

# Analisis Risiko Paparan Kadmium dan Kromium Melalui Konsumsi Kerang Bakalang pada Kelompok Lanjut Usia di Lantebung, Makassar

Nadya Nur Zikrina, Abd. Gafur\*, Nasruddin Syam

Peminatan Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Muslim Indonesia, Jln Urip Sumoharjo km 5 Makassar

\*Corresponding author: abd.gafur@umi.ac.id

Info Artikel: Diterima bulan Agustus 2025 ; Disetujui bulan Nopember 2025 ; Publikasi bulan Desember 2025

---

## ABSTRACT

*Bakalang clam is an important protein source for coastal communities; however, heavy metal contamination may pose health risks, especially to vulnerable elderly populations. This study aims to analyze the non-carcinogenic health risk resulting from cadmium (Cd) and chromium (Cr) exposure through the consumption of bakalang clams by the elderly in the Lantebung coastal area, Kelurahan Bira. Heavy metal concentration data were obtained through laboratory analysis, while consumption data and respondent characteristics were collected through direct surveys. Daily intake was calculated based on consumption frequency and duration, body weight, and averaging time. The Risk Quotient (RQ) was calculated by comparing daily intake with the reference dose (RfD). The results showed that the average concentrations of Cd and Cr in bakalang clams were 0.08 mg/kg and 1.04 mg/kg, respectively. The daily intake values for Cd and Cr were 0.00392 mg/kg/day and 0.051 mg/kg/day, respectively. The RQ values for Cd and Cr were 3.92 and 17.0, indicating a significant potential health risk. This study concludes that the consumption of bakalang clams contaminated with Cd and Cr poses a potential non-carcinogenic health risk to the elderly population in the study area.*

**Keywords:** Cadmium; chromium; bakalang clam; elderly; non-carcinogenic risk

---

## ABSTRAK

Kerang Bakalang merupakan salah satu sumber protein penting bagi masyarakat pesisir, namun kontaminasi logam berat dapat menimbulkan risiko kesehatan, terutama pada kelompok lanjut usia yang rentan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis risiko kesehatan non-karsinogenik akibat paparan logam berat kadmium (Cd) dan kromium (Cr) melalui konsumsi kerang Bakalang oleh kelompok lanjut usia di perairan Lantebung, Kelurahan Bira. Data konsentrasi logam berat diperoleh melalui analisis laboratorium, sedangkan data konsumsi dan karakteristik responden dikumpulkan melalui survei langsung. Intake harian dihitung berdasarkan frekuensi dan durasi konsumsi, berat badan, dan waktu rata-rata. Nilai Risk Quotient (RQ) dihitung dengan membandingkan intake harian dengan dosis referensi (RfD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi rata-rata Cd sebesar 0,08 mg/kg dan Cr sebesar 1,04 mg/kg dalam kerang Bakalang. Nilai intake harian Cd dan Cr masing-masing sebesar 0,00392 mg/kg/hari dan 0,051 mg/kg/hari. Nilai RQ untuk Cd sebesar 3,92 dan Cr sebesar 17,0, yang mengindikasikan potensi risiko kesehatan yang signifikan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa konsumsi kerang Bakalang yang terkontaminasi logam berat Cd dan Cr berpotensi menimbulkan risiko kesehatan non-karsinogenik bagi kelompok lanjut usia di wilayah penelitian.

**Kata kunci:** Kadmium; kromium; kerang bakalang; lansia; risiko non-karsinogenik

## PENDAHULUAN

Kontaminasi logam berat dalam organisme laut, khususnya kerang, telah menjadi isu lingkungan dan kesehatan masyarakat yang serius di berbagai kawasan pesisir dunia. Kerang sebagai organisme filter feeder sangat rentan mengakumulasi logam berat seperti kadmium (Cd) dan kromium (Cr) dari air dan sedimen, sehingga berpotensi menjadi jalur masuk pencemar ke tubuh manusia melalui konsumsi. Paparan kronik terhadap logam-logam ini, terutama pada kelompok rentan seperti lansia, dapat meningkatkan risiko gangguan kesehatan seperti kerusakan ginjal, penyakit hati, dan gangguan sistem imun (USEPA, 2012; WHO, 2010; ATSDR, 2012). Oleh karena itu, pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) menjadi penting untuk menilai sejauh mana paparan terhadap logam berat dari konsumsi kerang dapat menimbulkan dampak kesehatan. Penilaian ini mencakup estimasi paparan harian, durasi, frekuensi konsumsi, dan karakteristik individu seperti berat badan, yang selanjutnya digunakan untuk menghitung tingkat risiko non-karsinogenik.

Penerapan HERA pada kelompok lansia sangat relevan mengingat kondisi fisiologis mereka yang lebih rentan terhadap paparan toksik, serta kecenderungan konsumsi hasil laut yang tinggi di komunitas pesisir.

Laporan dari Food and Agriculture Organization (FAO) dan World Health Organization (WHO) menegaskan bahwa konsumsi pangan laut yang terkontaminasi logam berat harus dihindari, karena logam seperti Cd dan Cr bersifat toksik, persisten, dan bioakumulatif (FAO & WHO, 2024). Kedua logam ini sulit terdegradasi di lingkungan perairan dan cenderung mengendap dalam sedimen, kemudian masuk ke rantai makanan laut (IARC, 2012; USEPA, 2012). Kerang, sebagai bagian dari makanan pokok di beberapa wilayah pesisir termasuk Makassar, dapat menjadi medium utama pemaparan logam berat kepada manusia.

Di Indonesia, pencemaran logam berat pada biota laut menjadi perhatian khusus, terutama di wilayah pesisir dengan aktivitas antropogenik yang padat. Perairan Bira di Makassar adalah salah satu contoh wilayah dengan aktivitas perikanan, pelabuhan, dan domestik yang berpotensi mencemari lingkungan laut. Data dari Puskesmas Bira menunjukkan bahwa beberapa penyakit kulit, termasuk dermatitis kontak, menjadi keluhan umum, yang dapat dikaitkan dengan konsumsi makanan laut yang tercemar logam berat. Hal ini menegaskan perlunya pendekatan berbasis risiko untuk menilai dampak konsumsi kerang terhadap kesehatan masyarakat di wilayah tersebut.

Kelompok lansia di wilayah pesisir memiliki tingkat konsumsi kerang yang tinggi karena keterikatan budaya dan ekonomi. Namun, proses penuaan menyebabkan penurunan fungsi organ, metabolisme, serta daya tahan tubuh, menjadikan lansia sebagai kelompok yang sangat rentan terhadap dampak toksik logam berat. Studi epidemiologi juga menunjukkan bahwa Cd dan Cr memiliki efek akumulatif dan dapat menyebabkan gangguan kesehatan kronik pada lansia, bahkan dalam konsentrasi rendah (ATSDR, 2012; Järup, 2003).

Penelitian ini menghadirkan kebaruan dalam kajian kesehatan lingkungan dengan mengintegrasikan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) berbasis Health Environmental Risk Assessment (HERA) secara khusus pada kelompok rentan lansia yang mengonsumsi kerang bakalang (*Marcia hiantina*) tercemar logam berat kadmium (Cd) dan kromium (Cr). Berbeda dengan studi sebelumnya yang umumnya hanya mengukur konsentrasi logam berat dalam biota laut, penelitian ini secara komprehensif menghitung nilai intake dan risk quotient (RQ) non-karsinogenik berdasarkan variabel paparan nyata dari responden lansia, seperti laju konsumsi harian, frekuensi, durasi paparan, serta parameter antropometrik lokal. Selain itu, lokasi penelitian di kawasan pesisir Lantebung Bira, Makassar, merupakan wilayah yang relatif jarang dikaji dalam konteks risiko logam berat berbasis populasi rentan di Indonesia. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memperkaya basis data risiko lokal, tetapi juga memberikan kontribusi penting sebagai referensi bagi pengambilan kebijakan kesehatan lingkungan dan pengelolaan pangan laut yang aman di wilayah pesisir.

Meskipun telah banyak penelitian mengenai kontaminasi logam berat dalam makanan laut, masih terbatas studi yang secara spesifik menganalisis risiko kesehatan non-karsinogenik logam Cd dan Cr terhadap lansia di Indonesia, terutama di kawasan pesisir seperti Lantebung Bira. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi celah tersebut, dengan fokus pada penerapan metode ARKL terhadap konsumsi kerang bakalang (*Marcia hiantina*) oleh kelompok lansia di Kelurahan Bira, Kota Makassar. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan menganalisis risiko kesehatan non-karsinogenik akibat paparan logam berat kadmium (Cd) dan kromium (Cr) melalui konsumsi kerang bakalang pada kelompok lansia di kawasan pesisir Lantebung Kelurahan Bira Kota Makassar. Secara khusus, penelitian ini ingin mengestimasi tingkat intake logam berat berdasarkan data konsumsi harian, frekuensi, durasi paparan, serta parameter antropometrik responden lansia, sehingga dapat memberikan gambaran risiko kesehatan yang akurat dan kontekstual. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar rekomendasi pengelolaan pangan laut yang aman dan kebijakan perlindungan kesehatan bagi kelompok rentan di wilayah pesisir.

## **MATERI DAN METODE**

Jenis penelitian ini menggunakan metode observasional dengan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Pendekatan ARKL meliputi tahapan identifikasi bahaya, analisis paparan, analisis dosis-respon, serta evaluasi karakteristik risiko dan faktor-faktor risiko yang diukur

secara simultan untuk memprediksi besarnya risiko kesehatan akibat logam berat kromium (Cr) dan kadmium (Cd) dalam kerang bakalang yang dikonsumsi oleh masyarakat.

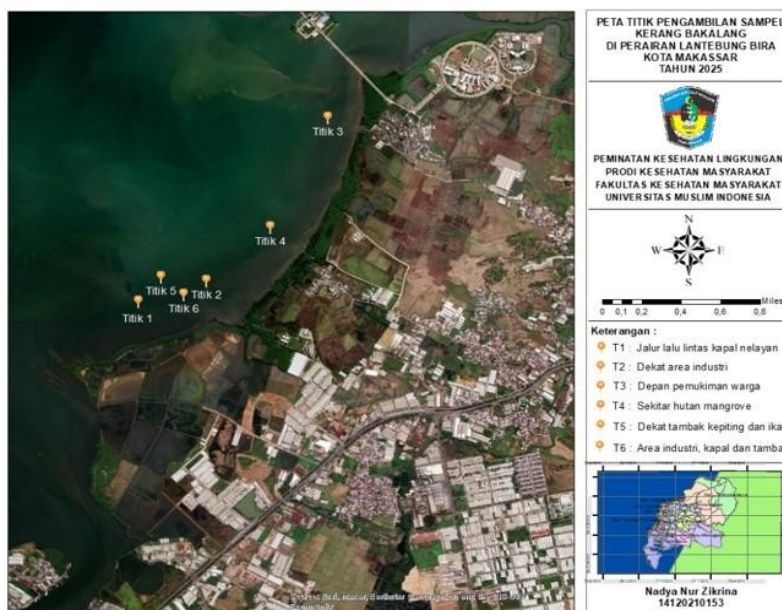
Penelitian dilakukan di Perairan Lantebung Bira, Kota Makassar, pada bulan Februari hingga April 2025. Populasi penelitian adalah seluruh masyarakat lansia yang mengonsumsi kerang bakalang di wilayah tersebut. Sampel penelitian terdiri dari 30 orang lansia yang dipilih berdasarkan kriteria tertentu dengan teknik *quota sampling*.

Jumlah sampel sebanyak 30 orang lansia dipilih berdasarkan pertimbangan keterbatasan waktu, sumber daya, serta karakteristik populasi yang spesifik, yaitu lansia yang rutin mengonsumsi kerang bakalang di wilayah penelitian. Jumlah ini juga sudah cukup untuk memperoleh gambaran awal terkait paparan logam berat dan risikojab kesehatan secara deskriptif dalam studi observasional. Teknik *quota sampling* digunakan untuk memastikan bahwa sampel yang diambil mewakili subkelompok lansia dengan kriteria tertentu, seperti usia, frekuensi konsumsi kerang, dan kondisi kesehatan, sehingga hasil penelitian dapat merefleksikan karakteristik risiko pada kelompok sasaran secara lebih akurat.

Pengambilan sampel kerang bakalang dilakukan pada 6 titik lokasi berbeda menggunakan metode *judgmental sampling*, yaitu teknik pemilihan lokasi berdasarkan penilaian profesional terhadap area yang berpotensi terkontaminasi (USEPA, 2024). Selanjutnya, sampel kerang tersebut diperiksa di Laboratorium Pengujian Balai Penerapan dan Pengembangan Modernisasi Pertanian Sulawesi Selatan, Badan Perakitan dan Modernisasi Pertanian Kementerian Pertanian, menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) untuk mengukur kadar logam berat Cr dan Cd. Data hasil pengukuran lapangan dan hasil uji laboratorium kemudian diolah menggunakan perangkat lunak SPSS dan Microsoft Excel. Analisis dilakukan secara deskriptif untuk menggambarkan karakteristik masing-masing variabel yang diteliti.

## HASIL

Kelurahan Bira berada di pesisir barat daya Kota Makassar tepatnya di Kecamatan Tamalate dengan koordinat geografis 5°05'14.00" LS dan 119°28'52.20" BT. Wilayah ini berbatasan langsung dengan laut Flores di sebelah barat dan merupakan bagian dari ekosistem pesisir yang kaya. Topografi daerah ini relative datar dengan kontur wilayah yang memungkinkan aktifitas pesisir seperti penangkapan ikan, pengumpul kerang dan kepiting serta budidaya rumput laut. Batas administratif, Kelurahan Bira berbatasan dengan Kelurahan Untia di sebelah utara, Kelurahan Parangloe di sebelah Selatan, Kelurahan Bulurokeng di sebelah timur dan Selat Makassar di sebelah barat.



**Gambar 1.** Lokasi Titik Pengambilan Sampel

### Karakteristik Masyarakat Umur Masyarakat

**Tabel 1.** Distribusi Masyarakat Lansia berdasarkan Kelompok Umur di Perairan Lantebung Bira Tahun 2025

| Kelompok Umur | n         | %            |
|---------------|-----------|--------------|
| 60-65         | 3         | 10.0         |
| 66-70         | 14        | 46.7         |
| 71-75         | 10        | 33.3         |
| 76-80         | 3         | 10.0         |
| Total         | <b>30</b> | <b>100.0</b> |

Sumber : Data Primer

Tabel 1 menunjukkan bahwa dari 30 responden lansia, kelompok umur 66-70 tahun merupakan yang terbanyak yaitu sebanyak 14 orang (46,7%), sedangkan kelompok umur 60-65 dan 76-80 tahun memiliki jumlah terendah, masing-masing sebanyak 3 orang (10,0%).

### Jenis Kelamin

**Tabel 2.** Distribusi Masyarakat Lansia berdasarkan Jenis Kelamin di Perairan Lantebung Bira Tahun 2025

| Jenis Kelamin | n         | %            |
|---------------|-----------|--------------|
| Laki-Laki     | 24        | 80.0         |
| Perempuan     | 6         | 20.0         |
| Total         | <b>30</b> | <b>100.0</b> |

Sumber : Data Primer

Tabel 2 memperlihatkan bahwa mayoritas responden lansia adalah laki-laki sebanyak 24 orang (80,0%), sementara perempuan berjumlah 6 orang (20,0%).

### Pendidikan Terakhir

**Tabel 3.** Distribusi Masyarakat Lansia berdasarkan Pendidikan Terakhir di Perairan Lantebung Bira Tahun 2025

| Pendidikan Terakhir | n         | %            |
|---------------------|-----------|--------------|
| Tamat SD            | 15        | 50.0         |
| Tamat SMP           | 7         | 23.3         |
| Tamat SMA           | 4         | 13.3         |
| Tidak sekolah       | 4         | 13.3         |
| <b>Total</b>        | <b>30</b> | <b>100.0</b> |

Sumber : Data Primer

Berdasarkan Tabel 3, pendidikan terakhir terbanyak adalah tamat Sekolah Dasar (SD) sebanyak 15 orang (50,0%). Sedangkan jumlah terendah ditempati oleh kelompok yang tidak sekolah dan tamat SMA, masing-masing 4 orang (13,3%).

### Konsentrasi Logam Berat pada Kerang Bakalang

**Tabel 4.** Konsentrasi Logam Berat Cd dan Cr pada Kerang Bakalang (*Marcia Hiantina*) di Perairan Lantebung Bira Tahun 2025

| Titik Pengambilan Sampel | Kadmium (Cd) | Ket | Kromium (Cr) | Ket |
|--------------------------|--------------|-----|--------------|-----|
| Titik 1                  | Tt           | MS  | 0.61         | MS  |
| Titik 2                  | 0.07         | MS  | 0.92         | MS  |
| Titik 3                  | 0.10         | MS  | 0.69         | MS  |
| Titik 4                  | 0.09         | MS  | 0.79         | MS  |
| Titik 5                  | 0.07         | MS  | 0.82         | MS  |
| Titik 6                  | 0.07         | MS  | 3.53         | TMS |

Sumber : Data Primer

Keterangan:

MS = Memenuhi Syarat

TMS = Tidak Memenuhi Syarat

Tt = Tidak terdeteksi

Tabel 4 menunjukkan bahwa dari 6 titik pengambilan sampel kerang bakalang, logam berat kadmium (Cd) terdeteksi pada 5 titik dengan konsentrasi di bawah batas maksimum yang ditetapkan BPOM No. 5 Tahun 2018 yaitu 0,10 mg/kg, sedangkan pada titik ke-6 tidak terdeteksi adanya kadmium. Untuk kromium (Cr), semua titik pengambilan sampel terdeteksi mengandung logam berat tersebut, dengan konsentrasi tertinggi di Titik 6 sebesar 3,53 mg/kg yang melebihi batas aman menurut *Food Adulteration (Metallic Contamination)* Hong Kong Tahun 1997 yaitu 1 mg/kg.

### **Laju Asupan (Rate)**

Laju asupan (R) adalah jumlah berat kerang yang dikonsumsi responden per hari (gram/hari), diperoleh melalui wawancara. Rata-rata laju asupan masyarakat lansia di Perairan Lantebung Bira adalah 110,83 gram/hari dengan median 100 gram/hari. Laju asupan terendah dan tertinggi masing-masing adalah 60 gram/hari dan 200 gram/hari.

### **Frekuensi Paparan (fE)**

Frekuensi paparan (fE) adalah frekuensi konsumsi kerang per tahun (hari/tahun), yang juga diperoleh dari wawancara. Rata-rata frekuensi konsumsi lansia adalah 95,2 hari/tahun dengan median 90 hari/tahun. Frekuensi terendah dan tertinggi masing-masing 48 hari/tahun dan 144 hari/tahun.

### **Durasi Paparan (Dt)**

Durasi paparan (Dt) adalah lamanya waktu (tahun) kontak responden dengan sumber risiko di tempat tinggal, diperoleh dari wawancara. Rata-rata durasi paparan adalah 47,07 tahun dengan median 47 tahun, rentang terendah 40 tahun dan tertinggi 57 tahun.

### **Berat Badan (Wb)**

Berat badan diukur menggunakan timbangan pada saat wawancara. Rata-rata berat badan masyarakat lansia adalah 62,96 kg dengan median 66 kg, rentang antara 46 kg sampai 57 kg.

### **Periode Waktu Rata-Rata (Tavg)**

Periode waktu rata-rata yang digunakan untuk estimasi risiko non-karsinogenik adalah 10.950 hari (30 tahun), sesuai ketentuan default EPA. Nilai default ini merupakan nilai baku konservatif yang digunakan untuk parameter paparan ketika data spesifik lokal tidak tersedia.

### **Laju Asupan (Rate)**

Laju asupan (R) adalah jumlah berat kerang yang dikonsumsi responden per hari dengan satuan gram/hari yang diperoleh melalui wawancara. Diketahui bahwa rata-rata (*mean*) laju asupan masyarakat lansia di Perairan Lantebung Bira adalah 110,83 gr/hari, nilai tengah (*median*) yaitu 100 gr/hari. Adapun laju asupan terendah 60 gr/hari dan laju asupan tertinggi 200 gr/hari.

### **Frekuensi Paparan (fE)**

Frekuensi Paparan (fE) adalah keseringan responden mengkonsumsi kerang per hari selama setahun dengan satuan hari/tahun yang diperoleh melalui wawancara. Diketahui bahwa rata-rata (*mean*) laju asupan masyarakat lansia di Perairan Lantebung Bira adalah 95,2 hari/tahun, nilai tengah (*median*) yaitu 90 hari/tahun. Adapun frekuensi paparan terendah 48 hari/tahun dan frekuensi paparan tertinggi 144 hari/tahun.

### **Durasi Paparan (Di)**

Durasi Paparan (Di) adalah lamanya waktu (tahun) kontak responden dengan paparan (*risk agent*) di tempat tinggal dengan satuan tahun yang diperoleh melalui wawancara. Diketahui bahwa rata-rata

(*mean*) durasi pajanan masyarakat lansia di Perairan Lantebung Bira adalah 47,07 gr/hari, nilai tengah (*median*) yaitu 47 gr/hari. Adapun durasi pajanan terendah 40 gr/hari dan durasi pajanan tertinggi 57 gr/hari.

#### Berat Badan ( $W_b$ )

Berat Badan ( $W_b$ ) adalah berat badan masyarakat di Perairan Bira yang diukur dengan menggunakan timbangan berat badan pada saat dilakukan wawancara (dalam satuan kilogram). Diketahui bahwa rata-rata (*mean*) berat badan masyarakat lansia di Perairan Lantebung Bira adalah 62,96 kg, nilai tengah (*median*) yaitu 66 kg. Adapun durasi pajanan terendah 46 kg dan durasi pajanan tertinggi 57 kg.

#### Periode Waktu Rata-Rata ( $T_{avg}$ )

Periode Waktu Rata-Rata ( $T_{avg}$ ) merupakan waktu rata-rata yang dibutuhkan hingga timbulnya gangguan kesehatan pada periode waktu rata-rata yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan ketentuan *default* EPA yaitu 10.950 hari/tahun untuk *non karsinogenik*.

Setelah parameter pajanan diketahui, perhitungan dosis paparan logam berat dilakukan menggunakan rumus Intake. Rumus ini menggambarkan jumlah logam berat yang masuk ke dalam tubuh per satuan berat badan per hari, yang menjadi dasar dalam penilaian risiko kesehatan masyarakat. Dalam analisis risiko kesehatan lingkungan, keterpajanan logam berat dihitung menggunakan dosis harian rata-rata (*Average Daily Dose/ADD*) atau *Intake*, dengan rumus sebagai berikut:

$$Intake = \frac{C \times R \times f_E \times D_t}{W_b \times T_{avg}}$$

Keterangan:

**C** = Konsentrasi logam dalam media (mg/kg)

**R** = Laju asupan (gram/hari)

**f<sub>E</sub>** = Frekuensi pajanan (hari/tahun)

**D<sub>t</sub>** = Durasi pajanan (tahun)

**W<sub>b</sub>** = Berat badan (kg)

**T<sub>avg</sub>** = Periode waktu rata-rata (hari), sesuai default EPA:

- 10.950 hari (30 tahun) : untuk non-karsinogenik
- 25.550 hari (70 tahun) : untuk karsinogenik

#### Intake

**Tabel 5.** Distribusi Nilai *Intake Non Karsinogenik* Masyarakat Lansia yang Mengonsumsi Kerang Bakalang di Perairan Lantebung Bira Tahun 2025

| <i>Intake</i> (mg/kg/hari) | <u>Kad</u>       | <u>m (Cd)</u>    | <u>Kromiu</u>    | <u>m (Cr)</u>    |
|----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                            | <u>miu</u>       |                  | <i>Real Time</i> |                  |
|                            | <i>Real Time</i> | <i>Life Time</i> |                  | <i>Life Time</i> |
| Mean                       | 0.000042         | 0,000028         | 0,00085          | 0,00055          |
| Median                     | 0.000046         | 0,000028         | 0,00053          | 0,00037          |
| Minimum                    | 0                | 0                | 0,00018          | 0,00012          |
| Maksimum                   | 0.000102         | 0,000062         | 0,00302          | 0,00020          |

Sumber : Data Primer

Hasil Tabel 5 menunjukkan bahwa intake harian kadmium yang masuk ke tubuh lansia dari konsumsi kerang bakalang berada pada kisaran 0 sampai 0,000102 mg/kg/hari untuk data real time, dan intake kromium berkisar antara 0,00018 sampai 0,00302 mg/kg/hari.



### Karakteristik Risiko

**Tabel 6.** Distribusi Nilai Risiko (RQ) *Non Karsinogenik* Masyarakat Lansia yang Mengonsumsi Kerang Bakalang di Perairan Lantebung Bira Tahun 2025

| RQ (mg/kg/hari) | <u>Kad</u>                     | <u>m (Cd)</u>    | <u>Kromiu</u>    | <u>m (Cr)</u>    |
|-----------------|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|
|                 | <u>miu</u><br><i>Real Time</i> | <i>Life Time</i> | <i>Real Time</i> | <i>Life Time</i> |
| Mean            | 0,08595                        | 0,05503          | 0,28489          | 0,18602          |
| Median          | 0,09335                        | 0,05698          | 0,17851          | 0,12371          |
| Minimum         | 0                              | 0                | 0,06212          | 0,04051          |
| Maksimum        | 0,20505                        | 0,12554          | 1,00917          | 0,67278          |

Sumber : Data Primer

Nilai RQ (Risk Quotient) menunjukkan bahwa sebagian besar masyarakat lansia memiliki risiko non-karsinogenik akibat konsumsi kerang bakalang di bawah ambang batas risiko ( $RQ < 1$ ). Namun, terdapat satu individu yang memiliki nilai RQ kromium real time sebesar 1,00917, yang berarti berpotensi mengalami risiko kesehatan akibat paparan kromium dari konsumsi kerang tersebut. Sisanya sebanyak 29 responden lainnya berada dalam kategori aman dengan nilai  $RQ < 1$ .

### PEMBAHASAN

Konsentrasi logam berat kadmium (Cd) dan kromium (Cr) pada kerang bakalang dari berbagai titik pengambilan sampel di Perairan Lantebung Bira, Kota Makassar, menunjukkan variasi yang signifikan. Pada titik 1, hasil pemeriksaan laboratorium menunjukkan bahwa kadmium tidak terdeteksi, sehingga memenuhi persyaratan Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) Nomor 5 Tahun 2018, yang menetapkan batas maksimum kadmium pada kerang sebesar 0,10 mg/kg (BPOM, 2018). Konsentrasi kromium di titik ini sebesar 0,61 mg/kg, masih di bawah baku mutu Food Adulteration (*Metallic Contamination*) Hong Kong Tahun 1997 sebesar 1 mg/kg (Food Adulteration Hong Kong, 1997). Lokasi ini berada di jalur lalu lintas kapal nelayan, sehingga kemungkinan kontaminasi kromium berasal dari cat anti karat kapal atau pelumas yang mengandung logam berat. Selain itu, nilai pH di titik ini adalah 6,49, yang tergolong asam dan dapat meningkatkan kelarutan serta penyerapan logam berat oleh kerang.

Pada titik 2, terdeteksi kadar kadmium sebesar 0,07 mg/kg dan kromium sebesar 0,92 mg/kg, yang keduanya masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan oleh BPOM (2018) dan Food Adulteration Hong Kong (1997). Titik pengambilan sampel ini berada di sekitar kawasan industri, yang diduga menjadi sumber utama kontaminasi logam berat, khususnya kromium yang umum digunakan dalam proses pelapisan logam dan produksi cat. Meskipun kandungan kadmium masih dalam batas aman, keberadaannya tetap mengindikasikan potensi pencemaran ganda, sehingga lokasi ini memerlukan pemantauan lebih lanjut untuk menilai risiko akumulatif terhadap lingkungan dan kesehatan.

Studi oleh Jabeen et al. (2020) menunjukkan bahwa penggunaan air limbah sebagai sumber irigasi di sekitar kawasan aktivitas manusia, termasuk industri, secara signifikan meningkatkan akumulasi logam berat dalam tanah dan tanaman, sehingga berpotensi menimbulkan risiko kesehatan jika dikonsumsi dalam jangka panjang (Jabeen et al., 2021). Selain itu, laporan WHO (2011) menekankan bahwa paparan jangka panjang terhadap logam berat, bahkan dalam kadar rendah, dapat menyebabkan efek toksik kronis seperti gangguan ginjal, kerusakan sistem saraf, dan peningkatan risiko karsinogenik (WHO, 2017). Studi oleh Antoniadis et al. (2017) di wilayah urban Eropa juga mengungkap bahwa kandungan logam berat di tanah yang berdekatan dengan zona industri berkorelasi erat dengan peningkatan bioakumulasi dalam tanaman pangan (Antoniadis et al., 2017). Temuan serupa dilaporkan oleh Lisna et al. (2023) di Indonesia, yang menunjukkan bahwa kadar kadmium dalam kerang darah (*Anadara granosa*) di perairan pesisir timur Jambi telah melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh PPRI No. 22 Tahun 2021, sehingga mengindikasikan potensi risiko serius bagi kesehatan konsumen lokal (Lisna et al., 2023). Bukti-bukti tersebut sejalan dengan hasil kajian Shetty et al. (2024), yang menegaskan bahwa logam berat seperti kromium dan kadmium dapat mengalami bioakumulasi di sepanjang rantai makanan, sehingga menimbulkan dampak signifikan terhadap kesehatan manusia, terutama melalui konsumsi produk pertanian dan laut yang terkontaminasi (Shetty

et al., 2025).

Titik 3 menunjukkan kadar kadmium sebesar 0,10 mg/kg, yang menyentuh batas maksimum baku mutu (BPOM, 2018), serta kadar kromium sebesar 0,69 mg/kg, masih di bawah ambang baku mutu (Food Adulteration Hong Kong, 1997). Titik ini terletak di sekitar permukiman warga, yang mengindikasikan limbah domestik seperti baterai bekas dan produk rumah tangga lainnya dapat berkontribusi terhadap pencemaran kadmium.

Titik 3 menunjukkan kadar kadmium sebesar 0,10 mg/kg, yang berada pada ambang batas maksimum yang ditetapkan oleh BPOM (2018), serta kadar kromium sebesar 0,69 mg/kg, yang masih berada di bawah nilai ambang batas menurut standar Food Adulteration Hong Kong (1997). Lokasi ini berada di sekitar kawasan permukiman penduduk, sehingga pencemaran kadmium kemungkinan besar berasal dari limbah domestik, seperti baterai bekas, peralatan elektronik, serta produk rumah tangga lainnya yang mengandung logam berat dan dibuang tanpa pengelolaan yang tepat.

Kondisi serupa juga dilaporkan di wilayah urban dengan latar belakang geokimia tinggi, di mana kombinasi antara faktor lingkungan alami dan aktivitas manusia memperburuk kontaminasi logam berat. Studi oleh Chen et al. (2022) di wilayah barat daya Tiongkok mengungkapkan bahwa logam berat seperti kadmium dan kromium dapat terakumulasi secara signifikan dalam tanah permukaan akibat interaksi antara sumber antropogenik termasuk limbah domestik dan kondisi alami tanah setempat. Penelitian ini menegaskan pentingnya identifikasi sumber pencemar serta evaluasi risiko kesehatan ekologis secara komprehensif untuk mencegah paparan kronis terhadap masyarakat (Chen et al., 2022). Di titik 4, konsentrasi kadmium sebesar 0,09 mg/kg dan kromium 0,79 mg/kg masih di bawah ambang batas aman. Lokasi ini berada di sekitar hutan mangrove yang berperan sebagai ekosistem penyerap logam berat dari perairan melalui akar dan sedimen. Namun, kadar logam berat yang terdeteksi menunjukkan bahwa kemampuan alami mangrove dalam mengakumulasi dan menetralkan logam berat dapat terbatas jika beban pencemaran melebihi kapasitasnya (MacFarlane & Burchett, 2000; Tam & Wong, 2000). Peran ekosistem mangrove di titik 4 sebagai penyerap dan penyaring logam berat menjadi sorotan penting dalam konteks mitigasi pencemaran. Namun, konsentrasi logam berat yang masih cukup tinggi di lokasi ini menunjukkan bahwa kapasitas mangrove untuk mengakumulasi dan menetralkan logam berat dapat terlampaui apabila beban pencemaran terus meningkat (Alongi, 2015). Hal ini mengindikasikan perlunya pelestarian mangrove yang lebih optimal dan pengendalian sumber pencemaran dari aktivitas manusia sekitar untuk menjaga kualitas lingkungan dan keamanan pangan masyarakat pesisir.

Titik 5 yang dekat dengan tambak kepiting dan ikan menunjukkan kadar kadmium 0,07 mg/kg dan kromium 0,82 mg/kg, masih di bawah ambang batas (BPOM, 2018; Food Adulteration Hong Kong, 1997). Aktivitas tambak yang menggunakan pakan buatan, antibiotik, dan bahan kimia lainnya dapat menjadi sumber pencemaran tidak langsung yang mempengaruhi kadar logam berat di lingkungan sekitar. Aktivitas tambak yang menggunakan pakan buatan, antibiotik, dan bahan kimia lainnya dapat menjadi sumber pencemaran tidak langsung yang meningkatkan kadar logam berat di lingkungan sekitar, terutama melalui akumulasi di sedimen dan biota dasar (Sapkota et al., 2008; Xiong et al., 2010). Kerang dan organisme benthik lainnya merupakan biota dasar yang rentan mengakumulasi logam berat dari sedimen, sehingga dapat mencerminkan tingkat pencemaran lingkungan perairan" (USEPA, 2002; Páez-Osuna, 2001).

Titik sampling nomor 6 menunjukkan tingkat pencemaran logam berat yang paling tinggi dibandingkan titik lain, dengan konsentrasi kromium mencapai 3,5 mg/kg, yang secara signifikan melebihi batas aman sebesar 1 mg/kg menurut standar Food Adulteration Hong Kong (1997). Sebaliknya, kadar kadmium pada lokasi ini tercatat sebesar 0,07 mg/kg, yang masih berada di bawah ambang batas maksimum yang ditetapkan oleh BPOM (2018). Lokasi ini merupakan kawasan dengan aktivitas manusia yang intens, khususnya sebagai pelabuhan kecil dan area tambak, yang secara kumulatif dapat meningkatkan beban pencemaran lingkungan. Aktivitas tersebut berpotensi menyebabkan akumulasi logam berat di lingkungan, baik melalui limbah dari aktivitas pelabuhan maupun penggunaan bahan kimia dan pakan di tambak (Alloway, 2013; Xu et al., 2022). Oleh karena itu, tekanan lingkungan yang tinggi pada titik ini berkontribusi terhadap peningkatan risiko pencemaran logam berat, khususnya kromium, yang perlu mendapatkan perhatian serius dalam pengelolaan dan pemantauan lingkungan setempat.

Variasi konsentrasi logam berat kadmium (Cd) dan kromium (Cr) yang ditemukan pada



kerang bakalang di Perairan Lantebung Bira menunjukkan keterkaitan erat dengan aktivitas antropogenik di sekitar lokasi pengambilan sampel. Tingginya kadar kromium di titik 1 (0,61 mg/kg) diduga berasal dari aktivitas perkapalan, seperti penggunaan cat anti karat dan pelumas yang mengandung logam berat. Organisme filtrator seperti kerang memiliki kemampuan mengakumulasi logam berat dari air, sedimen, dan partikel tersuspensi, sehingga mencerminkan kondisi pencemaran di sekitarnya Rainbow, (2024). Studi terbaru menunjukkan bahwa bioakumulasi logam berat pada invertebrata laut sangat spesifik terhadap lokasi dan jenis spesies, dengan filter feeders seperti *Crassostrea gigas* dan *Octomeris angulosa* mengakumulasi logam seperti kadmium, kromium, arsenik, dan logam berat lainnya pada tingkat yang berpotensi berbahaya bagi manusia (Phorego et al., 2024). Aktivitas industri dan urban di wilayah pesisir menjadi kontributor utama pencemaran ini, sekaligus menunjukkan peran penting invertebrata sebagai indikator biologis dan agen bioremediasi alami dalam sistem pesisir yang terurbanisasi. Kandungan logam berat yang tinggi di lokasi dengan aktivitas pelayaran intensif mengindikasikan bahwa sumber pencemaran ini bersifat non-point source dan bersifat kronis akibat aktivitas yang berulang di wilayah tersebut (El-Sharkawy et al., 2025).

Peningkatan kadar kromium yang signifikan pada titik 6, mencapai 3,5 mg/kg, jauh melampaui batas baku mutu yang ditetapkan oleh *Food Adulteration Hong Kong* (1997), menandakan adanya sumber pencemaran lokal yang sangat kuat. Kawasan pelabuhan kecil dan tambak yang padat aktivitasnya memungkinkan terjadinya akumulasi limbah industri dan residu bahan kimia yang mengandung kromium, seperti cat anti karat dan pelumas (El-Sharkawy et al., 2025). Hal ini juga memperlihatkan perlunya pengawasan lebih ketat terhadap limbah yang dibuang ke perairan tersebut, mengingat potensi risiko kesehatan yang meningkat terutama bagi masyarakat yang rutin mengonsumsi kerang dari daerah ini. Meskipun kadar kadmium pada seluruh titik sampling masih berada di bawah batas aman menurut BPOM (2018), akumulasi jangka panjang yang diakibatkan oleh durasi paparan rata-rata selama lebih dari 47 tahun menjadi perhatian serius. Studi epidemiologis menunjukkan bahwa paparan kronis terhadap logam berat, walaupun dalam dosis rendah, dapat menyebabkan efek kumulatif yang memicu gangguan ginjal, gangguan sistem saraf, dan risiko karsinogenik (Järup, 2003). Oleh karena itu, meskipun nilai Risiko Kesehatan (RQ) saat ini masih di bawah 1 untuk sebagian besar responden, evaluasi rutin dan edukasi mengenai konsumsi kerang perlu diterapkan sebagai langkah pencegahan dini.

Penelitian Juharna et al. (2022) melaporkan kadar kromium di tiga lokasi sampling berturut-turut sebesar 0,179 mg/kg, 0,193 mg/kg, dan 0,283 mg/kg, yang semuanya masih di bawah ambang batas 1 mg/kg yang ditetapkan Food Adulteration Hong Kong (1997). Hal ini konsisten dengan temuan penelitian saat ini yang menunjukkan kadar kromium relatif rendah kecuali pada titik 6. Dibandingkan dengan studi Juharna et al., (2022) dan Nasman, (2024), kadar logam berat yang ditemukan dalam penelitian ini relatif lebih tinggi di beberapa titik, khususnya untuk kromium, yang mengindikasikan adanya peningkatan tekanan pencemaran pada beberapa tahun terakhir. Perbedaan ini juga dapat dipengaruhi oleh perbedaan metode sampling, musim pengambilan sampel, dan peningkatan aktivitas industri yang belum diimbangi dengan pengelolaan limbah yang memadai. Oleh sebab itu, studi ini menggarisbawahi pentingnya monitoring berkala serta penerapan regulasi lingkungan yang lebih ketat guna mengurangi risiko paparan logam berat terhadap masyarakat dan ekosistem perairan.

### **Analisis Pemajanan**

Analisis pemajanan menunjukkan bahwa rata-rata laju asupan (R) kerang bakalang oleh kelompok lanjut usia sebesar 110,83 gram/hari merupakan nilai yang relatif tinggi. Nilai ini mencerminkan kebiasaan konsumsi hasil laut yang kuat di komunitas pesisir, yang sangat dipengaruhi oleh faktor budaya, ketersediaan sumber daya lokal, dan kondisi ekonomi (Hidayat & Muchtar, 2022). Dibandingkan dengan studi Kusumawarni et al., (2020) yang mencatat konsumsi kerang darah sebesar  $\geq 25$  gr/hari pada 65% responden, angka konsumsi dalam penelitian ini menunjukkan risiko paparan logam berat yang lebih tinggi akibat intake yang lebih besar.

Frekuensi konsumsi (fE) sebesar 95,2 hari/tahun menunjukkan bahwa konsumsi kerang terjadi hampir dua kali seminggu secara rata-rata. Hal ini menggambarkan eksposur kronis dan bukan sesekali, yang dapat meningkatkan potensi bioakumulasi logam berat seperti kadmium dan kromium dalam jaringan tubuh manusia (Jarup, 2003). Paparan dengan frekuensi tinggi dan jangka panjang,

meskipun pada konsentrasi rendah, tetap dapat menyebabkan akumulasi zat toksik, terutama pada kelompok usia lanjut yang memiliki penurunan fungsi ekskresi dan metabolisme. Durasi paparan (Dt) selama rata-rata 47 tahun mencerminkan keterikatan jangka panjang masyarakat dengan ekosistem pesisir. Kondisi ini memperkuat justifikasi pentingnya penilaian risiko pada populasi lokal, karena paparan jangka panjang merupakan salah satu komponen utama dalam pengembangan efek kronis dari logam berat, termasuk nefrotoksisitas dan kerusakan hepatik (ATSDR, 2012).

Berat badan rata-rata responden sebesar 62,96 kg menjadi faktor penyesuaian dalam menghitung intake harian (dose per body weight). Dalam pendekatan risk assessment, individu dengan berat badan yang lebih rendah memiliki risiko lebih tinggi bila asupan absolut sama, karena dosis internalnya lebih besar (USEPA, 2012). Meskipun intake harian Cd (0,000042 mg/kg/hari) dan Cr (0,00085 mg/kg/hari) masih berada di bawah ambang batas toksisitas akut, nilai tersebut tidak bisa diabaikan mengingat karakteristik logam berat yang bersifat persistensi dan bioakumulatif. Studi oleh Nasman (2024) menunjukkan bahwa nilai intake logam berat yang tinggi (Pb: 0,14079 mg/kg/hari) dapat menyebabkan efek toksik, namun bahkan dalam kadar yang lebih rendah, logam seperti Cr (VI) bersifat genotoksik dan imunotoksik pada pajanan jangka panjang (WHO, 2021). Menariknya, menurut Silaen et al., (2025), batas aman konsumsi kromium pada kerang bulu adalah 0,0002796 gr/minggu untuk laki-laki dan 0,0002097 gr/minggu untuk perempuan. Jika dikonversi ke konsumsi harian, batas tersebut berkisar pada 0,00004 mg/kg/hari, jauh di bawah rata-rata intake Cr dalam penelitian ini (0,00085 mg/kg/hari). Fakta ini menegaskan pentingnya mengontrol frekuensi konsumsi, serta perlunya edukasi kepada masyarakat mengenai risiko akumulatif dari logam berat, terutama pada kelompok rentan seperti lansia.

Oleh karena itu, meskipun secara umum nilai intake dalam penelitian ini belum melampaui ambang batas dari lembaga regulator internasional, namun paparan kronis, usia responden yang rentan, serta tingginya frekuensi konsumsi memerlukan perhatian khusus. Pemantauan berkala terhadap kualitas hasil laut dan penyuluhan mengenai konsumsi aman menjadi langkah penting dalam pengendalian risiko kesehatan masyarakat.

### **Tingkat Risiko (RQ)**

Tingkat risiko (Risk Quotient/RQ) menunjukkan bahwa dari 30 responden lansia, hanya satu individu yang memiliki  $RQ > 1$  untuk kromium, sementara 29 responden lainnya masih berada dalam batas aman ( $RQ \leq 1$ ). Sementara itu, seluruh responden memiliki  $RQ \leq 1$  untuk kadmium, menandakan bahwa risiko non-karsinogenik akibat paparan Cd masih tergolong rendah dalam horizon waktu 30 tahun. Temuan ini menunjukkan bahwa konsumsi kerang bakalang di wilayah studi secara umum tidak menimbulkan risiko akut, namun tetap perlu diwaspadai dari aspek pajanan kronis. Namun, paparan kronis terhadap logam berat, walaupun pada dosis rendah, dapat menyebabkan akumulasi dalam tubuh dan efek kesehatan jangka panjang seperti gangguan ginjal, gangguan saraf, dan potensi karsinogenik (Jarup, 2003). Walaupun paparan harian berada di bawah nilai ambang toksik, logam berat seperti Cd dan Cr bersifat persisten dan bioakumulatif, serta memiliki waktu paruh biologis yang panjang di tubuh manusia. Penelitian oleh Li et al. (2023) menunjukkan bahwa paparan rendah namun berkepanjangan terhadap Cr dapat mengganggu fungsi ginjal dan menimbulkan stres oksidatif melalui jalur ROS (*reactive oxygen species*). Paparan kadmium dalam jangka panjang telah banyak dikaitkan dengan gangguan fungsi kognitif, terutama pada populasi lansia. Beberapa studi epidemiologis telah menunjukkan bahwa kadar kadmium darah yang lebih tinggi berhubungan dengan penurunan fungsi kognitif yang lebih besar pada populasi lansia. Sebagai contoh, Liu et al. (2021) menemukan bahwa orang dewasa lansia usia 65 tahun ke atas di daerah pedesaan China dengan kadar kadmium yang tinggi menunjukkan kinerja kognitif yang secara signifikan lebih buruk, yang menegaskan efek neurotoksik paparan kadmium pada populasi yang menua.

Temuan dalam studi ini berbeda dari hasil penelitian Salsabila et al. (2024), yang mencatat nilai  $RQ > 1$  untuk Cd dan Cr pada kerang hijau di Perairan Tambak Lorok. Dalam penelitian tersebut, konsumsi kerang bahkan dalam jumlah kecil dapat menyebabkan risiko kesehatan yang nyata, terutama pada kelompok anak-anak dan dewasa muda. Hal ini memperkuat argumen bahwa lokasi geografis, kondisi ekosistem, dan aktivitas antropogenik seperti pelabuhan dan industri memengaruhi akumulasi logam berat di biota laut, seperti yang dilaporkan oleh Ngoc et al., (2020) di wilayah pesisir Vietnam yang menunjukkan konsentrasi tinggi Cd dan Cr pada makanan laut dan air konsumsi masyarakat (Ngoc

et al, 2020).

Perbedaan hasil antara lokasi ini menunjukkan pentingnya pemantauan kualitas air dan makanan laut secara berkala, karena pencemaran logam berat sangat dinamis dan bergantung pada aktivitas manusia serta arus lingkungan. Studi global oleh Xu et al. (2021) juga menegaskan bahwa pengelolaan limbah industri dan pelestarian ekosistem mangrove secara signifikan dapat menurunkan konsentrasi logam berat dalam sedimen dan biota pesisir. Walaupun paparan harian berada di bawah nilai ambang toksik, logam berat seperti Cd dan Cr bersifat persisten dan bioakumulatif, serta memiliki waktu paruh biologis yang panjang di tubuh manusia (USEPA, 2012; WHO, 2010; ATSDR, 2012). Untuk mencegah peningkatan risiko jangka panjang, sangat penting dilakukan edukasi masyarakat terkait frekuensi konsumsi hasil laut, serta penerapan kebijakan lokal yang berbasis bukti. Penentuan lokasi budidaya kerang sebaiknya dilakukan di zona dengan tingkat pencemaran rendah, dan pemerintah daerah perlu memperkuat regulasi dan pengawasan limbah industri dan aktivitas pelabuhan.

## **SIMPULAN DAN SARAN**

Penelitian ini menyimpulkan bahwa dari 30 responden masyarakat di Kelurahan Bira, hanya satu orang yang memiliki risiko kesehatan melebihi batas aman ( $RQ > 1$ ) untuk paparan kromium (Cr), sedangkan sisanya masih dalam batas aman. Untuk paparan kadmium (Cd), seluruh responden berada di bawah batas risiko berbahaya ( $RQ \leq 1$ ). Hal ini menunjukkan bahwa selama 30 tahun ke depan, masyarakat tersebut relatif aman dari risiko penyakit non-karsinogenik akibat konsumsi kerang yang mengandung logam berat tersebut. Temuan ini menekankan pentingnya pemantauan kualitas lingkungan dan makanan laut di wilayah pesisir.

Pemerintah Kota Makassar disarankan untuk melakukan pemantauan rutin pencemaran logam berat di perairan pesisir serta menerapkan pengelolaan limbah industri yang ketat. Penentuan lokasi budidaya kerang harus jauh dari sumber pencemar agar produk aman dikonsumsi. Masyarakat dianjurkan membatasi konsumsi kerang sesuai batas aman untuk mengurangi risiko paparan logam berat. Penelitian selanjutnya sebaiknya mengkaji efek jangka panjang paparan logam berat lain dan interaksinya dengan faktor lingkungan serta pola konsumsi masyarakat untuk pemahaman risiko yang lebih komprehensif.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Alloway, B. (2013). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>
- Alongi, D. (2015). The Impact of Climate Change on Mangrove Forests. *Current Climate Change Reports*, 1, 30–39. <https://doi.org/10.1007/s40641-015-0002-x>
- Antoniadis, V., Shaheen, S. M., Boersch, J., Frohne, T., Du Laing, G., & Rinklebe, J. (2017). Bioavailability and risk assessment of potentially toxic elements in garden edible vegetables and soils around a highly contaminated former mining area in Germany. *Journal of Environmental Management*, 186(Pt 2), 192–200. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.04.036>
- ATSDR. (2012). *Toxicological Profile For Cadmium*. ATSDR.
- Chen, Z., Xu, J., Duan, R., Lu, S., Hou, Z., Yang, F., Peng, M., Zong, Q., Shi, Z., & Yu, L. (2022). Ecological Health Risk Assessment and Source Identification of Heavy Metals in Surface Soil Based on a High Geochemical Background: A Case Study in Southwest China. *Toxics*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/toxics10060282>
- El-Sharkawy, M., Alotaibi, M. O., Li, J., Du, D., & Mahmoud, E. (2025). Heavy Metal Pollution in Coastal Environments: Ecological Implications and Management Strategies: A Review. *Sustainability (Switzerland)*, 17(2), 1–29. <https://doi.org/10.3390/su17020701>
- FAO & WHO. (2024). *Joint FAO/WHO Expert Consultation on the Risks and Benefits of Fish Consumption: Meeting report, Rome, 9–13 October 2023. Food Safety and Quality Series, No. 28*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cd2394en>
- Food Adulteration Hong Kong. (1997). *Standards for heavy metals in food and soil*.
- Hidayat, T., & Muchtar, A. (2022). Peran Kelembagaan dalam Pengembangan Desa Wisata Lamajang Kabupaten Bandung dan Dampaknya Terhadap Perekonomian Masyarakat Lokal.

- Tourism Scientific Journal*, 8(1), 93–104. <https://doi.org/10.32659/tsj.v8i1.230>
- IARC. (2012). *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*. IARC. (2012). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. International Agency for Research on Cancer.
- Jabeen, F., Aslam, A., & Salman, M. (2021). *Heavy Metal Contamination in Vegetables and Soil Irrigated with Sewage Water and Associated Health Risks Assessment*. March 2020. Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, 68(1), 167–182. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg032>
- Juharna, F. M., Widowati, I., & Endrawati, H. (2022). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kromium (Cr) Pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Morosari, Sayung, Kabupaten Demak. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(2), 139–148. <https://doi.org/10.14710/buloma.v11i2.41617>
- Kusumawarni, M., Daud, A., Ibrahim, E., Kesehatan, B., Fakultas, L., Masyarakat, K., & Hasanuddin, U. (2020). Analisis Risiko Arsen (As) Dalam Ikan Kembung Dan Kerang Darah Di Wilayah Pesisir Makassar. *Unersitas Hasanuddin*, 1–13.
- 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.
- MacFarlane, G. R., & Burchett, M. (2000). Cellular distribution of copper, lead and zinc in the grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. *Aquatic Botany*, 68, 45–59. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(00\)00105-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(00)00105-4)
- Nasman, N. M. (2024). *Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Kerang Dara di Pelabuhan Tanjung Ringgit Kota Palopo*. Cd, 1–23.
- Ngoc, N. T. M., Chuyen, N. Van, Thao, N. T. T., Duc, N. Q., Trang, N. T. T., Binh, N. T. T., Sa, H. C., Tran, N. B., Ba, N. Van, Khai, N. Van, Son, H. A., Han, P. Van, Wattenberg, E. V., Nakamura, H., & Thuc, P. Van. (2020). Chromium, Cadmium, Lead, and Arsenic Concentrations in Water, Vegetables, and Seafood Consumed in a Coastal Area in Northern Vietnam. *Environmental Health Insights*, 14. <https://doi.org/10.1177/1178630220921410>
- Phorego, N.M., Puccinelli, E., Pieterse, P.P., Ndaba, J., Porri, F. (2024). Metal Bioaccumulation in Marine Invertebrates and Risk Assessment in Sediments from South African Coastal Harbours and Natural Rocky Shores. *Environmental Pollution*, 35.
- Rainbow, P. S. (2024). Trace Metal Concentrations in Aquatic Invertebrates : Why and so What? *Shengtai Xuebao/ Acta Ecologica Sinica*, 28(12), 5957–5963.
- Salsabila, N., Suprijanto, J., & Ridlo, A. (2024). Analisis Kadar Pb dan Cu pada Kerang Hijau Budidaya di Tambak Lorok serta Analisis Risiko Kesehatan Konsumsi untuk Manusia. *Journal of Marine Research*, 13(2), 347–354. <https://doi.org/10.14710/jmr.v13i2.38865>
- Shetty, B. R., Pai B., J., & 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>
- Silaen, G. D., Retno, R., & Pangihutan, M. (2025). *Studi kandungan logam berat (timbal dan kromium) pada jenis kerang bulu (anadara antiquata) di muara panton, desa bagan asahan, kecamatan tanjung balai, provinsi sumatra utara*. 3(1), 919–927.
- Tam, N. F. Y., & Wong, Y. S. (2000). Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps. *Environmental Pollution*, 110(2), 195–205. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00310-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00310-3)
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2012). *Integrated Risk Information System (IRIS): Chromium and Cadmium*. USEPA.
- USEPA. (2024). *Selecting a Sampling Design*. USEPA.
- WHO. (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality (4th ed.) Fourth Edition Incorporating The First Addendum*. World Health Organization.
- Xu, Z., Shi, M., Yu, X., & Liu, M. (2022). Heavy Metal Pollution and Health Risk Assessment of Vegetable-Soil Systems of Facilities Irrigated with Wastewater in Northern China. In *International journal of environmental research and public health* (Vol. 19, Issue 16). <https://doi.org/10.3390/ijerph19169835>.