode waktu rata-rata

Analisis pemajanan logam berat kadmium (Cd) pada masyarakat nelayan yang mengonsumsi kerang bakalang, diperlukan beberapa parameter yang digunakan dalam perhitungan nilai intake. Parameter tersebut meliputi konsentrasi logam berat dalam kerang bakalang (C), laju asupan atau laju konsumsi kerang (R), frekuensi pajanan (f_E), durasi pajanan (D_t), berat badan responden (W_b), serta periode waktu rata-rata (time averaging/ T_{avg}). Parameter pemajanan masyarakat nelayan yang mengonsumsi kerang bakalang di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar disajikan pada tabel berikut.

Tabel 5.21
Parameter Pemajanan Masyarakat Nelayan yang Mengonsumsi
Kerang Bakalang di Perairan Lantebung Bira
Kota Makassar

No	Analisis Pemajanan	Mean	Median	Min	Max
1	Laju Asupan (R)	170	150	50	300
2	Frekuensi Pajanan (f_E)	126,8	132	60	156
3	Durasi Pajanan (D_t)	44,03333	45	20	70
4	Berat Badan (W_b)	58,4	57,6	44,7	71
5	Waktu Perata-rata (T_{avg})	70 tahun x 365 hari/tahun			

Sumber: Data Primer, 2026

Tabel 5.21 menunjukkan bahwa dari 30 masyarakat nelayan di perairan Lantebung Bira yang diwawancarai, masyarakat yang memiliki laju asupan tertinggi yaitu sebesar 300 gram/hari. Sedangkan laju asupan terendah yaitu sebesar 50 gram/hari. Pada durasi pajanan nilai tertinggi yaitu 70 tahun sedangkan nilai terendah yaitu 20 tahun. Pada frekuensi pajanan tertinggi yaitu 156 hari/tahun sedangkan nilai terendah yaitu 60 hari/tahun. Berat badan tertinggi 71 kg sedangkan terendah yaitu sebesar 44,7 kg. Sementara itu, periode waktu rata-rata yang digunakan semuanya sebesar 25.550 untuk karsinogenik.

a. Laju Asupan (R)

Laju asupan (R) adalah jumlah kerang yang dikonsumsi oleh responden per hari, dinyatakan dalam satuan gram per hari (g/hari), dan diperoleh melalui wawancara. Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa rata-rata (*mean*) laju asupan masyarakat nelayan di wilayah Perairan Lantebung, Kelurahan Bira, adalah sebesar 170 g/hari, dengan nilai median 150 g/hari. Sementara itu, nilai terendah tercatat sebesar 50 g/hari dan nilai tertinggi mencapai 300 g/hari.

b. Frekuensi Pajanan (f_E)

Frekuensi pajanan (f_E) adalah seberapa lama responden mengonsumsi kerang per hari selama setahun dengan satuan hari/tahun yang diperoleh melalui wawancara. Diketahui bahwa rata-rata (*mean*) frekuensi pajanan masyarakat nelayan di Perairan Lantebung Bira adalah 126,8 hari/tahun, nilai tengah (median)

frekuensi konsumsi kerang oleh responden adalah sebesar 132 hari/tahun. Adapun frekuensi konsumsi terendah tercatat sebanyak 60 hari/tahun, sedangkan frekuensi tertinggi mencapai 156 hari/tahun.

c. Durasi Paparan (D_t)

Durasi Paparan (D_t) adalah lama waktu (tahun) kontak responden dengan paparan (*risk agent*) di tempat tinggal dengan satuan tahun yang diperoleh melalui wawancara. Berdasarkan hasil wawancara pada responden di Perairan Lantebung Bira, keseluruhan tinggal dan menetap sejak lahir serta beberapa berpindah tempat maupun pendatang. Diketahui bahwa rata-rata (*mean*) durasi paparan masyarakat nelayan di Perairan Lantebung Bira adalah 44,03333 gram/hari, nilai tengah (*median*) yaitu 45 gram/hari. Adapun durasi paparan terendah 20 gram/hari dan durasi paparan tertinggi 70 gram/hari. Tetapi dalam perhitungan analisis risiko *lifetime*, peneliti menggunakan nilai *default* yakni efek karsinogenik selama 70 tahun.

d. Berat Badan (W_b)

Berat Badan (W_b) dalam penelitian ini mengacu pada berat badan responden yang merupakan masyarakat nelayan di wilayah Perairan Lantebung, Kelurahan Bira. Pengukuran dilakukan menggunakan timbangan saat wawancara berlangsung dan dinyatakan dalam satuan kilogram (kg). Hasil pengukuran

menunjukkan bahwa *mean* berat badan responden tercatat 58,4 kg, dengan nilai median 57,6 kg. Berat badan terendah ditemukan sebesar 44,7 kg, sedangkan yang tertinggi mencapai 71 kg.

e. Periode Waktu Rata-Rata (T_{avg})

Periode Waktu Rata-Rata (T_{avg}) adalah estimasi rentang waktu yang digunakan untuk menilai timbulnya dampak kesehatan akibat pajanan terhadap agen risiko. Dalam penelitian ini, periode waktu rata-rata yang digunakan mengacu pada nilai *default* yang ditetapkan oleh US-EPA untuk efek karsinogenik, yaitu selama 25.550 hari, yang ekuivalen dengan 70 tahun.

5. Karakteristik Risiko Karsinogenik

Slopee Factor (SF) merupakan besarnya risiko yang dinyatakan dalam angka tanpa satuan yang merupakan perhitungan antara *intake* dengan dosis/konsentrasi referensi dari suatu agen risiko karsinogenik serta dapat juga dipresentasikan sebagai aman atau tidak amannya suatu agen risiko terhadap organisme sistem atau sub populasi.

Langkah awal dalam memperoleh nilai *Slopee Factor* (SF) adalah melakukan identifikasi terhadap agen risiko yang terdapat di lingkungan serta kelompok populasi yang berisiko. Pada penelitian ini, agen risiko yang dimaksud adalah logam berat Cd dan Cr yang terkandung dalam kerang bakalang yang berasal dari perairan Lantebung, Kelurahan Bira, Kota Makassar.

Langkah kedua adalah penilaian jalur pajanan Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr). Ada tiga jalur utama masuknya bahan toksik ke dalam tubuh manusia yaitu melalui saluran gastrointestinal (oral), paru-paru (inhalasi) dan kulit (dermal). Dalam penelitian ini jalur pajanan utama kromium dan kadmium pada masyarakat nelayan yang bermukim di perairan Lantebung Bira Kota Makassar.

Tingkat risiko terjadinya efek karsinogenik dinyatakan dengan parameter *Excess Cancer Risk* (ECR). Karakterisasi risiko karsinogenik dihitung dengan mengalikan nilai intake dengan *slope factor* (SF). Suatu paparan dinilai aman apabila nilai $ECR \leq 10^{-4}$, sedangkan paparan dinyatakan tidak aman apabila nilai $ECR > 10^{-4}$. Nilai karakterisasi risiko yang diperoleh dari perhitungan kandungan logam berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) pada kerang bakalang yang dikonsumsi oleh masyarakat nelayan di wilayah perairan Lantebung, Kelurahan Bira, Kota Makassar, disajikan pada tabel berikut.

6. Pengelolaan Risiko

Berdasarkan petunjuk teknis ARKL, Dirjen P2PL Kemenkes 2012, pengelolaan risiko tidak termasuk dalam tahapan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), melainkan merupakan langkah tindak lanjut jika hasil karakterisasi risiko menunjukkan tingkat risiko tidak aman atau tidak dapat diterima (*unacceptable*). Batas aman adalah ambang nilai terendah yang menyebabkan risiko menjadi tidak dapat

diterima. Strategi pengelolaan risiko untuk Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) dapat dilakukan melalui tiga pendekatan:

- a. Pendekatan teknologi: pengolahan kerang sebelum dikonsumsi, monitoring kadar Cd dan Cr, serta pengendalian sumber pencemar.
- b. Pendekatan sosial ekonomi: edukasi masyarakat mengenai frekuensi konsumsi kerang yang aman, pengembangan alternatif pangan, dan penerapan praktik konsumsi yang aman.
- c. Pendekatan institusional: regulasi keamanan pangan, pemantauan rutin kualitas kerang, dan pengawasan oleh dinas kesehatan.

Adapun penentuan Batas Aman Konsentrasi Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr), yaitu:

1. Kadmium (Cd)

$$\begin{aligned}
 C_k (\text{Aman}) &= \frac{(0,0001/\text{SF}) \times W_b \times 70 \times 365}{R \times f_E \times D_t} \\
 &= \frac{(0,0001/0,38) \times 58,4 \times 70 \times 365}{170 \times 126,8 \times 44,03333} \\
 &= \frac{392,663157}{949.183,46} \\
 &= 0,000414 \\
 &= C_k \approx 4,14 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

2. Kromium (Cr)

$$\begin{aligned}
 C_k (\text{Aman}) &= \frac{(0,0001/\text{SF}) \times W_b \times 70 \times 365}{R \times f_E \times D_t} \\
 &= \frac{(0,0001/0,5) \times 58,4 \times 70 \times 365}{170 \times 126,8 \times 44,03333} \\
 &= \frac{298,424}{949.183,46}
 \end{aligned}$$

$$= 0,0003144$$

$$= C_k \approx 3,14 \times 10^{-4}$$

C. Pembahasan

Penelitian ini dilaksanakan selama periode Januari-Februari 2026, dengan pengambilan sampel kerang bakalang dilakukan pada 6 titik lokasi yang berbeda yaitu masing-masing pengambilan satu sampel setiap titik dan proses wawancara pada masyarakat di Kelurahan Bira Kota Makassar selama 1 minggu. Pemeriksaan logam berat kadmium (Cd) dan kromium (Cr) pada sampel kerang dilakukan di Laboratorium Produktivitas dan Kualitas Perairan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrofotometry* (AAS).

Estimasi risiko kesehatan merupakan proses ilmiah untuk memperkirakan kemungkinan terjadinya dampak kesehatan pada manusia akibat paparan suatu bahaya, baik kimia, fisik, maupun biologis. Dalam penelitian kesehatan lingkungan, estimasi risiko dilakukan untuk mengetahui besarnya risiko yang diterima individu atau populasi akibat paparan kontaminan melalui media lingkungan seperti air, udara, tanah, maupun pangan. Hasil estimasi risiko memberikan gambaran apakah paparan tersebut masih berada dalam batas aman atau berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan.

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) merupakan suatu proses yang dimana untuk memperkirakan potensi risiko terhadap

kesehatan manusia. Proses ini mencakup identifikasi unsur ketidakpastian, penelusuran terhadap jalur pajanan tertentu, serta mempertimbangkan karakteristik agen berbahaya dan kelompok populasi yang menjadi target evaluasi.

Pelaksanaan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) terdiri atas 4 tahapan utama, yakni identifikasi bahaya, analisis hubungan dosis respon, penilaian pemajanan, dan karakterisasi risiko. Untuk memberikan pemahaman yang lebih utuh, pedoman teknis ini juga memuat uraian mengenai tahapan pengelolaan risiko serta komunikasi risiko sebagai bagian dari tindak lanjut hasil ARKL. Dengan demikian, pedoman ini diharapkan dapat menjadi acuan teknis yang menyeluruh, baik dalam pelaksanaan analisis maupun dalam penetapan langkah-langkah mitigasi. Sebagai langkah awal, perumusan masalah perlu dilakukan sebelum memasuki tahapan inti dalam proses ARKL.

Salah satu keterbatasan dalam penelitian ini adalah tidak dilakukannya pengambilan sampel secara berkala pada musim yang berbeda, khususnya saat musim hujan. Perubahan curah hujan yang tinggi pada musim tersebut berpotensi memengaruhi kadar logam berat di perairan melalui lampisan permukaan (*run off*) dari daratan, yang dapat membawa limbah domestik, pertanian, atau industri ke lingkungan laut. Selain itu, peningkatan volume air dan arus dapat menyebabkan pengenceran atau justru redistribusi logam berat dari sedimen ke kolom air. Oleh karena itu, hasil penelitian ini hanya merepresentasikan kondisi pada

waktu dan musim tertentu, dan belum menggambarkan dinamika kadar logam secara menyeluruh sepanjang tahun.

1. Karakteristik Masyarakat Nelayan

Penelitian ini memfokuskan pada 30 nelayan di Lantebung yang merupakan kelompok berisiko karena memiliki kebiasaan mengonsumsi kerang bakalang secara rutin. Mayoritas responden adalah laki-laki dengan karakteristik umur yang didominasi kelompok usia dewasa hingga lansia. Analisis pemajanan menunjukkan laju asupan kerang (*Intake Rate*, IR) rata-rata sebesar 170 g/hari dengan durasi pajanan (*Duration of Exposure*, D_t) yang panjang yaitu median 45 tahun. Kondisi tersebut, ditambah dengan rata-rata berat badan (W_b) responden sebesar 58,4 kg, berkontribusi terhadap peningkatan Dosis Harian rata-rata (*Average Daily Dose*, ADD), sehingga menjadi faktor penting dalam menentukan risiko kesehatan nelayan yang mengonsumsi kerang bakalang (USEPA,2005).

Karakteristik demografis responden seperti jenis kelamin dan usia memainkan peran penting dalam risiko paparan logam berat. Dalam konteks pedoman kanker, karakterisasi bahaya dan potensi risiko tidak bersifat seragam, melainkan dapat berbeda bergantung pada kondisi tertentu, seperti tingkat paparan, jalur paparan, serta tahap kehidupan individu yang terpapar. Oleh karena itu, dalam pelaksanaan analisis integratif diperlukan pendekatan yang lebih spesifik melalui proses stratifikasi agar setiap variasi kondisi dapat terakomodasi secara tepat.

Dengan mempertimbangkan kombinasi parameter pada seluruh durasi paparan yang relevan, analisis yang dilakukan mampu memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai potensi risiko kesehatan, khususnya dalam konteks evaluasi risiko karsinogenik (USEPA, 2011).

Logam berat yang terakumulasi dalam makanan laut yang layak konsumsi berpotensi menimbulkan risiko kesehatan, khususnya pada populasi dengan tingkat konsumsi hasil laut yang tinggi, seperti masyarakat nelayan. Konsumsi makanan laut yang terkontaminasi secara terus-menerus dalam jangka panjang dapat menyebabkan penumpukan logam berat di dalam tubuh manusia, sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya gangguan kesehatan kronis. Selain itu, ketidakseimbangan asupan logam esensial juga memiliki konsekuensi kesehatan, di mana asupan berlebih dapat menimbulkan efek toksik, sedangkan asupan yang kurang dapat memicu gangguan defisiensi.

Konsumsi kerang bakalang yang berpotensi mengandung logam berat seperti kadmium (Cd) dan kromium (Cr) menjadi jalur paparan utama yang relevan untuk dianalisis secara karsinogenik. Akumulasi kedua logam tersebut melalui konsumsi rutin dapat meningkatkan nilai intake dan berkontribusi terhadap besarnya *Excess Cancer Risk* (ECR), sehingga memperkuat pentingnya estimasi risiko karsinogenik untuk menilai potensi dampak kesehatan jangka panjang pada masyarakat nelayan (Immaculate J.K., 2025).

Variabel berat badan yang relatif rendah berkontribusi terhadap peningkatan dosis paparan per kilogram berat badan akibat konsumsi kerang yang dilakukan secara rutin. Evaluasi risiko karsinogenik menggunakan *excess cancer risk* (ECR) menunjukkan bahwa peningkatan paparan jangka panjang terhadap logam berat melalui konsumsi kerang berpotensi meningkatkan probabilitas risiko kanker sepanjang masa hidup. Nilai ECR yang lebih tinggi mencerminkan besarnya kemungkinan terjadinya efek karsinogenik dibandingkan batas risiko yang direkomendasikan dalam pedoman penilaian risiko kesehatan lingkungan (Singhato, *et al.*, 2025).

Paparan kronis terhadap Cd telah dikaitkan dengan kerusakan nefron ginjal, gangguan mineralisasi tulang, dan komplikasi paru, sedangkan Cr dalam spesies valensi tertentu (terutama Cr(VI)) memiliki potensi toksisitas sistemik yang lebih tinggi daripada bentuk Cr(III). Studi kontemporer di Asia menunjukkan bahwa paparan Cd melalui makanan laut dapat berdampak pada fungsi ginjal secara kumulatif dan menimbulkan ancaman kesehatan yang relevan untuk kelompok lansia yang telah terkena paparan panjang waktu (Singhato, *et al.*, 2025).

Paparan kronis terhadap Cd telah dikaitkan dengan gangguan fungsi ginjal, termasuk penurunan laju filtrasi glomerulus yang merupakan indikator awal nefrotoksitas, serta berpotensi meningkatkan risiko penyakit ginjal kronis pada populasi umum dengan paparan lingkungan yang berkepanjangan. Selain itu, bukti epidemiologis juga

menunjukkan bahwa paparan Cd berhubungan dengan penurunan kepadatan mineral tulang dan peningkatan risiko osteoporosis, terutama pada individu dengan paparan lingkungan jangka panjang atau konsentrasi tubuh yang lebih tinggi (Doccioli. C *et al.*, 2024).

a. *Excess Cancer Risk* (ECR) Karsinogenik Logam Berat Kadmium (Cd)

b. *Excess Cancer Risk* (ECR) Karsinogenik Logam Berat Kromium (Cr)

2. Konsentrasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) pada Kerang Bakalang

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa sebanyak 6 titik yang berada di Perairan Lantebung Bira Kota Makassar yang diperiksa pada pemeriksaan Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) mengandung logam berat.

Pada titik 1 diperoleh konsentrasi logam berat melalui pemeriksaan laboratorium bahwa logam berat kadmium (Cd) di titik 1 sebesar 0,2973 mg/kg, sehingga memenuhi tidak memenuhi persyaratan menurut Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) Nomor 5 Tahun 2018, yang menetapkan batas maksimum cemaran Kadmium pada kerang sebesar 0,10 mg/kg. Adapun konsentrasi logam Kromium (Cr) pada kerang bakalang di titik 1 sebesar <0,01 mg/kg. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kadar Kromium (Cr) masih berada di bawah baku mutu yang ditetapkan dalam standar *Food Adulteration (Metallic Contamination)* Hong Kong Tahun 1997 sebesar 1 mg/kg. Meskipun tidak terdapat batas khusus kromium total pada kerang, bentuk

kromium heksavalen (Cr(VI)) diketahui bersifat sangat toksik dan tidak diperbolehkan sebagai kontaminan dalam pangan.

Lokasi titik 1 menunjukkan bahwa kadar Kadmium (Cd) terdeteksi relatif tinggi dan tidak memenuhi syarat karena melebihi ambang batas yang ditetapkan, sedangkan kadar Kromium (Cr) masih berada di bawah ambang batas. Kondisi ini mengindikasikan adanya pencemaran kadmium pada perairan di sekitar titik 1 yang berpotensi memengaruhi kualitas biota, khususnya kerang sebagai organisme akumulator. Meskipun titik ini berada di sekitar kawasan hutan mangrove yang secara ekologis berfungsi sebagai penyaring alami (biofilter) karena vegetasi mangrove mampu mengakumulasi dan menjerap logam berat dari perairan maupun sedimen, tingginya kadar kadmium menunjukkan bahwa beban pencemar yang masuk ke lingkungan kemungkinan melebihi kapasitas mangrove dalam menahan dan menstabilkan logam berat.

Pada titik pengambilan sampel ke-2, diperoleh konsentrasi logam berat melalui pemeriksaan laboratorium bahwa logam berat Kadmium (Cd) sebesar 0,4111 mg/kg, sehingga memenuhi tidak memenuhi persyaratan menurut Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) Nomor 5 Tahun 2018, yang menetapkan batas maksimum cemaran Kadmium (Cd) pada kerang sebesar 0,10 mg/kg. Sementara itu, konsentrasi logam berat Kromium (Cr) yang terdeteksi dalam kerang Bakalang sebesar <0,01 mg/kg, yang berarti masih berada di bawah

batas maksimum yang diatur dalam regulasi *Food Adulteration (Metallic Contamination)* Hong Kong Tahun 1997, yaitu sebesar 1 mg/kg. Sebenarnya tidak ada batas khusus yang disebutkan untuk Cr dalam kerang, tetapi Cr (VI) dikenal sangat toksik dan dilarang sebagai kontaminan dalam makanan.

Kandungan logam berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) yang ditemukan pada titik 2 menunjukkan adanya kemungkinan risiko kontaminasi dari air tambak ke lingkungan perairan sekitarnya. Aktivitas budidaya tambak dapat menjadi sumber pencemar tidak langsung karena penggunaan berbagai bahan selama proses pemeliharaan. Pakan buatan, antibiotik, serta bahan kimia pengelolaan kualitas air berpotensi membawa residu logam berat ke perairan melalui aliran limbah tambak. Beberapa bahan yang umum digunakan dalam kegiatan tambak seperti pupuk, kapur, formalin, hidrogen peroksida, kalium permanganat, natrium bikarbonat, saponin, dan kupri sulfat dapat berkontribusi terhadap perubahan karakteristik kimia perairan serta meningkatkan mobilitas logam berat dalam sedimen dan kolom air. Limbah dari aktivitas tersebut dapat terakumulasi di sedimen dan kemudian diserap oleh organisme benthik seperti kerang yang memiliki mekanisme filter *feeder*.

Pada titik pengambilan sampel ke-3, diperoleh konsentrasi logam berat melalui pemeriksaan laboratorium bahwa logam berat Kadmium (Cd) sebesar 0,3538 mg/kg, sehingga memenuhi tidak

memenuhi persyaratan menurut Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) Nomor 5 Tahun 2018, yang menetapkan batas maksimum cemaran Kadmium (Cd) pada kerang sebesar 0,10 mg/kg. Sementara itu, konsentrasi logam berat Kromium (Cr) yang terdeteksi dalam kerang Bakalang sebesar $<0,01$ mg/kg, yang berarti masih berada di bawah batas maksimum yang diatur dalam regulasi *Food Adulteration (Metallic Contamination)* Hong Kong Tahun 1997, yaitu sebesar 1 mg/kg. Sebenarnya tidak ada batas khusus yang disebutkan untuk Cr dalam kerang, tetapi Cr (VI) dikenal sangat toksik dan dilarang sebagai kontaminan dalam makanan.

Lokasi titik 3 berada di dekat area industri yang sangat berpotensi menjadi sumber pencemaran logam berat. Kromium (Cr) merupakan logam yang banyak digunakan dalam berbagai proses industri, seperti pelapisan logam (*electroplating*), pembuatan cat, pigmen, serta bahan pelindung anti karat. Limbah industri yang tidak dikelola dengan baik dapat masuk ke perairan pesisir melalui aliran limbah cair maupun deposisi sedimen, sehingga meningkatkan risiko kontaminasi pada organisme perairan. Tingginya kadar Kadmium (Cd) yang terdeteksi pada titik ini mengindikasikan kemungkinan adanya pencemaran ganda, yaitu berasal dari aktivitas industri maupun sumber lain seperti limpasan daratan dan aktivitas pelabuhan. Hal ini menunjukkan bahwa walaupun Kromium (Cr) masih berada di bawah ambang batas, tekanan pencemaran logam berat secara keseluruhan

tetap terjadi dan dapat menyebabkan akumulasi jangka panjang pada biota. Hasil pada titik ini memberikan gambaran bahwa kawasan industri berpotensi menjadi sumber utama pencemaran logam berat, sehingga diperlukan pengawasan limbah industri, pemantauan kualitas perairan secara berkala, serta penguatan pengelolaan lingkungan untuk mencegah peningkatan akumulasi logam berat pada biota dan risiko kesehatan masyarakat.

Pada titik pengambilan sampel ke-4, diperoleh konsentrasi logam berat melalui pemeriksaan laboratorium bahwa logam berat Kadmium (Cd) sebesar 0,3300 mg/kg, sehingga memenuhi tidak memenuhi persyaratan menurut Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) Nomor 5 Tahun 2018, yang menetapkan batas maksimum cemaran Kadmium (Cd) pada kerang sebesar 0,10 mg/kg. Sementara itu, konsentrasi logam berat Kromium (Cr) yang terdeteksi dalam kerang Bakalang sebesar <0,01 mg/kg, yang berarti masih berada di bawah batas maksimum yang diatur dalam regulasi *Food Adulteration (Metallic Contamination)* Hong Kong Tahun 1997, yaitu sebesar 1 mg/kg. Sebenarnya tidak ada batas khusus yang disebutkan untuk Cr dalam kerang, tetapi Cr (VI) dikenal sangat toksik dan dilarang sebagai kontaminan dalam makanan.

Lokasi titik 4 diketahui berada di sekitar jalur lalu lintas kapal nelayan, sehingga keberadaan kromium diduga berkaitan dengan aktivitas perkapalan. Tingginya kadar Kadmium (Cd) mengindikasikan

adanya sumber pencemar tambahan selain aktivitas perkapalan, seperti limpasan daratan, aktivitas pelabuhan, atau input dari kegiatan pesisir lainnya. Kromium (Cr) dapat berasal dari penggunaan cat anti karat kapal yang mengandung pigmen kromat, seperti *zinc chromate* (ZnCrO_4), bahan aditif logam dalam pelumas, serta proses keausan mesin akibat gesekan logam. Partikel logam dari aktivitas tersebut dapat terlepas ke perairan, mengendap di sedimen, dan selanjutnya terakumulasi pada organisme bentik seperti kerang. Meskipun kadar Kromium (Cr) masih berada di bawah ambang batas, keberadaannya menunjukkan bahwa aktivitas kapal berkontribusi terhadap pencemaran logam di perairan.

Pada titik pengambilan sampel ke-5, diperoleh konsentrasi logam berat melalui pemeriksaan laboratorium bahwa logam berat Kadmium (Cd) sebesar 0,4993 mg/kg, sehingga memenuhi tidak memenuhi persyaratan menurut Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) Nomor 5 Tahun 2018, yang menetapkan batas maksimum cemaran Kadmium (Cd) pada kerang sebesar 0,10 mg/kg. Sementara itu, konsentrasi logam berat Kromium (Cr) yang terdeteksi dalam kerang Bakalang sebesar <0,01 mg/kg, yang berarti masih berada di bawah batas maksimum yang diatur dalam regulasi *Food Adulteration (Metallic Contamination)* Hong Kong Tahun 1997, yaitu sebesar 1 mg/kg. Sebenarnya tidak ada batas khusus yang disebutkan untuk Cr dalam kerang, tetapi Cr (VI) dikenal sangat toksik dan dilarang sebagai kontaminan dalam makanan.

Gafur, A., & Syam, N. (2026) mengungkapkan bahwa distribusi logam berat pada kerang darah menunjukkan variasi spasial yang signifikan, yang mengindikasikan adanya kontaminasi antropogenik bersifat lokal di titik pengambilan sampel tertentu. Akumulasi Kadmium (Cd) tertinggi ditemukan pada lokasi T4 dengan konsentrasi mencapai 0,356 mg/kg. Paparan kronis terhadap logam berat ini sangat berisiko terhadap kesehatan manusia, terutama pada gangguan fungsi ginjal di bagian tubulus proksimal. Akumulasi jangka panjang dapat memicu terjadinya proteinuria serta kerusakan ginjal progresif, sebagaimana dilaporkan dalam berbagai studi penilaian risiko kesehatan pada masyarakat pesisir yang mengonsumsi biota laut terkontaminasi.

Lokasi titik 5 berada pada kawasan dengan aktivitas pesisir yang cukup padat dan beragam seperti area industri, tambak dan jalur lintas kapal, sehingga berpotensi meningkatkan beban pencemaran logam berat di perairan. Berbagai aktivitas manusia di wilayah pesisir dapat menghasilkan limbah yang mengandung residu logam berat, baik melalui aliran permukaan, pembuangan sisa kegiatan, maupun akumulasi pada sedimen. Kombinasi berbagai sumber pencemar tersebut dapat menciptakan tekanan lingkungan yang tinggi dan berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi logam berat di biota perairan. Akumulasi Kadmium (Cd) yang tinggi pada kerang menunjukkan bahwa logam berat tersebut telah tersimpan dalam sedimen dan kolom air, kemudian terakumulasi melalui mekanisme filtrasi makanan. Kondisi ini

menandakan bahwa pencemaran yang terjadi bersifat berkelanjutan dan berpotensi menimbulkan risiko kesehatan apabila kerang dikonsumsi secara terus-menerus. Lokasi ini penting untuk dipantau karena mengindikasikan ancaman serius terhadap kesehatan lingkungan dan keamanan pangan jika kerang dari lokasi yang dikonsumsi masyarakat.

Lisna *et al.*, (2023) melaporkan temuan di Indonesia yang memperlihatkan bahwa kandungan kadmium pada kerang darah (*Anadara granosa*) yang berasal dari perairan Pesisir Timur Jambi telah melampaui batas maksimum yang ditetapkan dalam PPRI No.22 Tahun 2021. Hal ini menunjukkan adanya potensi risiko kesehatan yang serius bagi masyarakat yang mengonsumsi kerang tersebut. Temuan ini diperkuat oleh studi Shetty *et al.*, (2025), yang menjelaskan bahwa logam berat seperti kromium dan kadmium dapat terakumulasi secara biologis sepanjang rantai makanan, sehingga memberikan dampak yang serius terhadap kesehatan manusia, terutama melalui asupan produk pertanian dan hasil laut yang telah tercemar.

Pada titik pengambilan sampel ke-6, diperoleh konsentrasi logam berat melalui pemeriksaan laboratorium bahwa logam berat Kadmium (Cd) sebesar 0,3264 mg/kg, sehingga memenuhi tidak memenuhi persyaratan menurut Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) Nomor 5 Tahun 2018, yang menetapkan batas maksimum cemaran Kadmium (Cd) pada kerang sebesar 0,10 mg/kg. Sementara itu, konsentrasi logam berat Kromium (Cr) yang terdeteksi dalam kerang

Bakalang sebesar $<0,01$ mg/kg, yang berarti masih berada di bawah batas maksimum yang diatur dalam regulasi *Food Adulteration (Metallic Contamination)* Hong Kong Tahun 1997, yaitu sebesar 1 mg/kg. Sebenarnya tidak ada batas khusus yang disebutkan untuk Cr dalam kerang, tetapi Cr (VI) dikenal sangat toksik dan dilarang sebagai kontaminan dalam makanan.

Lokasi titik 6 diduga berkaitan dengan pengaruh limbah dari kawasan pemukiman padat di sekitar perairan. Limbah domestik seperti air cucian, deterjen, produk pembersih, baterai, cat rumah tangga, serta limbah elektronik skala rumah tangga dapat mengandung logam berat termasuk kadmium dan kromium. Pembuangan limbah domestik yang tidak melalui pengolahan memadai memungkinkan logam berat masuk ke badan air melalui aliran drainase, limpasan permukaan, maupun akumulasi pada sedimen. Akumulasi logam berat dari limbah pemukiman dapat bersifat bertahap namun berkelanjutan. Kadmium dapat berasal dari produk rumah tangga tertentu dan partikel limbah padat, sedangkan kromium dapat berasal dari bahan pembersih, pewarna, dan residu cat. Logam yang masuk ke perairan kemudian mengendap di sedimen dan diserap oleh organisme bentik seperti kerang melalui mekanisme filtrasi makanan, sehingga kadar dalam jaringan organisme meningkat.

Winerungan *et al.*, (2025) mengungkapkan bahwa hasil konsentrasi kromium (Cr) pada kerang teridentifikasi berada pada rentang 0,10-0,24 mg/kg dengan nilai rata-rata sebesar 0,18 mg/kg.

Temuan tersebut melampaui ambang batas aman yang direkomendasikan oleh *World Health Organization Food and Agriculture Organization* sebesar 0,1 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi kerang secara rutin dari wilayah tersebut berpotensi menimbulkan risiko kesehatan, khususnya apabila dikonsumsi dalam jumlah besar dan dalam jangka waktu yang panjang.

Korelasi yang signifikan antara aktivitas manusia di sekitar Perairan Lantebung Bira dengan variasi konsentrasi logam berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) pada kerang bakalang sangat terlihat jelas. Tingginya kadar Kadmium di titik 4, yang mencapai 0,4993 mg/kg, diyakini bersumber dari berbagai aktivitas manusia di wilayah pesisir dapat menghasilkan limbah yang mengandung residu logam berat, baik melalui aliran permukaan, pembuangan sisa kegiatan, maupun akumulasi pada sedimen. Kombinasi berbagai sumber pencemar tersebut dapat menciptakan tekanan lingkungan yang tinggi dan berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi logam berat di biota perairan. Mengingat sifatnya sebagai *filter feeder*, kerang memiliki kemampuan menyerap logam berat dari sedimen, air, dan partikel tersuspensi, sehingga organisme ini menjadi indikator yang akurat bagi kualitas lingkungan (Rainbow, 2024).

Meskipun konsentrasi kadmium di seluruh titik pengambilan sampel masih memenuhi standar keamanan yang ditetapkan oleh BPOM (2018), durasi paparan yang melampaui tahun secara akumulatif tetap

menjadi isu krusial yang memerlukan perhatian khusus. Berdasarkan studi epidemiologi, paparan logam berat yang bersifat kronis walaupun dalam dosis rendah berpotensi menimbulkan efek kumulatif yang berdampak pada kerusakan sistem saraf, gangguan fungsi ginjal, hingga peningkatan risiko kanker (Jarup.L, 2003). Oleh karena itu, kendati mayoritas nilai *Risk Quotient* (RQ) responden saat ini masih di bawah ambang batas ($RQ < 1$), langkah preventif berupa pemantauan rutin dan edukasi mengenai pola konsumsi kerang sangat penting untuk dilakukan sebagai upaya mitigasi risiko di masa depan.

2. Tingkat Paparan Harian *Intake* (I) Logam Berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr)

Intake merupakan besarnya konsentrasi agen risiko yang masuk ke dalam tubuh manusia per hari, disesuaikan dengan berat badan individu (kg). Nilai *intake* dihitung berdasarkan hasil perkalian antara konsentrasi logam berat pada kerang (C), laju asupan (R), frekuensi pajanan (fE), dan durasi pajanan (Dt), kemudian dibagi dengan berat badan (Wb) dan rata-rata waktu pajanan (T_{avg}).

Dalam penelitian ini, perhitungan nilai intake juga dilakukan untuk pajanan seumur hidup (*lifetime exposure*) sebagaimana ditetapkan oleh USEPA untuk risiko karsinogenik. Oleh karena itu, dalam perhitungan intake lifetime individu digunakan nilai Di sebesar 70 tahun

Pada logam Kadmium (Cd), nilai rata-rata (*mean*) asupan sebesar $2,51 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari (*real time*). Nilai median masing-masing

sebesar $2,27 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari (*real time*). Nilai minimum sebesar $2,84 \times 10^{-5}$ mg/kg/hari (*real time*) dan nilai maksimum sebesar $7,67 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari (*real time*). Pada logam Kromium (Cr), nilai rata-rata (*mean*) asupan sebesar $6,79 \times 10^{-3}$ mg/kg/hari (*real time*). Nilai median masing-masing sebesar $5,70 \times 10^{-3}$ mg/kg/hari (*real time*). Nilai minimum sebesar $8,69 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari (*real time*) dan sebesar $1,73 \times 10^{-3}$ mg/kg/hari (*real time*).

Kadmium merupakan salah satu logam berat yang bersifat toksik dan dapat terakumulasi dalam tubuh, terutama pada organ ginjal dan hati apabila terpapar dalam jangka waktu yang lama. Paparan kadmium pada manusia umumnya berasal dari konsumsi pangan yang terkontaminasi, termasuk biota laut seperti kerang yang memiliki sifat *filter feeder*, sehingga berpotensi mengakumulasi logam berat dari lingkungan perairan. Oleh karena itu, meskipun nilai asupan yang diperoleh relatif kecil, paparan secara terus-menerus dalam jangka panjang tetap perlu diwaspadai karena kadmium memiliki sifat bioakumulatif.

Kromium merupakan unsur logam yang secara alami terdapat di lingkungan dan dapat berasal dari aktivitas antropogenik seperti limbah industri, aktivitas pelabuhan, maupun aliran limbah domestik yang masuk ke perairan. Dalam jumlah tertentu kromium dapat bersifat esensial bagi tubuh, namun pada konsentrasi yang tinggi dapat menimbulkan efek toksik. Oleh karena itu, keberadaan kromium dalam biota laut perlu diperhatikan karena konsumsi biota laut yang tercemar secara terus-

menerus dapat meningkatkan risiko paparan bagi masyarakat yang mengonsumsinya.

Menurut Satriawan *et al.*, (2021) tercatat pada bulan Agustus 2020 dan nilai terendah pada bulan Maret 2020. Besaran ECR pada bulan Maret, Juni, dan Juli 2020 masih berada di bawah ambang batas maksimum yang ditetapkan, yaitu 1×10^{-4} (Depkes, 2012), sehingga pada periode tersebut belum menunjukkan potensi risiko terjadinya kanker. Namun demikian, hasil pengujian pada bulan Agustus 2020 menunjukkan nilai ECR melebihi 1×10^{-4} , yang mengindikasikan adanya potensi risiko karsinogenik akibat konsumsi kerang darah (*Anadara granosa*) pada periode tersebut. Oleh karena itu, pada pengambilan sampel ulang di bulan Agustus 2020 diperlukan penerapan strategi pengelolaan risiko dalam kerangka Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) secara lebih komprehensif. Langkah ini bertujuan untuk memperkirakan batas aman konsentrasi cemaran serta batas aman konsumsi, sehingga risiko terjadinya kanker dapat diminimalkan secara optimal.

Dengan demikian, meskipun nilai rata-rata asupan kedua logam masih berada dalam batas yang diperbolehkan, adanya nilai maksimum yang relatif lebih tinggi menunjukkan perlunya pengawasan berkala serta pengendalian sumber pencemaran untuk mencegah peningkatan risiko kesehatan di masa mendatang, terutama apabila konsumsi berlangsung secara terus-menerus dalam jangka panjang.

3. *Excess Cancer Risk* (ECR) Karsinogenik Logam Berat Kadmium (Cd)

Excess Cancer Risk (ECR) adalah parameter dalam analisis risiko kesehatan lingkungan yang digunakan untuk memperkirakan besarnya kemungkinan kejadian kanker pada seseorang akibat pajanan zat karsinogenik selama periode waktu tertentu, umumnya sepanjang hidup (*lifetime exposure*). ECR dihitung dengan mengalikan nilai asupan harian (intake) dengan *slope factor* (SF), yaitu faktor kemiringan yang menunjukkan potensi suatu zat dalam menimbulkan kanker.

Hasil analisis tingkat risiko karsinogenik menggunakan parameter *Excess Cancer Risk* (ECR) menunjukkan bahwa nilai risiko tertinggi dalam penelitian ini terdapat pada pajanan logam berat Kromium (Cr), yaitu sebesar $8,66 \times 10^{-3}$ pada salah satu responden nelayan, sedangkan nilai ECR tertinggi pada logam Kadmium (Cd) sebesar $2,92 \times 10^{-4}$. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa risiko karsinogenik akibat pajanan Cr secara signifikan lebih tinggi dibandingkan Cd. Secara keseluruhan, dari 30 responden nelayan di Kelurahan Bira, terdapat 1 responden dengan nilai ECR Cr yang melebihi batas aman ($ECR > 10^{-4}$), sementara responden lainnya masih berada pada kategori dapat diterima. Pada pajanan Cd, sebagian besar nilai ECR masih berada dalam batas aman, meskipun terdapat nilai yang mendekati ambang batas. Mengacu pada pedoman dari *United States Environmental Protection Agency*, nilai ECR yang melebihi 1×10^{-4} mengindikasikan

adanya peningkatan probabilitas terjadinya kanker akibat paparan kronis dalam jangka panjang.

Berdasarkan hasil perhitungan tingkat risiko karsinogenik yang dinyatakan dalam parameter *excess cancer risk* (ECR), diperoleh bahwa pada paparan logam berat Kadmium (Cd) durasi *real time*, nilai ECR tertinggi terdapat pada responden nelayan nomor 21 sebesar $2,92 \times 10^{-4}$, sedangkan nilai terendah pada responden nomor 27 sebesar $1,08 \times 10^{-5}$. Sementara itu, pada paparan logam berat Kromium (Cr), nilai ECR tertinggi ditemukan pada responden nomor 30 sebesar $8,66 \times 10^{-3}$ dan nilai terendah pada responden nomor 27 sebesar $4,35 \times 10^{-4}$. Perhitungan ECR dilakukan dengan mengalikan nilai intake dengan *slope factor* (SF) sebesar $0,38 \text{ (mg/kg/hari)}^{-1}$ sesuai pedoman dari *United States Environmental Protection Agency*. Mengacu pada batas risiko kanker yang dapat diterima yaitu $\text{ECR} \leq 10^{-4}$, maka nilai ECR pada paparan Cd menunjukkan bahwa sebagian responden masih berada dalam kategori dapat diterima, meskipun nilai tertinggi telah melampaui ambang batas.

Menurut Miyenfa *et al.*, (2023) menunjukkan tingkat risiko kesehatan karsinogenik dinyatakan menggunakan parameter *excess cancer risk* (ECR). Berdasarkan nilai rerata ECR pada setiap dusun di Kecamatan Pleret, diketahui bahwa paparan Cr (VI) berpotensi menimbulkan kasus kanker karena nilai ECR yang diperoleh melebihi batas aman 1×10^{-4} . Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai ECR

akibat paparan Cr (VI) melalui jalur ingesti di Kecamatan Pleret sebesar $1,94E-01$, yang mengindikasikan potensi terjadinya sekitar 1,9 kasus kanker per 10.000 penduduk yang terpajan. Secara berurutan, nilai ECR tertinggi hingga terendah ditemukan di Dusun Kerto Lor sebesar $2,84E-01$ dengan rerata nilai *Chronic Daily Intake* (CDI) sebesar 0,568 mg/kg/hari.

Fatmayani *et al.*, (2022) mengemukakan bahwa tingkat risiko atau RQ (Risk Quotients) adalah rasio intake dengan dosis referensi. Nilai RQ menunjukkan tingkat risiko untuk efek-efek non karsinogenik. Diketahui bahwa dari 80 responden, didapatkan tingkat risiko pada masyarakat kelurahan Bira Kota Makassar dengan nilai $RQ \leq 1$ sebanyak 7 orang (8,8%) sedangkan sebanyak 73 orang (91,3%) memiliki nilai $RQ > 1$.

4. Analisis Pemajanan

a. Laju Asupan

Laju asupan (R) adalah jumlah kerang (dalam gram) yang dikonsumsi oleh responden setiap hari. Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa masyarakat memiliki *mean* sebesar 170 g/hari, dengan nilai median 150 g/hari. Sementara itu, nilai konsumsi tertinggi sebesar 300 g/hari dan nilai terendah mencapai 50 g/hari.

Variabel ini dianggap sebagai faktor paling dominan dalam menentukan besaran nilai risiko *Slope Factor* (SF). Peningkatan laju asupan akan memperbesar potensi risiko yang muncul, khususnya

apabila dikalikan dengan lamanya pajanan, frekuensi konsumsi, serta berat badan seseorang.

Hal serupa dikemukakan oleh Sembiring (2023) mengungkapkan bahwa laju asupan kromium harian di Kecamatan Banguntapan berada pada rentang 0-4,25 mg/kg/hari dengan rata-rata sebesar 1,06 mg/kg/hari. Nilai tersebut diketahui melampaui ambang batas baku mutu yang ditetapkan, yaitu 0,023 mg/kg/hari. Selain itu, faktor-faktor yang terbukti memiliki hubungan atau korelasi signifikan dalam Analisis Risiko Kesehatan meliputi usia, berat badan, serta lama tinggal responden.

b. Frekuensi Pajanan

Frekuensi pajanan (f_E) adalah seberapa lama responden mengonsumsi kerang per hari selama setahun dengan satuan hari/tahun yang diperoleh melalui wawancara. Diketahui bahwa rata-rata (*mean*) frekuensi pajanan masyarakat nelayan di Perairan Lantebung Bira adalah 126,8 hari/tahun, nilai tengah (*median*) frekuensi konsumsi kerang oleh responden adalah sebesar 132 hari/tahun. Adapun frekuensi konsumsi terendah tercatat sebanyak 60 hari/tahun, sedangkan frekuensi tertinggi mencapai 156 hari/tahun.

Perbedaan frekuensi pajanan antar individu dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah kondisi kesehatan. Sebagian masyarakat tidak mengonsumsi kerang secara rutin setiap hari karena

adanya keluhan kesehatan seperti gatal-gatal, hipertensi, dan gangguan pernapasan.

Tingkat frekuensi konsumsi kerang akan mempengaruhi jumlah Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) yang masuk ke dalam tubuh, serta laju asupan masing-masing individu terhadap zat berisiko tersebut. Jika seseorang secara rutin mengonsumsi kerang yang mengandung kadmium (Cd) dan kromium (Cr) dari perairan Lantebung Bira Kota Makassar sepanjang tahun, maka risiko kesehatannya akan lebih tinggi dibandingkan dengan

Ghifari *et al.*, (2022) mengemukakan bahwa asumsi responden laki-laki dewasa memiliki berat badan rata-rata 60 kg. Lama pajanan diasumsikan berlangsung selama 30 tahun sebagai representasi durasi paparan, sedangkan periode 70 tahun digunakan sebagai dasar perhitungan efek karsinogenik sesuai pedoman Departemen Kesehatan Republik Indonesia (2012). Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, nilai EDI berada pada rentang 0,000026 mg/kg hingga 0,000626 mg/kg/hari.

c. Durasi Pajanan

Durasi Pajanan (D_t) merupakan lamanya waktu (tahun) kontak responden dengan Kadmium dan Kromium yang terdapat dalam kerang bakalang yang berasal dari Perairan Lantebung Bira. Diketahui bahwa rata-rata (*mean*) durasi pajanan masyarakat nelayan di

Perairan Lantebung Bira adalah 44,03333 gram/hari. Adapun durasi pajanan terendah 20 gram/hari.

Menurut Kementerian Kesehatan (2012), durasi pajanan merujuk pada lamanya waktu atau jumlah tahun seseorang terpapar suatu agen risiko. Untuk perhitungan pajanan seumur hidup, digunakan nilai durasi pajanan (D_t) selama 30 tahun untuk risiko non-karsinogenik, dan 70 tahun untuk risiko karsinogenik. Tetapi hasil wawancara pada responden di Perairan Lantebung Bira, keseluruhannya tinggal dan menetap sejak lahir serta beberapa berpindah tempat maupun pendatang.

d. Berat Badan

Berat Badan (W_b) dalam penelitian ini merupakan data yang diperoleh melalui pengukuran langsung menggunakan timbangan pada saat wawancara, dan dinyatakan dalam satuan kilogram terhadap masyarakat di Kelurahan Bira. Berat badan merupakan faktor yang penting dalam analisis risiko kesehatan dan mempengaruhi besarnya intake dan dosis internal yang diterima oleh individu. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan ditemukan bahwa berat badan rata-rata masyarakat lansia yang mengkonsumsi kerang adalah 58,4 kg, dengan berat badan tertinggi sebesar 71 kg dan terendah sebesar 44 kg.

Dalam studi Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), individu dengan berat badan lebih rendah cenderung menerima

asupan (*intake*) zat berbahaya yang lebih tinggi, karena berat badan berperan sebagai pembagi dalam perhitungan intake. Semakin besar berat badan seseorang, maka nilai intake yang dihitung akan semakin kecil. Oleh karena itu, berat badan turut memengaruhi besar kecilnya tingkat risiko, dan secara teori, individu dengan berat badan lebih besar memiliki kemungkinan yang lebih rendah untuk mengalami gangguan kesehatan akibat paparan zat berbahaya.

5. Gangguan Kesehatan

Kromium (Cr) dan Kadmium (Cd) merupakan logam berat yang banyak ditemukan di lingkungan akibat proses alami maupun aktivitas antropogenik dan keduanya berpotensi menimbulkan dampak kesehatan apabila masuk ke dalam tubuh dalam jumlah melebihi ambang batas. Kromium umumnya terdapat dalam dua bentuk valensi utama, yaitu Cr^{3+} dan Cr^{6+} . Cr^{3+} masih dibutuhkan tubuh dalam jumlah kecil untuk membantu proses metabolisme zat gizi, sedangkan Cr^{6+} bersifat toksik dan karsinogenik sehingga dapat menyebabkan gangguan pernapasan, iritasi kulit, kerusakan ginjal, serta meningkatkan risiko kanker akibat paparan kronis.

Kadmium (Cd) merupakan logam berat non-esensial yang tidak memiliki fungsi fisiologis dalam tubuh dan bersifat sangat toksik meskipun dalam konsentrasi rendah. Kadmium cenderung terakumulasi dalam jaringan tubuh, terutama ginjal dan hati, sehingga paparan jangka panjang dapat menimbulkan gangguan fungsi ginjal, kerusakan tulang,

gangguan sistem reproduksi, serta potensi efek karsinogenik. Keberadaan kedua logam ini di lingkungan sering dikaitkan dengan aktivitas industri, pertambangan, limbah pabrik, serta akumulasi dalam biota perairan yang kemudian dapat masuk ke tubuh manusia melalui rantai makanan (Tanhan, *et al.*, 2023).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi masyarakat berdasarkan gangguan kesehatan di Perairan Lantebung Bira, Kota Makassar Tahun 2026. Dari 30 responden yang diteliti gangguan kesehatan yang paling banyak dialami adalah gangguan pada kulit, yaitu sebanyak 14 orang (46,7%) dan gangguan kesehatan yang paling sedikit dialami gangguan pada ginjal sebanyak 1 orang (3,3%).

Logam berat yang dianalisis dalam penelitian ini adalah kadmium (Cd), yang tergolong sebagai logam berat non-esensial dan tidak memiliki fungsi biologis bagi tubuh manusia. Paparan kadmium dapat menimbulkan dampak toksik dengan merusak organ serta mengganggu proses pertumbuhan, perkembangan, dan sistem kekebalan tubuh. Dalam jangka panjang, akumulasi kadmium berpotensi menyebabkan kerusakan pada paru-paru, hati, ginjal, dan jaringan tulang (Ghifari *et al.*, 2022).

6. Pengelolaan Risiko

Pemantauan rutin terhadap kadar logam berat di perairan dan biota laut merupakan langkah krusial untuk mengidentifikasi tren perubahan tingkat pencemaran sekaligus mengevaluasi efektivitas

upaya mitigasi yang telah diterapkan. Kegiatan ini perlu dilaksanakan secara berkelanjutan oleh instansi yang berwenang, seperti dinas kesehatan, dinas kelautan dan perikanan, serta laboratorium lingkungan yang terakreditasi. Data hasil pemantauan tersebut berfungsi sebagai dasar ilmiah dalam peninjauan dan pembaruan pedoman penilaian risiko maupun perumusan strategi pengendalian lanjutan.

Menurut Gafur, (2021) menunjukkan bahwa proses depurasi menggunakan kulit pisang kepok (*Musa acuminata*) efektif sebagai strategi pengelolaan risiko dalam menurunkan kadar logam berat Timbal (Pb) dan Kromium (Cr) pada kerang darah (*Anadara granosa*). Pemanfaatan kulit pisang sebagai adsorben alami memungkinkan terjadinya proses pengikatan ion logam sehingga konsentrasi kontaminan dalam jaringan kerang berkurang dan potensi paparan melalui konsumsi dapat diminimalkan. Pendekatan ini merepresentasikan upaya mitigasi risiko pada tahap pascapanen yang bersifat sederhana, ekonomis, dan berkelanjutan, sekaligus mendukung peningkatan keamanan pangan serta perlindungan kesehatan masyarakat, terutama pada kelompok dengan tingkat konsumsi kerang yang tinggi.

Pendekatan kebijakan terkini juga menyoroti pentingnya integrasi antara penilaian risiko, sistem pengawasan lingkungan, dan mekanisme tanggap darurat guna meminimalkan dampak paparan bahan berbahaya, khususnya pada kelompok nelayan yang memiliki

ketergantungan tinggi terhadap sumber daya laut. OECD (2022) merekomendasikan penerapan government risk management approaches dalam pengelolaan bahan kimia, dengan pengendalian sumber pencemar sebagai strategi utama untuk menekan paparan logam berat di wilayah pesisir. Strategi ini diharapkan mampu meningkatkan kualitas perairan secara berkelanjutan serta mengurangi proses bioakumulasi logam berat dalam rantai makanan laut.

Selain upaya pengendalian di tingkat lingkungan, edukasi kepada masyarakat mengenai pola konsumsi seafood yang aman juga perlu disertai penyuluhan gizi. Informasi mengenai alternatif sumber protein dengan risiko kontaminan lebih rendah serta teknik pengolahan pangan yang dapat menurunkan bioavailabilitas logam berat menjadi bagian penting dari strategi ini. Pendekatan tersebut membantu nelayan untuk tetap memenuhi kebutuhan gizi sehari-hari tanpa meningkatkan risiko paparan logam berat.

Pengelolaan risiko konsumsi seafood sebaiknya tidak hanya berfokus pada pembatasan paparan kontaminan, tetapi juga mempertimbangkan keseimbangan antara manfaat gizi dan potensi dampak kesehatan. Produk perikanan diketahui memberikan manfaat signifikan, terutama sebagai sumber asam lemak omega-3, namun juga berpotensi menjadi jalur masuk kontaminan kimia apabila berasal dari perairan tercemar atau dikonsumsi secara berlebihan. Oleh karena itu,

rekomendasi konsumsi perlu dirumuskan secara proporsional dengan mempertimbangkan kedua aspek tersebut secara bersamaan.

Implementasi pengelolaan risiko kesehatan lingkungan yang efektif memerlukan kolaborasi lintas sektor yang terkoordinasi antara bidang kesehatan, lingkungan, perikanan, perencanaan wilayah, dan pemangku kepentingan lokal. Pendekatan ini selaras dengan konsep *Health in All Policies* (HiAP) yang dikembangkan oleh *World Health Organization*, yang menekankan bahwa perlindungan kesehatan masyarakat harus menjadi pertimbangan utama dalam setiap kebijakan publik, termasuk kebijakan pengelolaan lingkungan dan sumber daya alam. Sejalan dengan itu, *World Bank* melalui kerangka *Pollution Management and Environmental Health* menegaskan bahwa pencemaran lingkungan merupakan determinan penting kesehatan masyarakat, khususnya di wilayah pesisir dengan populasi nelayan yang bergantung pada sumber daya laut, sehingga diperlukan pengendalian sumber pencemar, penguatan tata kelola lingkungan, dan integrasi kebijakan kesehatan lingkungan untuk menurunkan beban penyakit akibat paparan kronis polutan, termasuk logam berat dalam pangan laut.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Konsentrasi logam berat Kadmium (Cd) pada jaringan kerang bakalang (*Marcia hiantina. L*) di Lantebung Bira, Kota Makassar, menunjukkan nilai tertinggi pada titik 5 sebesar 0,4993 mg/kg dan tergolong tidak memenuhi syarat (TMS), sehingga merupakan lokasi dengan tingkat akumulasi Cd tertinggi.
2. Konsentrasi logam berat Kromium (Cr) pada seluruh titik pengambilan sampel kurang dari 0,01 mg/kg dan dinyatakan memenuhi persyaratan, sehingga tidak terdapat sampel yang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan.
3. Tingkat asupan harian (*intake*) Kadmium (Cd) pada masyarakat nelayan memiliki nilai rata-rata sebesar $2,51 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari, dengan median $2,84 \times 10^{-4}$ hingga $7,67 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari, yang menunjukkan adanya variasi tingkat paparan.
4. Tingkat asupan harian (*intake*) Kromium (Cr) memiliki nilai rata-rata sebesar $6,79 \times 10^{-3}$ mg/kg/hari, dengan median $8,69 \times 10^{-4}$ hingga $1,73 \times 10^{-2}$ mg/kg/hari, yang secara umum lebih tinggi dibandingkan dengan Cd.
5. Nilai *Excess Cancer Risk* (ECR) Kadmium (Cd) berkisar antara $1,08 \times 10^{-5}$ hingga $2,92 \times 10^{-4}$. Sebagian responden masih berada dalam batas risiko yang dapat diterima ($\leq 10^{-4}$), namun terdapat nilai yang melebihi ambang batas tersebut.

6. Nilai *Excess Cancer Risk* (ECR) Kromium (Cr) berkisar antara $4,35 \times 10^{-4}$ hingga $8,66 \times 10^{-3}$ dan sebagian besar melebihi batas risiko yang dapat diterima ($\leq 10^{-4}$), sehingga mengindikasikan potensi risiko kanker dalam jangka panjang.

B. Saran

1. Bagi Pemerintah, diharapkan meningkatkan pengawasan kualitas lingkungan di Perairan Lantebung Bira melalui pemantauan logam berat secara berkelanjutan, penegakan regulasi terhadap sumber pencemar, serta penguatan pengelolaan hasil perikanan yang berorientasi pada keamanan pangan dan perlindungan kesehatan masyarakat pesisir.
2. Bagi Masyarakat Nelayan dan Konsumen, disarankan meningkatkan kewaspadaan terhadap paparan Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) dengan menerapkan pola konsumsi kerang secara bijak, menghindari konsumsi berlebihan, serta memperhatikan asal dan teknik pengolahan yang tepat guna meminimalkan risiko kesehatan.
3. Bagi Peneliti Selanjutnya, diharapkan mengembangkan penelitian yang lebih komprehensif mengenai paparan logam berat pada biota perairan, termasuk inovasi teknologi depurasi yang efektif dan penguatan pendekatan analisis risiko kesehatan lingkungan sebagai dasar pengelolaan risiko berkelanjutan

DAFTAR PUSTAKA

- 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*, 2(3), 960–973.
- Akhtar, S., Iftikhar, M., Iqbal, Z., Akhtar, T., Muneeb, A., Khan, A., Ahmad, K., Hussain, S., Bashir, S., Ali, S., Faisal, M., & Alatar, A. A. (2025). Wastewater irrigation elevates chromium uptake in cereal crops: Bioaccumulation dynamics and carcinogenic risk assessment in a semi-arid agroecosystems. *Agricultural Water Management*, 321(6), 109906. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109906>
- Alburhana, L. S., Setyati, W. A., Redjeki, S., Morfometri, P., & Kondisi, F. (2023). Hubungan Panjang Berat Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Perairan Berahan. *Jurnal of Marine Research*, 12(4), 746–753.
- Allo Venny Turu. (2024). *Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Akibat Paparan Kromium (VI) Pada Air Sumur Di Sekitar Tempat Pembungan Akhir (TPA) Tamangapa Kota Makassar*. Universitas Hasanuddin.
- Amanda Nurul Putri, Ikhtiar, & Gafur. (2021). Bioakumulasi Logam Berat Arsen dalam Kerang Darah (*Anadara Granosa*) dan Sedimen di Muara Sungai Tallo Makassar. *Window of Public Health Journal*, 2(2), 264–271. <https://doi.org/10.33096/woph.v2i2.148>
- Amin Astuti, Ardiansyah Ririn Tegeuh, Khambali, Y. A. A., Hidayat Turochman, Sri Anggraeni, R., & Saepudin, M. (2024). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan. *Eureka Media Aksara*.
- Amir andi Nurul Annisa. (2022). *Distribusi Logam Berat Kromium (Cr) Dan Tembaga (Cu) Dalam Sedimen Permukaan Di Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar*. Universitas Hasanuddin.
- Andriani Titik, Fera Agustin, Sitti Chadijah, Syarifah Rabiatal Adawiah, A. N. (2023). Analisa Logam Berat Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) yang Beredar di Pelelangan Ikan Paotere Kota Makassar. *Chimica et Natura Acta*, 6(3), 127–135.
- Aryo Dirgantara Gumanti, & Hilda Suwita Pradani. (2024). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Pestisida Pada PetaniBawang Merah. *Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 2(2), 16–18.
- Asril, F. U., Baharuddin, A., & Syam, N. (2024). Faktor Umur Berhubungan Dengan Paparan Timbal Dalam Rambut Pada Nelayan Kerang Di Galesong Utara. *Window of Public Health Journal*, 5(6), 834–842.

- Astuti Dwi Fuji, Muhammad Syukur, H. A. G. A. R. A. S. N. (2022). Ekowisata Mangrove Lantebung Di Permukiman Nelayan Kelurahan Bira Kecamatan Tamalanrea Kota Makassar. *Phinisi Integration Review*, 5(2), 433–443.
- Bagas, A., Ramadhan, P., Kurniawan, E. R., & Dewistamara, M. G. (2023). Keanekaragaman Bivalvia di Pantai Goa Petapa Bangkalan , Madura Diversity of Bivalves in Goa Petapa Beach Bangkalan , Madura. 8(1), 13–18.
- Bakhtiar Sri Muslihah. (2022). *Estimasi Adjusted Tail Value Risk Dengan Pendekatan Extreme Value Theory Pada Indeks Pasar Saham*. Universitas Hasanuddin.
- Dirjen P2PL Kemenkes. (2012). Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Kemenkes.
- Doccioli, C., Sera, F., Francavilla, A., Cupisti, A., & Biggeri, A. (2024). Association of cadmium environmental exposure with chronic kidney disease: A systematic review and meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 906, 167165.
- Dofendra, T. (2023). *Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (Arkl) Paparan Gas Karbon Monoksida (Co) Pada Pekerja Sol Sepatu Di Simpang Tugu Juang Sipin Kota Jambi Tahun 2022*.
- Farhan, A., Lauren, C. C., & Fuzain, N. A. (2023). Analisis Faktor Pencemaran Air dan Dampak Pola Konsumsi Masyarakat di Indonesia. *Jurnal Hukum Dan HAM Wara Sains*, 2(12), 1095–1103.
- Fatmayani Irma, Abd Gafur, A. (2022). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Timbal Dan Kromium Pada Masyarakat Yang Mengonsumsi Kerang Marcia Hiantina Di Perairan Selat Makassar. *Public Health Journal*, 2(6), 1831–1842.
- Fendjalang, S. N. M., & Rupilu, K. (2023). Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Sedimen di Perairan Pantai Kupa-Kupa Kabupaten Halmahera Utara. 1(1), 13–21.
- Firdaus, K. R. (2024). *Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) Paparan Karbon Monoksida (CO) Pada Petugas Keamanan di Gerbang Utama*. Universitas Jambi Kampus Mendalo.
- Ganish Eka Fadillah. (2023). Analisis Resiko Kesehatan Lingkungan Paparan Logam Berat Kromium pada Beras di Desa Lakardowo Kabupaten Mojokerto. *Environmental Pollution Journal*, 5, 871–882.
- Gafur. (2021). *Depurasi perendaman kerang darah (Anadara granosa) dengan kulit pisang kepok (Musa acuminata) terhadap efisiensi removal*

kandungan logam berat timbal (Pb) dan kromium (Cr). Universitas Hasanuddin. <https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/10593/>

Gafur, A., & Syam, N. (2026). Estimated health risk of cadmium and chromium in elderly blood cockle consumers, Lantebug. *Gema Lingkungan Kesehatan*, 24(1), 49–61. <https://doi.org/10.36568/gelinkes.v24i1.463>

Ghifari, F., Santoso, A., & Suprijanto, J. (2022). Potensi risiko kesehatan manusia akibat konsumsi *Perna viridis* yang mengandung kadmium. *Journal of Marine Research*, 11(1), 19–29.

Handrayani, Agil Al Idrus, J. (2025). Diversity of Mollusks (Gastropods and Bivalves) in The Bagek Kembar Mangrove Ecosystem Essential Area , Sekotong. *Jurnal Biologi Tropis*, 3(25), 2465–2476.

Harahap, A. A. F., Khairunnisa, K., & Novalia, V. (2022). Analisis Unsur Logam Berat Kadmium pada Kerang Darah di Pasar Tradisional Kota Lhokseumawe. *Glosains: Jurnal Sains Global Indonesia*, 3(2), 79–86. <https://doi.org/10.36418/glosains.v3i2.83>

Hardianti, D., Abd. Gafur, & Nurfardiansyah Bur. (2022). Bioakumulasi Logam Berat Pada Udang Putih, Air Dan Sedimen Di Tambak Biringkassi Kabupaten Pangkep. *Window of Public Health Journal*, 3(4), 668–679. <https://doi.org/10.33096/woph.v3i4.403>

Harmitha, Hasriwiani Habo Abbas, Abd. Gafur, Nasruddin Syam, & Mansur Sididi. (2022). Kontaminasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Assesment Neuropsikologis Pada Masyarakat Di Sekitar Sungai Tallo. *Window of Public Health Journal*, 3(3), 432–440.

Haryani Tanti. (2023). *Penyediaan Bahan Uji Profisiensi Untuk Analisis Logam Kromium (Cr) Dalam Air Mineral*. Universitas Islam Indonesia.

Hidayah, N., & Ambarwati, R. (2020). Keanekaragaman dan Kemelimpahan Bivalvia di Zona Intertidal Pantai Boom , Tuban. *LenteraBio*, 9(2007), 90–98.

Hidayati Dwi Yustika. (2021). *Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Terhadap Pekerja Yang Terpapar Nitrogen Dioksida Di Tpa Cipayung Depok (Desktop Study)*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.

Indrawan Gede Surya, I Nyoman Giri Putra, I. P. S. (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). <https://doi.org/10.24843/JBIOUNUD.2023.v27.i01.p08>

Immaculate Jeyasanta, K., & Patterson, J. (2025). Dietary intake of heavy metals from seafood and human health risk implications in Tuticorin,

- Southeast coast of India. *Marine Pollution Bulletin*, 211, 117497.
- Jarup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, 68(1), 167-182. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg032>
- Lisna, L., Ramadan, F., & Arfiana, B. M. (2023). Assessment of Heavy Metals in Blood Clams (*Anadara granosa*) in the Waters of the East Coast of Jambi, East Tanjung Jabung Regency, Jambi, Indonesia. 41(2), 537-543
- Legiarsi, K., Khairuddin, K., & Yamin, M. (2022). Analysis of Cadmium (Cd) Heavy Metal Content in Headsnake Fish (*Channa striata*) Derived from Rawa Taliwang Lake, West Sumbawa Regency 2021. *Jurnal Biologi Tropis*, 22(2), 595–601. <https://doi.org/10.29303/jbt.v22i2.3509>
- Lukmanulhakim, R. C., Baedowi, M., & Hidayati, N. V. (2023). Analisis Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) pada Matriks Air di Sungai Pelus Kabupaten Banyumas , Jawa Tengah. *Jurnal Maiya*, 2(1), 41–50.
- Mahluddin Nurgitarini , Abd. Gafur, Y. (2022). Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Kerang Hijau, Air, dan Sedimen di Sungai Tallo Makassar. *Window of Public Health Journal*, 3(1), 119–129.
- Mariadi, P. D., Kurniawan, I., Anita, T., & Ngole, B. B. R. (2022). Penggunaan Darah sebagai Biomarker Paparan Logam Cadmium Masyarakat Pesisir Sungai Musi (Efek terhadap Eritrosit dan Leukosit). *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 18(2), 208. <https://doi.org/10.31851/sainmatika.v18i2.6967>
- Maryudi, Rahayu, A., Syauqi, R., & Islami, M. K. (2021). Teknologi Pengolahan Kandungan Kromium dalam Limbah Penyamakan Kulit Menggunakan Proses Adsorpsi : Review. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 5(April), 90–99.
- Miyenfa, A., Rahardjo, D., & Krismono. (2023). Analisis risiko kesehatan kromium yang terkandung dalam beras dari area persawahan Kecamatan Pleret. *Sciscitatio*, 4(1), 39–49.
- Najihah, N., & Rachmadiarti, F. (2023). Analisis Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Tumbuhan Air di Sungai Brantas Kota Mojokerto. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 12(2), 239–247.
- Nurhanisah. (2022). *Akibat Paparan Logam Berat Pada Air Minum Isi Ulang (Amiu) Di Kecamatan Pauh Kota Padang*. Universitas Andalas.
- Nurwahdania, Khairuddin, M. Y. (2024). Analysis of Cadmium (Cd) Levels in Tilapia Fish (*Oreochromis mossambicus*) from Ponds in Palibelo. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(3), 784–790.

- Ofudin La, Yasnani, I. (2025). Identifikasi Kadar Logam Kadmium (Cd) Menggunakan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (Ssa) Pada Air. *Journal of Public Health Science (JoPHS)*, 2(2).
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). (2022). *Government risk management approaches used for chemicals management (OECD series on risk management)*. Paris: OECD Publishing.
- Oktavian, P., Anas, M., Sudiana, I. N., Safaani, J., & Agus, L. (2024). Studi Kajian Literatur : Pengaruh Keberadaan Logam Berat Terhadap Tingkat Kesuburan Tanah di Indonesia. 2(1), 20–23.
- 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. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(2), 271–278.
- Pratama, C. G. (2025). *Analysis of Chromium (Cr) Heavy Metal Content in Sediments and Mangrove Roots Avicennia marina in the Wonorejo Mangrove Ecosystem Area Surabaya*. 14(1).
- Putra Adewirli, Fitri Wiya Elsa, F. A. F. (2023). Toksisitas Logam Timbal terhadap Kesehatan Dan Lingkungan: *Jurnal Kesehatan Medika Saintika*, 14(1).
- Putri, L. R. I. D., Moelyaningrum, A. D., & Ningrum, P. T. 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). *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 21(3), 293–300.
- Rasyid Wa Ode Riaayatun Hajrah, Nurcahyani, Gunawan Ian Adi, Sartika Dewi, Y. A. (2024). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Akibat Paparan Karbon Monoksida (CO) pada Pedagang Durian di Jalanan Buburanda Kota Kendari. *Preventif Journal*, 9(1).
- Rainbow, P. S. (2024). Trace Metal Concentrations in Aquatic Invertebrates: Why and so What? *Shengtai Xuebao/ Acta Ecologica Sinica*, 28(12), 5957-5963.
- Rino, Sulaiman, Sumiaty, Baharuddin, A. P. (2022). Analisis Spasial Kualitas Air Logam Berat Timbal (Pb) Kanal Hertasning Kota Makassar Tahun 2022. *Window of Public Health Journal*, 3(3), 470–479.
- Rustiah Waode , Imran Amin, Dewi Arisanti, Sitti Normawati, Herlinda Mahdania, A. F. (2025). Penyuluhan Bahaya Logam Berat Pada Sumber Air Pegunungan Di Desa Lebang Manai Utara. *Lontara Abdimas*, 6(1).

- Sabar Adrayanti, K. K. (2024). Analisis Finansial Ekowisata Mangrove Lantebung. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 8(1), 39–47.
- Sahabuddin, Septiningsih, E., Suwoyo, H. S., Nawang, A., & A. C. (2020). Kemampuan Tanaman Hias Bunga Impatiens balsamina L. dan Mirabilis jalapa L. dalam Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Kadmium (Cd). *Jurnal Ilmu Alam Dan Lingkungan*, 11(1), 39–46.
- Saputra, A. K. (2022). *Studi Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kadmium (Cd) Pada Kerang Darah (Anadara Granosa) Di Perairan Tambak Di Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo*. Universitas Islam Negeri Sunan Ampel.
- Sasaki, T., Horiguchi, H., Matsukawa, T., Kobayashi, M., Omori, Y., & Oguma, E. (2024). A suspected case of “ itai-itai disease ” in a cadmium-polluted area in Akita prefecture , Japan. 1–7.
- 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. <https://doi.org/10.14710/jmr.v10i3.30155>
- Satriani. (2022). *Tingkat Pencemaran Logam Berat Pb Dan Cd Pada Sedimen Permukaan Daerah Tanjung Bayang Kecamatan Tamalate Kota Makassar Provinsi Sulawesi Selatan*.
- Sergeev, V., Balandinsky, D., Romanov, G., & Rukin, G. (2023). Sorption treatment of water from chromium using biochar material. *Arab Journal of Basic and Applied Sciences*, 30(1), 299–306.
- Sembiring T. B. (2023). *Analisa Risiko Kesehatan Cemarkan Kromium (Cr) Pada Beras Di Kecamatan Banguntapan Yogyakarta*. Universitas Kristen Duta Wacana
- Shetty, B. R., Pai B., J., & and Salmataj, S. A. (2025). Heavy metal contamination and its impact on the food chain: exposure, bioaccumulation, and risk assessment. *CyTA - Journal of Food*, 23(1), 2438726. <https://doi.org/10.1080/19476337.2024.2438726>
- Sholikhah, H. I., Putri, H. R., & Inayati, I. (2021). Pengaruh Konsentrasi Aktivator Asam Fosfat (H₃PO₄) pada Pembuatan Karbon Aktif dari Sabut Kelapa terhadap Adsorpsi Logam Kromium. *Equilibrium Journal of ChemicalEngineering*, <https://doi.org/https://doi.org/10.20961/equilibrium.v5i11.53572>
- Suparman Nasywa Fajriatun Nisa, E. R. (2023). Isolasi , Identifikasi , dan Uji Potensi Bakteri Laut sebagai Agen Bioremediasi Logam Berat Kromium

- (Cr). *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 10(3), 114–125.
- Singhato, A., Rueangsri, N., Thanaratsotornkun, P., & Boonyingsathit, K. (2025). *Risk assessment of toxic heavy metal exposure in selected seafood species from Thailand*. 1–20.
- Tanhan, P., Lansubsakul, N., Phaochoosak, N., Sirinupong, P., Yeesin, P., & Imsilp, K. (2023). Human health risk assessment of heavy metal concentration in seafood collected from Pattani Bay, Thailand. *Foods*, 12(12), 2356. <https://doi.org/10.3390/foods12122356>
- Tony cein penias, ernawati rika, nursanto edy. (2021). Dampak Pencemaran Logam Berat Terhadap Kualitas Air dan Strategi Untuk Mengurangi Kandungan Logam Berat. *Seminar Teknologi Kebumihan Dan Kelautan*, 3(1).
- Tumolo, M., Ancona, V., Paola, D. De, Losacco, D., Campanale, C., Massarelli, C., & Uricchio, V. F. (2020). Chromium Pollution in European Water , Sources , Health Risk , and Remediation Strategies : An Overview. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vi.
- USEPA (2002). Guidance on Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). (2011). Exposure factors handbook: 2011 edition. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). (2005). Guidelines for carcinogen risk assessment. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- Wicaksono, A., Werorilangi, S., & Tahir, A. (2021). Microplastic occurrence in Venus clam *Marcia hiantina* (Veneridae) in Tallo Estuary , Makassar, Indonesia. 14(3), 1651–1657.
- Winerungan, B. C., Maddusa, S. S., & Sondakh, R. (2025). Analisis risiko ekologis cromium (Cr) pada sedimen dan kerang di Teluk Manado. *Jurnal Kesehatan Tambusai*, 6(4), 15408–15415.
- Yanan, T., Miaomiao, H., Yunting, X., Fangda, P., Chuanlong, X., & Chunguang, D. (2025). Urine metabolomic characteristics of people exposed to hexavalent chromium in drinking water. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 302(July), 0–8.

- Yani, D. S. (2023). *Penentuan Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Mangan (Mn) Pada Sedimen Dan Plankton Pesisir Pulau Sertung Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)*. Universitas Lampung.
- Yunita Zalshabila. (2023). *Analisis Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) Dan Besi (Fe) Dalam Kerang Kepah (Polymesoda Erosa) Dan Sedimen Di Perairan Pantai Pokko Kecamatan Mappakasunggu Kabupaten Takalar*. Universitas Hasanuddin.
- Zikrina NN, Gafur A, Syam N (2025). Analisis Risiko Paparan Kadmium dan Kromium Melalui Konsumsi Kerang Bakalang pada Kelompok Lanjut Usia di Lantebung, Makassar. *Sulolipu Media Komun Sivitas Akad dan Masyarakat*. 25(2):227–38.
- Zulfikar, A. J., Siahaan, M. Y. R., Irwan, A., Nasution, F. A. K., & Ritonga, D. A. A. (2022). Analisis Kekuatan Mekanik Pipa Air dari Bahan Komposit Serbuk Kulit Kerang. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 5(2), 83–93.

Lampiran 1 : SK Pembimbing



SURAT KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT UMI
Nomor : 1840/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)

ANNISA ATUZ ZAHRA (NIM: 14120220058)

Peminatan : KESEHATAN LINGKUNGAN

Dengan susunan Tim sebagai berikut :

- | | |
|---------------------------------------|---------------|
| 1. Dr. Abd. Gafur, SKM., M.Kes | Pembimbing I |
| 2. Dr. Alfina Baharuddin, SKM., M.Kes | 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 terbatas pada tahun 2030"



Lampiran 2 : Surat Keterangan Lulus Kaji Etik (*Ethical Cleareance*)

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 : 108/A.1/KEP-UMI/III/2026

Berdasarkan Pemeriksaan Protokol dan Dokumen yang berhubungan dengan Protokol Penelitian:

Nama Peneliti : Annisa Atuz Zahra

Judul Penelitian : Estimasi Risiko Karsinogenik Kadmium (Cd) Dan Kromium (Cr) Pada Kerang Bakalang (Marcia Hiantina. L) Terhadap Masyarakat Nelayan Di Lantebung Bira Kota Makassar

No Register :
 Telah di review

U	M	I	0	1	2	5	1	2	1	0	2	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

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

No Versi :1

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 **02 Februari 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, 02 Februari 2026

Ketua Komite Etik Penelitian (KEP) UMI



Dr. H. Samsul Huda, S.KM., S.Kep, Ns.M.Kes, M.Kep

Lampiran 3 : Surat Izin Pengambilan Data Awal



PEMERINTAH KOTA MAKASSAR
DINAS KESEHATAN

Jl. Teduh Bersinar No. 1, Gunung Sari, Rappocini, Kota Makassar, Sulawesi Selatan Kode Pos 90221
 Laman dinkes.kotamakassar.web.id ; Pos-el dinkes@makassarkota.go.id

Makassar, 28 November 2025

Nomor : 000.9.2/1637/Dinkes/XI/2025
 Sifat : Biasa
 Lampiran : ---
 Perihal : Permohonan Izin Permintaan Data Awal

Yth. **Kepala Puskesmas Bira**

di-
 Makassar

Menindaklanjuti surat dari Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Muslim Indonesia dengan No Surat 0656/B.09/FKM/UMI/XI/2025 Tanggal 26 November 2025 dengan perihal diatas, maka disampaikan kepada saudara/(i)

Nama : Annisa Atuz Zahra
 NIM / Jurusan : 14120220058 / Kesehatan Masyarakat
 Pekerjaan : Mahasiswa (S1) / Universitas Muslim Indonesia
 Judul : "Estimasi Risiko Karsinogenik Cadmium (Cd) Dan Kromium (Cr) Pada Kerang Bakalang (Marcia Hiantina. L) Terhadap Masyarakat Nelayan Di Lantebung Bira Kota Makassar".

Bermaksud untuk melakukan pengambilan data awal di wilayah Puskesmas yang saudara/(i) pimpin, Demikian disampaikan atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

An. Kepala Dinas
Sekretaris Dinas,



dr. H. Ahmad Asy'Arie
 Pangkat : Pembina / IV.a
 Nip.198107312009011007

Lampiran 4 : Surat Izin Penelitian DMPTSP



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

Nomor	: 24913/S.02/PTSP/2025	Kepada Yth.
Lampiran	: -	Walikota Makassar
Perihal	: <u>Izin penelitian</u>	

di-
Tempat

Berdasarkan surat Dekan Fak. Kesehatan Masyarakat UMI Makassar Nomor : 0850/B.09/FKM-UMI/XII/2025 tanggal 22 Desember 2025 perihal tersebut diatas, mahasiswa/peneliti dibawah ini:

N a m a	: ANNISA ATUZ ZAHRA
Nomor Pokok	: 14120220058
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 :

" ESTIMASI RISIKO KARSINOGENIK KADMIUM (Cd) DAN KROMIUM (Cr) PADA KERANG BAKALANG (MARCIA HANTINA. L) TERHADAP MASYARAKAT NELAYAN DI LANTEBUNG BIRA KOTA MAKASSAR "

Yang akan dilaksanakan dari : Tgl. **24 Desember 2025 s/d 24 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 23 Desember 2025

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 5 : Surat Keterangan Penelitian



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



SURAT KETERANGAN PENELITIAN
Nomor: 070/7762/SKP/SB/DPMPSTP/T2/2025

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
- Surat Kepala Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Provinsi Sulawesi Selatan nomor 24913/S.02/PTSP/2025, Tanggal 23 Desember 2025
- Rekomendasi Teknis Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Kota Makassar nomor 7766/SKP/SB/BKBP/XII/2025

Dengan Ini Menerangkan Bahwa :

Nama : ANNISA ATUZ ZAHRA
NIM / Jurusan : 14120220058 / Kesehatan Masyarakat
Pekerjaan : Mahasiswa (S1) / Universitas Muslim Indonesia
Alamat : Jl. Urip Sumoharjo Km. 05 Makassar
Lokasi Penelitian : Terlampir-,
Waktu Penelitian : 24 Desember 2025 - 24 Maret 2026
Tujuan : Skripsi
Judul Penelitian : ESTIMASI RISIKO KARSINOGENIK KADMIUM (CD) DAN KROMIUM (CR) PADA KERANG BAKALANG (MARCIA HIANTINA. L) TERHADAP MASYARAKAT NELAYAN DI LANTEBUNG BIRA KOTA MAKASSAR

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: 24 Desember 2025



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

H. MUHAMMAD MARIO SAID, S.I.P., M.Si.

Tembusan Kepada Yth:

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

Lampiran 6 : Surat Izin Penelitian Kecamatan dan Kelurahan



PEMERINTAH KOTA MAKASSAR KECAMATAN TAMALANREA

Alamat : Jln.Perintis Kemerdekaan No.116 Kode Pos : 90245

E-mail : kecamatan.tamalanreaa@gmail.com

Makassar, 05 Desember 2026

K e p a d a

Yth. Lurah Bira

Di

Tempat

Nomor : 03/KCT/100/II/2026
Sifat : Biasa
Lampiran : -
Perihal : Izin Prapenelitian

Dengan Hormat,

Sehubungan dengan Surat Keterangan Penelitian Kepala Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Nomor: 070/7762/SKP/SB/DPMPSTP/12/2025 Tanggal 24 Desember 2025 Perihal tersebut diatas, maka bersama ini disampaikan kepada saudara (i) bahwa:

Nama : ANNISA ATUZ ZAHRA
N I M : 14120220058N / Kesehatan Masyarakat
Pekerjaan : Mahasiswa (S1)/ Universitas Muslim Indonesia
Alamat : Jl. Urip Sumoharjo Km 05 Makassar
Kegiatan : " ESTIMASI RISIKOKARSINOGENIK KADMIN (CD) DAN KROMIUM (CR) PADA KERANG BAKALANG (MARCIA NANTINA L) TERHADAP MASYARAKAT NELAYAN DI LANTEBUNG BIRA KOTA MAKASSAR "

Bermaksud mengadakan "**Penelitian**" pada Instansi / Wilayah Bapak yang akan dilaksanakan mulai 24 Desember 2025 – 24 Maret 2026. Sehubungan dengan maksud tersebut, pada prinsipnya kami menyetujui dan harap diberikan bantuan dan fasilitas seperlunya.

Demikian disampaikan kepada saudara untuk dimaklumi dan selanjutnya yang bersangkutan melaporkan hasilnya kepada Camat Tamalanrea Kota Makassar.



Diterima tanggal 07 Jan 2025.

AN. LURAH
SEKRETARIS LURAH

N. MAYANTI, SE

NIP. 1995020120012001



Dipindai dengan CamScanner

Lampiran 7 : Surat Keterangan Lulus Plagiasi



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



SURAT KETERANGAN LULUS PLAGIASI

Nomor : 1202/PL.00/FKM/UMI/RB/2025

Assalamu Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Unit Ruang Baca Fakultas Kesehatan Masyarakat dengan ini menerangkan bahwa :

Nama : ANNISA ATUZ ZAHRA

NIM : 14120220058

Judul : ESTIMASI RISIKO KARSINOGENIK KADMIUM (Cd) DAN KROMIUM (Cr)
PADA KERANG BAKALANG (MARCIA HANTINA. L) TERHADAP MASYARAKAT NELAYAN DI LANTEBUNG
BIRA KOTA MAKASSAR

Program Studi / Peminatan : Kesehatan Masyarakat / KESEHATAN LINGKUNGAN

Status : Lulus (30%)

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, 03 Maret, 2026

Operator Turnitin FKM UMI

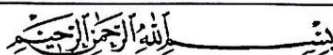
Sitti Hadijah, A.Md

Lampiran 8 : Surat Keterangan 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 : 030/A.01/LAB.KOMP-FKM-UMI/III/2026

NAMA : ANNISA ATUS ZAHRA
JENIS KELAMIN : PEREMPUAN
STAMBUK : 14120220058
PRODI : KESEHATAN MASYARAKAT
PEMINATAN : KESEHATAN LINGKUNGAN
JUDUL SKRIPSI : ESTIMASI RISIKO KARSINOGENIK KADMIUM(Cd) DAN KROMIUM (Cr) PADA KERANG BAKALANG (*MARCA HIAN TINA.L*) TERHADAP MASYARAKAT NELAYAN DI LANTEBUNG BIRA KOTA MAKASSAR

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 JAMA, S.Kep.Ns.,M.Kes

Makassar, 02 Maret 2026

Yang membuat pernyataan

Peneliti

ANNISA ATUS ZAHRA

Lampiran 9 : Kuesioner Penelitian

KUESIONER PENELITIAN ESTIMASI RISIKO KARSINOGENIK KADMIUM (Cd) DAN KROMIUM (Cr) PADA KERANG BAKALANG (MARCIA HIANTINA. L) TERHADAP MASYARAKAT NELAYAN DI LANTEBUNG BIRA KOTA MAKASSAR		
No	Identitas Lokasi/Tempat Penelitian	
1	No Kuesioner	
2	Provinsi	
3	Kecamatan	
4	Kelurahan (RT/RW)	
5	Tanggal Wawancara	
Identitas Responden		
1	Nama	
2	Umur	
3	Jenis Kelamin	☐ Laki-laki ☐ Perempuan
4	Pendidikan Terakhir	☐ SD ☐ SMP ☐ SMA/SMK
5	Berat Badan (kg)	
6	Lama Bermukim (tahun)	
Frekuensi Konsumsi Kerang Bakalang		
1	Apakah anda mengonsumsi kerang bakalang?	☐ Ya ☐ Tidak
2	Jika Ya, berapa lama anda mengonsumsi kerang bakalang (tahun)?	
Jumlah Konsumsi per Kali Makan		
1	Rata-rata berapa jumlah kerang yang Anda dikonsumsi kerang setiap kali makan?	☐ <5 biji ☐ 5-10 biji ☐ 11-20 biji ☐ >20 biji
2	Rata-rata jumlah kerang yang dikonsumsi 1 kali makan:	☐ <100 g ☐ 100-200 g ☐ >200 g
Pola Konsumsi Kerang Bakalang		
1	Apakah anda mengonsumsi kerang dalam 6 bulan terakhir?	☐ Ya

		☐ Tidak
2	Jika Ya , berapa kali dalam sebulan anda mengonsumsi kerang bakalang?	
3	Berapa kali anda mengonsumsi kerang bakalang dalam sehari?	☐ Setiap hari ☐ 2-3 kali/minggu ☐ 1 kali/minggu ☐ < 1 kali/minggu
4	Darimana biasanya anda mendapatkan kerang bakalang?	☐ Pasar tradisional ☐ Warung/rumah makan ☐ Nelayan langsung ☐ Lainnya:
Metode Pengolahan		
1	Bagaimana cara memasak kerang yang paling sering Anda konsumsi?	☐ Direbus ☐ Dibakar ☐ Digoreng ☐ Lainnya:
2	Diolah tanpa dilepas cangkangnya?	☐ Dilepas ☐ Tidak
Gangguan Kesehatan (Dalam 3 Bulan Terakhir)		
1	Apakah anda pernah didiagnosis dokter dengan masalah kesehatan?	☐ Gangguan pada Ginjal ☐ Gangguan pada Hati ☐ Gangguan pada tulang (osteoporosis/osteomalasia) ☐ Gangguan pada Kulit ☐ Tidak ada gangguan
2	Apakah anda mengalami keluhan setelah mengonsumsi kerang bakalang ?	☐ Nyeri perut / diare ☐ Mual, muntah ☐ Lemas / cepat lelah ☐ Nyeri tulang atau sendi ☐ Bengkak pada kaki atau tangan ☐ Penurunan nafsu makan ☐ Tidak ada keluhan

Lampiran 10 : Hasil Pemeriksaan Kerang Kandungan Cd dan Cr



**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: lkp_fkp_uh@gmail.com, website: http://fkp.unhas.ac.id

LAPORAN HASIL UJI

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

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

I. Data Pelanggan

Nama pelanggan : Rizma Juwita & Annisa Atuz zahra (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 : 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. S. M.K.M.
NIP 197710122001122001

Diterbitkan Tanggal :
Makassar, 20 Februari 2026



Mengetahui
Kepala Laboratorium,

Dr. H. Badraeni, 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 11 : Hasil Olah Data

Frequencies

Notes

Output Created		22-FEB-2026 08:44:21
Comments		
Input	Data	D:\DOKUMEN ANNISA ATUZ ZAHRA\ANNISA ATUZ ZAHRA\S 1 ANNISA\KUESIONER PENELITIAN.sav
	Active Dataset	DataSet1
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
	N of Rows in Working Data File	30
Missing Value Handling	Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics are based on all cases with valid data.
Syntax		FREQUENCIES VARIABLES=nk prvp kmtn klrh ttglwwca nm umr jk pddktrkhr bb lb fkk1 fkk2 jkpm1 jkpm2 pkk1 pkk2 pkk3 pkk4 mp1 mp2 gk1 gk2 /ORDER=ANALYSIS.
Resources	Processor Time	00:00:00,05
	Elapsed Time	00:00:00,19

[DataSet1] D:\DOKUMEN ANNISA ATUZ ZAHRA\ANNISA ATUZ ZAHRA\S 1
ANNISA\KUESIONER PENELITIAN.sav

Statistics

		No Kuesioner/ Responden	Provinsi	Kecamatan	Kelurahan (RT/RW)	Tanggal Wawancara	Nama
N	Valid	30	30	30	30	30	30
	Missing	0	0	0	0	0	0

Statistics

		Umur	Jenis Kelamin	Pendidikan Terakhir	Berat Badan	Lama bermukim (tahun)
N	Valid	30	30	30	30	30
	Missing	0	0	0	0	0

Statistics

		Apakah anda mengonsumsi kerang bakalang ?	Jika Ya, berapa lama anda mengonsumsi kerang bakalang (tahun)	Rata-rata berapa jumlah kerang yang Anda dikonsumsi kerang setiap kali makan?	Rata-rata jumlah kerang yang dikonsumsi 1 kali makan:	Apakah anda mengonsumsi kerang dalam 6 bulan terakhir?
N	Valid	30	30	30	30	30
	Missing	0	0	0	0	0

Statistics

		Jika Ya, berapa kali dalam sebulan anda mengonsumsi kerang bakalang?	Berapa kali anda mengonsumsi kerang bakalang dalam sehari?	Darimana biasanya Anda mendapatkan kerang bakalang?	Bagaimana cara memasak kerang yang paling sering Anda konsumsi?	Diolah tanpa dilepas cangkangnya?
N	Valid	30	30	30	30	30
	Missing	0	0	0	0	0

Statistics

		Apakah Anda pernah didiagnosis dokter dengan masalah kesehatan?	Apakah Anda mengalami keluhan setelah mengonsumsi kerang?
N	Valid	30	30
	Missing	0	0

Frequency Table**No Kuesioner/Responden**

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	1	1	3.3	3.3	3.3
	2	1	3.3	3.3	6.7
	3	1	3.3	3.3	10.0
	4	1	3.3	3.3	13.3
	5	1	3.3	3.3	16.7
	6	1	3.3	3.3	20.0
	7	1	3.3	3.3	23.3
	8	1	3.3	3.3	26.7
	9	1	3.3	3.3	30.0
	10	1	3.3	3.3	33.3
	11	1	3.3	3.3	36.7
	12	1	3.3	3.3	40.0
	13	1	3.3	3.3	43.3
	14	1	3.3	3.3	46.7

15	1	3.3	3.3	50.0
16	1	3.3	3.3	53.3
17	1	3.3	3.3	56.7
18	1	3.3	3.3	60.0
19	1	3.3	3.3	63.3
20	1	3.3	3.3	66.7
21	1	3.3	3.3	70.0
22	1	3.3	3.3	73.3
23	1	3.3	3.3	76.7
24	1	3.3	3.3	80.0
25	1	3.3	3.3	83.3
26	1	3.3	3.3	86.7
27	1	3.3	3.3	90.0
28	1	3.3	3.3	93.3
29	1	3.3	3.3	96.7
30	1	3.3	3.3	100.0
Total	30	100.0	100.0	

Provinsi

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Sulawesi Selatan	30	100.0	100.0	100.0

Kecamatan

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Tamalanrea	30	100.0	100.0	100.0

Kelurahan (RT/RW)

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Bira	30	100.0	100.0	100.0

Tanggal Wawancara

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	07-01-2026	12	40.0	40.0	40.0
	16-01-2026	18	60.0	60.0	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

		Nama			
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Abd Gaffar	1	3.3	3.3	3.3
	Abd Rahman	1	3.3	3.3	6.7
	Ahmad	1	3.3	3.3	10.0
	Ansar	1	3.3	3.3	13.3
	Arif	1	3.3	3.3	16.7
	Azis	1	3.3	3.3	20.0
	Basri M	1	3.3	3.3	23.3
	Charles	1	3.3	3.3	26.7
	Daeng Serajong	1	3.3	3.3	30.0
	Daeng Summang	1	3.3	3.3	33.3
	Hartini	1	3.3	3.3	36.7
	Ilyas	1	3.3	3.3	40.0
	Jamal	1	3.3	3.3	43.3
	Jupri	1	3.3	3.3	46.7
	Masampala	1	3.3	3.3	50.0
	Muh Asril	1	3.3	3.3	53.3
	Muhajirin	1	3.3	3.3	56.7
	Mukhtar	1	3.3	3.3	60.0
	Musaing	1	3.3	3.3	63.3
	Nasrullah	1	3.3	3.3	66.7
	Rizal	1	3.3	3.3	70.0
	Saharuddin	1	3.3	3.3	73.3
	Sainal	1	3.3	3.3	76.7
	Saka	1	3.3	3.3	80.0
	Sangkala	1	3.3	3.3	83.3
	Subhan	1	3.3	3.3	86.7
	Sudding	1	3.3	3.3	90.0
	Sudirman	1	3.3	3.3	93.3
	Syarifuddin	1	3.3	3.3	96.7
	Wawan	1	3.3	3.3	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

		Umur			
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	21-30 tahun	2	6.7	6.7	6.7
	31-40 tahun	7	23.3	23.3	30.0
	41-50 tahun	15	50.0	50.0	80.0
	51-60 tahun	4	13.3	13.3	93.3
	61-70 tahun	1	3.3	3.3	96.7
	71-80 tahun	1	3.3	3.3	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

Jenis Kelamin

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Laki-laki	29	96.7	96.7	96.7
	Perempuan	1	3.3	3.3	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

Pendidikan Terakhir

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	SD	23	76.7	76.7	76.7
	SMP	4	13.3	13.3	90.0
	SMA/SMK	3	10.0	10.0	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

Berat Badan

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	41-50 kg	2	6.7	6.7	6.7
	51-60 kg	22	73.3	73.3	80.0
	61-70 kg	6	20.0	20.0	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

Lama bermukim (tahun)

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	15-29 tahun	5	16.7	16.7	16.7
	30-44 tahun	12	40.0	40.0	56.7
	45-59 tahun	11	36.7	36.7	93.3
	60-74 tahun	2	6.7	6.7	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

Apakah anda mengonsumsi kerang bakalang?

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Ya	30	100.0	100.0	100.0

**Jika Ya, berapa lama anda mengonsumsi kerang bakalang
(tahun)**

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	12 tahun	1	3.3	3.3	3.3
	15 tahun	2	6.7	6.7	10.0
	18 tahun	1	3.3	3.3	13.3
	20 tahun	4	13.3	13.3	26.7
	22 tahun	1	3.3	3.3	30.0
	28 tahun	1	3.3	3.3	33.3
	30 tahun	3	10.0	10.0	43.3
	32 tahun	2	6.7	6.7	50.0
	35 tahun	7	23.3	23.3	73.3
	37 tahun	1	3.3	3.3	76.7
	38 tahun	2	6.7	6.7	83.3
	39 tahun	1	3.3	3.3	86.7
	40 tahun	1	3.3	3.3	90.0
	45 tahun	1	3.3	3.3	93.3
	55 tahun	2	6.7	6.7	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

**Rata-rata berapa jumlah kerang yang Anda dikonsumsi kerang
setiap kali makan?**

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	<5 biji	2	6.7	6.7	6.7
	5-10 biji	2	6.7	6.7	13.3
	11-20 biji	5	16.7	16.7	30.0
	>20 biji	21	70.0	70.0	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

Rata-rata jumlah kerang yang dikonsumsi 1 kali makan:

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	<100 g	3	10.0	10.0	10.0
	100-200 g	22	73.3	73.3	83.3
	> 200 g	5	16.7	16.7	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

Apakah anda mengonsumsi kerang dalam 6 bulan terakhir?

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Ya	30	100.0	100.0	100.0

Jika Ya, berapa kali dalam sebulan anda mengonsumsi kerang bakalang?

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	13 kali	7	23.3	23.3	23.3
	12 kali	8	26.7	26.7	50.0
	11 kali	3	10.0	10.0	60.0
	10 kali	4	13.3	13.3	73.3
	9 kali	3	10.0	10.0	83.3
	8 kali	1	3.3	3.3	86.7
	7 kali	1	3.3	3.3	90.0
	6 kali	2	6.7	6.7	96.7
	5 kali	1	3.3	3.3	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

Berapa kali anda mengonsumsi kerang bakalang dalam sehari?

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	2-3 kali/minggu	22	73.3	73.3	73.3
	1 kali/minggu	6	20.0	20.0	93.3
	< 1 kali/minggu	2	6.7	6.7	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

Darimana biasanya Anda mendapatkan kerang bakalang?

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Nelayan Langsung	30	100.0	100.0	100.0

Bagaimana cara memasak kerang yang paling sering Anda konsumsi?

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Direbus	28	93.3	93.3	93.3
	Dibakar	2	6.7	6.7	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

Diolah tanpa dilepas cangkangnya?

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Dilepas	2	6.7	6.7	6.7
	Tidak	28	93.3	93.3	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

Apakah Anda pernah didiagnosis dokter dengan masalah kesehatan?

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Gangguan pada Ginjal	1	3.3	3.3	3.3
	Gangguan Tulang (osteoporosis/osteomalasia)	4	13.3	13.3	16.7
	Gangguan pada Kulit	14	46.7	46.7	63.3
	Tidak ada gangguan	11	36.7	36.7	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

Apakah Anda mengalami keluhan setelah mengonsumsi kerang?

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Nyeri perut / diare	12	40.0	40.0	40.0
	Mual, muntah	1	3.3	3.3	43.3
	Nyeri tulang atau sendi	4	13.3	13.3	56.7
	Bengkak pada kaki atau tangan	2	6.7	6.7	63.3
	Tidak ada keluhan	11	36.7	36.7	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

Lampiran 12 : Perhitungan Intake Cd *Real Time* dan *Life Time*

REAL TIME

Titik	Resp	C(mg/gr)	R (g/hr)	Dt (th)	fE (hr/th)	Wb (kg)	tavg (hr)	C.R.fE.D t	Wb.tavg	I (mg/kg/hr)	SF(mg/kg/h)	ECR	K ECR	Pen d	Pero l	JK	Umr
1	1	0,0002973	300	28	144	57,2	25550	359,6141	1461460	2,46E-04	0,38	9,35E-05	1	1	1	1	28 th
1	2	0,0002973	150	30	120	55	25550	160,542	1405250	1,14E-04	0,38	4,34E-05	1	1	1	1	30 th
1	3	0,0002973	150	32	120	56,8	25550	171,2448	1451240	1,18E-04	0,38	4,48E-05	1	1	1	1	32 th
1	4	0,0002973	150	33	156	57,7	25550	229,5751	1474235	1,56E-04	0,38	5,92E-05	1	1	1	1	33 th
1	5	0,0002973	150	33	144	66,3	25550	211,9154	1693965	1,25E-04	0,38	4,75E-05	1	3	1	1	33 th
2	6	0,0004111	150	20	156	59	25550	192,3948	1507450	1,28E-04	0,38	4,85E-05	1	1	1	1	33 th
2	7	0,0004111	50	28	144	58,5	25550	82,87776	1494675	5,54E-05	0,38	2,11E-05	1	1	1	1	40 th
2	8	0,0004111	150	40	132	53,4	25550	325,5912	1364370	2,39E-04	0,38	9,07E-05	1	1	1	1	40 th
2	9	0,0004111	150	40	156	68,6	25550	384,7896	1752730	2,20E-04	0,38	8,34E-05	1	1	1	2	40 th
2	10	0,0004111	150	43	144	54	25550	381,8297	1379700	2,77E-04	0,38	1,05E-04	1	2	2	1	43 th
3	11	0,0003538	150	43	156	59	25550	355,9936	1507450	2,36E-04	0,38	8,97E-05	1	1	1	1	43 th
3	12	0,0003538	150	44	132	60	25550	308,2306	1533000	2,01E-04	0,38	7,64E-05	1	3	1	1	44 th
3	13	0,0003538	150	44	108	60,4	25550	252,1886	1543220	1,63E-04	0,38	6,21E-05	1	2	1	1	44 th
3	14	0,0003538	150	45	72	57,2	25550	171,9468	1461460	1,18E-04	0,38	4,47E-05	1	2	1	1	45 th
3	15	0,0003538	150	45	72	55,9	25550	171,9468	1428245	1,20E-04	0,38	4,57E-05	1	1	1	1	45 th
4	16	0,0003300	300	46	144	56,5	25550	655,776	1443575	4,54E-04	0,38	1,73E-04	1	1	1	1	46 th
4	17	0,0003300	150	48	144	71	25550	342,144	1814050	1,89E-04	0,38	1,89E-04	1	1	1	1	48 th
4	18	0,0003300	300	49	156	58,65	25550	756,756	1498508	5,05E-04	0,38	1,92E-04	1	2	1	2	49 th
4	19	0,0003300	150	49	120	60	25550	291,060	1533000	1,90E-04	0,38	1,90E-04	1	1	1	1	49 th
4	20	0,0003300	150	50	156	54,73	25550	386,1	1398352	2,76E-04	0,38	1,05E-04	1	1	1	1	50 th
5	21	0,0004993	300	50	144	55	25550	1078,488	1405250	7,67E-04	0,38	2,92E-04	1	1	1	1	50 th
5	22	0,0004993	150	50	108	44,7	25550	404,433	1142085	3,54E-04	0,38	1,35E-04	1	1	2	1	50 th
5	23	0,0004993	150	50	96	60	25550	359,496	1533000	2,35E-04	0,38	8,91E-05	1	1	1	1	50 th
5	24	0,0004993	150	50	120	67,6	25550	449,37	1727180	2,60E-04	0,38	9,89E-05	1	1	1	1	50 th
5	25	0,0004993	150	51	132	61	25550	504,1931	1558550	3,24E-04	0,38	1,23E-04	1	1	2	2	51 th

6	26	0,0003264	300	51	156	57,4	25550	779,0515	1466570	5,31E-04	0,38	2,02E-04	1	1	1	1	51 th
6	27	0,0003264	50	51	60	68,9	25550	49,9392	1760395	2,84E-05	0,38	1,08E-05	1	2	1	1	51 th
6	28	0,0003264	50	38	84	50	25550	52,0934	1277500	4,08E-05	0,38	1,55E-05	1	1	1	1	56 th
6	29	0,0003264	150	70	108	51,6	25550	370,1376	1318380	2,81E-04	0,38	1,07E-04	1	1	2	1	70 th
6	30	0,0003264	300	70	120	56,92	25550	822,5280	1454306	5,66E-04	0,38	2,15E-04	1	1	1	1	71 th
				44,033													
MEAN			170	3	126,8	58,4					2,51E-04	1,03E-04					
MEDIAN			150	45	132	57,6					2,27E-04	9,02E-05					
MIN			50	20	60	44,7					2,84E-05	1,08E-05					
MAX			300	70	156	71					7,67E-04	2,92E-04					

Keterangan :

C	: Konsetrasi agen risiko	K SF	Kriteria Tingkat Risiko	1. Berisiko	JK	Janis Kelamin	1. Laki-laki
R	: Laju asupan			2.Tidak Berisiko			2. Perempuan
Dt	: Durasi pajanan				Pend	Pendidikan	1. SD
fE	: Frekuensi pajanan						2. SMP
Wb	: Berat badan responden						3. SMA/SMK
tavg	: Periode waktu rata-rata				Peroleh	Perolehan	1. Nelayan langsung
ECR	: Dosis respon						2. Beli (Pasar tradisional)

LIFE TIME

Titik	Respon	C(mg/kg)	R (g/hr)	Dt (th)	fE (hr/th)	Wb (kg)	tavg (hr)	C.R.fE.Dt	Wb.tavg	I (mg/kg/hr)	SF (mg/kg/hr)	ECR	KECR	JK	Pend	Peroleh	Umur
1	1		300	28	144	70	25550	359,61408	1788500	2,01E-04	0,38	7,64E-05	1	1	1	1	28 th
1	2	0,0002973	150	30	120	70	25550	160,542	1788500	8,98E-05	0,38	3,41E-05	1	1	1	1	30 th
1	3	0,0002973	150	32	120	70	25550	171,2448229,5750	1788500	9,57E-05	0,38	3,64E-05	1	1	1	1	32 th
1	4	0,0002973	150	33	156	70	25550	211,91546	1788500	1,28E-04	0,38	4,88E-05	1	1	1	1	33 th
1	5	0,0002973	150	33	144	70	25550	211,91544	1788500	1,18E-04	0,38	4,50E-05	1	1	3	1	33 th
2	6	0,0004111	150	20	156	70	25550	192,3948	1788500	1,08E-04	0,38	4,09E-05	1	1	1	1	33 th
2	7	0,0004111	50	28	144	70	25550	82,87776	1788500	4,63E-05	0,38	1,76E-05	1	1	1	1	40 th
2	8	0,0004111	150	40	132	70	25550	325,5912	1788500	1,82E-04	0,38	6,92E-05	1	1	1	1	40 th
2	9	0,0004111	150	40	156	70	25550	384,7896381,8296	1788500	2,15E-04	0,38	8,18E-05	1	2	1	1	40 th
2	10	0,0004111	150	43	144	70	25550	381,82968	1788500	2,13E-04	0,38	8,11E-05	1	1	2	2	43 th
3	11	0,0003538	150	43	156	70	25550	355,99356	1788500	1,99E-04	0,38	7,56E-05	1	1	1	1	43 th
3	12	0,0003538	150	44	132	70	25550	308,23056	1788500	1,72E-04	0,38	6,55E-05	1	1	3	1	44 th
3	13	0,0003538	150	44	108	70	25550	252,18864	1788500	1,41E-04	0,38	5,36E-05	1	1	2	1	44 th
3	14	0,0003538	150	45	72	70	25550	171,9468	1788500	9,61E-05	0,38	3,65E-05	1	1	2	1	45 th
3	15	0,0003538	150	45	72	70	25550	171,9468	1788500	9,61E-05	0,38	3,65E-05	1	1	1	1	45 th
4	16	0,0003300	300	46	144	70	25550	655,776	1788500	3,67E-04	0,38	1,39E-04	1	1	1	1	46 th
4	17	0,0003300	150	48	144	70	25550	342,144	1788500	1,91E-04	0,38	1,91E-04	1	1	1	1	48 th
4	18	0,0003300	300	49	156	70	25550	756,756	1788500	4,23E-04	0,38	1,61E-04	1	2	2	1	49 th
4	19	0,0003300	150	49	120	70	25550	291,06	1788500	1,63E-04	0,38	1,63E-04	1	1	1	1	49 th
4	20	0,0003300	150	50	156	70	25550	386,1	1788500	2,16E-04	0,38	8,20E-05	1	1	1	1	50 th
5	21	0,0004993	300	50	144	70	25550	1078,488	1788500	6,03E-04	0,38	2,29E-04	1	1	1	1	50 th

Lampiran 13 : Perhitungan Intake Cr *Real Time* dan *Life Time*

REAL TIME

Titik	Resp	C (mg/gr)	R (g/hr)	Dt (th)	fE (hr/th)	Wb (kg)	tavg (hr)	C.R.fE.D t	Wb.tavg	I (mg/kg/hr)	SF (mg/kg/hr)	ECR	K ECR	J K	Pen d	Perole h	Umur
1	1	0,01	300	28	144	57,2	25550	12096	1461460	8,28E-03	0,5	4,14E-03	1	1	1	1	28 th
1	2	0,01	150	30	120	55	25550	5400	1405250	3,84E-03	0,5	1,92E-03	1	1	1	1	30 th
1	3	0,01	150	32	120	56,8	25550	5760	1451240	3,97E-03	0,5	1,98E-03	1	1	1	1	32 th
1	4	0,01	150	33	156	57,7	25550	7722	1474235	5,24E-03	0,5	2,62E-03	1	1	1	1	33 th
1	5	0,01	150	33	144	66,3	25550	7128	1693965	4,21E-03	0,5	2,10E-03	1	1	3	1	33 th
2	6	0,01	150	20	156	59	25550	4680	1507450	3,10E-03	0,5	1,55E-03	1	1	1	1	33 th
2	7	0,01	50	28	144	58,5	25550	2016	1494675	1,35E-03	0,5	6,74E-04	1	1	1	1	40 th
2	8	0,01	150	40	132	53,4	25550	7920	1364370	5,80E-03	0,5	2,90E-03	1	1	1	1	40 th
2	9	0,01	150	40	156	68,6	25550	9360	1752730	5,34E-03	0,5	2,67E-03	1	2	1	1	40 th
2	10	0,01	150	43	144	54	25550	9288	1379700	6,73E-03	0,5	3,37E-03	1	1	2	2	43 th
3	11	0,01	150	43	156	59	25550	10062	1507450	6,67E-03	0,5	3,34E-03	1	1	1	1	43 th
3	12	0,01	150	44	132	60	25550	8712	1533000	5,68E-03	0,5	2,84E-03	1	1	3	1	44 th
3	13	0,01	150	44	108	60,4	25550	7128	1543220	4,62E-03	0,5	2,31E-03	1	1	2	1	44 th
3	14	0,01	150	45	72	57,2	25550	4860	1461460	3,33E-03	0,5	1,66E-03	1	1	2	1	45 th
3	15	0,01	150	45	72	55,9	25550	4860	1428245	3,40E-03	0,5	1,70E-03	1	1	1	1	45 th
4	16	0,01	300	46	144	56,5	25550	19872	1443575	1,38E-02	0,5	6,88E-03	1	1	1	1	46 th
4	17	0,01	150	48	144	71	25550	10368	1814050	5,72E-03	0,5	5,72E-03	1	1	1	1	48 th
4	18	0,01	300	49	156	58,65	25550	22932	1498507,5	1,53E-02	0,5	7,65E-03	1	2	2	1	49 th
4	19	0,01	150	49	120	60	25550	8820	1533000	5,75E-03	0,5	5,75E-03	1	1	1	1	49 th
4	20	0,01	150	50	156	54,73	25550	11700	1398351,5	8,37E-03	0,5	4,18E-03	1	1	1	1	50 th
5	21	0,01	300	50	144	55	25550	21600	1405250	1,54E-02	0,5	7,69E-03	1	1	1	1	50 th

LIFE TIME

Titik	Resp	C (mg/gr)	R (g/hr)	Dt (th)	fE (hr/th)	Wb (kg)	tavg (hr)	C.R.fE.Dt	Wb.tavg	I (mg/kg/hr)	SF (mg/kg/hr)	ECR	K ECR	JK	Pen d	Perole h	Umur
1	1	0,01	300	28	144	70	2555 0	12096	1788500	6,76E-03	0,5	3,38E-03	1	1	1	1	28 th
1	2	0,01	150	30	120	70	2555 0	5400	1788500	3,02E-03	0,5	1,51E-03	1	1	1	1	30 th
1	3	0,01	150	32	120	70	2555 0	5760	1788500	3,22E-03	0,5	1,61E-03	1	1	1	1	32 th
1	4	0,01	150	33	156	70	2555 0	7722	1788500	4,32E-03	0,5	2,16E-03	1	1	1	1	33 th
1	5	0,01	150	33	144	70	2555 0	7128	1788500	3,99E-03	0,5	1,99E-03	1	1	3	1	33 th
2	6	0,01	150	20	156	70	2555 0	4680	1788500	2,62E-03	0,5	1,31E-03	1	1	1	1	33 th
2	7	0,01	50	28	144	70	2555 0	2016	1788500	1,13E-03	0,5	5,64E-04	1	1	1	1	40 th
2	8	0,01	150	40	132	70	2555 0	7920	1788500	4,43E-03	0,5	2,21E-03	1	1	1	1	40 th
2	9	0,01	150	40	156	70	2555 0	9360	1788500	5,23E-03	0,5	2,62E-03	1	2	1	1	40 th
2	10	0,01	150	43	144	70	2555 0	9288	1788500	5,19E-03	0,5	2,60E-03	1	1	2	2	43 th
3	11	0,01	150	43	156	70	2555 0	10062	1788500	5,63E-03	0,5	2,81E-03	1	1	1	1	43 th
3	12	0,01	150	44	132	70	2555 0	8712	1788500	4,87E-03	0,5	2,44E-03	1	1	3	1	44 th
3	13	0,01	150	44	108	70	2555 0	7128	1788500	3,99E-03	0,5	1,99E-03	1	1	2	1	44 th
3	14	0,01	150	45	72	70	2555 0	4860	1788500	2,72E-03	0,5	1,36E-03	1	1	2	1	45 th
3	15	0,01	150	45	72	70	2555 0	4860	1788500	2,72E-03	0,5	1,36E-03	1	1	1	1	45 th
4	16	0,01	300	46	144	70	2555 0	19872	1788500	1,11E-02	0,5	5,56E-03	1	1	1	1	46 th
4	17	0,01	150	48	144	70	2555 0	10368	1788500	5,80E-03	0,5	5,80E-03	1	1	1	1	48 th
4	18	0,01	300	49	156	70	2555 0	22932	1788500	1,28E-02	0,5	6,41E-03	1	2	2	1	49 th
4	19	0,01	150	49	120	70	2555 0	8820	1788500	4,93E-03	0,5	4,93E-03	1	1	1	1	49 th
4	20	0,01	150	50	156	70	2555 0	11700	1788500	6,54E-03	0,5	3,27E-03	1	1	1	1	50 th

5	21	0,01	300	50	144	70	2555 0	21600	1788500	1,21E-02	0,5	6,04E-03	1	1	1	1	50 th
5	22	0,01	150	50	108	70	2555 0	8100	1788500	4,53E-03	0,5	2,26E-03	1	1	1	2	50 th
5	23	0,01	150	50	96	70	2555 0	7200	1788500	4,03E-03	0,5	2,01E-03	1	1	1	1	50 th
5	24	0,01	150	50	120	70	2555 0	9000	1788500	5,03E-03	0,5	2,52E-03	1	1	1	1	50 th
5	25	0,01	150	51	132	70	2555 0	10098	1788500	5,65E-03	0,5	2,82E-03	1	2	1	2	51 th
6	26	0,01	300	51	156	70	2555 0	23868	1788500	1,33E-02	0,5	6,67E-03	1	1	1	1	51 th
6	27	0,01	50	51	60	70	2555 0	1530	1788500	8,55E-04	0,5	4,28E-04	1	1	2	1	51 th
6	28	0,01	50	38	84	70	2555 0	1596	1788500	8,92E-04	0,5	4,46E-04	1	1	1	1	56 th
6	29	0,01	150	70	108	70	2555 0	11340	1788500	6,34E-03	0,5	3,17E-03	1	1	1	2	70 th
6	30	0,01	300	70	120	70	2555 0	25200	1788500	1,41E-02	0,5	7,05E-03	1	1	1	1	71 th
MEAN			170	44	126,8												
MEDIAN			150	45	132												
MIN			50	20	60												
MAX			300	70	156												
										5,60E-03	2,65E-03						
										4,90E-03	2,48E-03						
										1,21E-04	4,28E-04						
										8,92E-04	7,05E-03						

Lampiran 14 : Dokumentasi Penelitian



Gambar 1. Wawancara dengan Masyarakat



Gambar 2. Wawancara dengan Masyarakat



Gambar 3. Penimbangan Berat Badan



Gambar 4. Penimbangan Berat Badan



Gambar 5. Lokasi Penelitian



Gambar 6. Penentuan Titik Lokasi Pengambilan Sampel



Gambar 7. Pengambilan Sampel Kerang



Gambar 8. Sampel Kerang Laboratorium

RIWAYAT HIDUP



A. Identitas Penulis

Nama : Annisa Atuz Zahra
Nim : 14120220058
Agama : Islam
Tempat, Tanggal Lahir : Awakaluku, 04 September 2003
Alamat : Sudiang
Email : annisatuzhra@gmail.com

B. Riwayat Hidup

1. RA Perwanida 2 Batu-Batu (2008-2010)
2. MIN 1 Soppeng (2010-2016)
3. SMPN 1 Marioriawa (2016-2019)
4. SMA 6 Soppeng (2019-2022)