

Konsentrasi Kadmium (Cd) pada Kerang Darah (*Anadara granosa*) dari Beberapa Pasar Tradisional di Kota Samarinda, dan Potensi Risikonya Terhadap Kesehatan Manusia

Ardita Dwisepti Andini¹, Mohammad Sumiran Papatungan¹, Irma Suryana¹,
Irwan Ramadhan Ritonga^{1,2*}

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Mulawarman
Jl. Gunung Tabur No 1, Kampus Gunung Kelua Samarinda, Kalimantan Timur, 75119 Indonesia

²Laboratory of Oceanography and Engineering, Integrated Laboratory, Universitas Mulawarman
Jl. Long Apari, Kampus Gunung Kelua Samarinda, Kalimantan Timur, 75119 Indonesia

Email: ritonga_irwan@fpik.unmul.ac.id

Abstrak

Kerang darah (*Anadara granosa*) merupakan salah satu organisme laut yang dimanfaatkan masyarakat kota Samarinda sebagai sumber nutrisi. Disisi lain, *A. granosa* dapat mengakumulasi logam Cd yang berisiko terhadap kesehatan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi Cd, mengevaluasi hubungan antara Cd dan panjang dan berat, mengkaji dan menganalisis potensi risiko kesehatan dari konsumsi daging *A. Granosa*. Sampel *A. granosa* dengan ukuran yang berbeda dibeli dan dikumpulkan dari beberapa pasar tradisional di Kota Samarinda. Proses destruksi dilakukan dengan metode asam dan konsentrasi logam Cd ditentukan dengan spektrometer serapan atom dan dinyatakan dalam $\mu\text{g/g}$ berat basah. Penetapan kajian risiko kesehatan dari logam Cd pada tubuh manusia dihitung menggunakan rumus Perkiraan Asupan Mingguan (EWI), Target Bahaya (HQ) dan Risiko Kanker (TR). Ditemukan konsentrasi Cd pada daging *A. granosa* berkisar 0,02-16,6 $\mu\text{g/g}$ dengan rerata $5,59\pm 5,10$ $\mu\text{g/g}$. Konsentrasi Cd pada *A. granosa* dipengaruhi aktifitas manusia secara internal seperti perikanan, pertanian, eksplorasi minyak dan gas serta masukan limbah eksternal melalui aliran sungai. Kajian risiko kesehatan menunjukkan bahwa nilai estimasi asupan mingguan (EWI) pada *A. granosa* pada orang dewasa dan anak – anak lebih rendah dari nilai asupan mingguan sementara yang dapat ditoleransi (PTWI) dengan nilai 7 $\mu\text{g/kg}$ berat badan perhari. Semua nilai target bahaya (HQ) jauh lebih rendah dari satu. Kemudian, potensi kanker (TR) baik pada orang dewasa dan anak – anak adalah berisiko lemah ($\leq 10^{-6}$).

Kata kunci : Anak-anak, Dewasa, Kadmium, Kerang, Penilaian risiko kesehatan

Abstract

Concentrations of Cadmium (Cd) in Blood Cockle (Anadara granosa) from Several Traditional Markets in Samarinda City, and Potential Risks to Human Health

Blood cockles (*Anadara granosa*) are one of the seafood used by the people of Samarinda City as a source of nutrients. On the other hand, *A. granosa* could accumulate Cd metal which is a risk to human health. This study aimed to determine Cd concentrations, evaluate the relationship between Cd and length and weight, assess and analyze potential health risks from consuming *A. granosa*. Samples of *A. granosa* with different sizes were purchased and collected from several traditional markets in Samarinda City. The digestion process was carried out using the acid method and the Cd metal concentration was determined using an atomic absorption spectrometer and expressed in $\mu\text{g/g}$ wet weight. Determination of the health risk assessment of Cd metal in the human body was calculated using the Estimated Weekly Intake (EWI), Hazard Quotient (HQ) and Cancer Risk (TR) formulas. It was found that the Cd concentration in flesh *A. granosa* ranged from 0.02 to 16.6 $\mu\text{g/g}$ with an average of 5.59 ± 5.10 $\mu\text{g/g}$. Cd concentrations in *A. granosa* are influenced by internal human activities such as fishing, agriculture, oil and gas exploration as well as external waste input through river flows. Health risk studies show that the estimated weekly intake (EWI) value of *A. granosa* in adults and children was lower than the tolerable temporary weekly intake (PTWI) value of 7 $\mu\text{g/kg}$ body weight per day. All target hazard (HQ) values were much lower than one. Then, the potential for cancer (TR) in both adults and children was at low risk ($\leq 10^{-6}$).

Keywords: Child, Adults, Cadmium, Blood cockles, Health risk assesment

PENDAHULUAN

Delta Mahakam merupakan wilayah cekungan berbentuk kipas yang dihasilkan oleh adanya proses sedimentasi di muara Sungai Mahakam. Wilayah ini dilalui oleh beberapa anak sungai dari beberapa daerah, dan mengalir dari hulu sampai ke muara sungai Mahakam (Anggara *et al.*, 2021). Kehidupan masyarakat di sepanjang sungai meliputi, pertanian seperti pertanian, transportasi, industri dan perikanan. Jika dilihat dari segi potensi perikanan, wilayah Kalimantan Timur (termasuk Delta Mahakam) memiliki potensi perikanan dan kelautan yang cukup tinggi dan meningkat dari tahun 2022 sekitar 176.781 ton ke 2023 dengan 182.946 ton (Rifandi, 2024). Beberapa potensi perikanan yang terdapat di wilayah ini adalah ikan, udang, kepiting dan kerang salah satunya kerang darah (*Anadara granosa*) (Ameliana *et al.*, 2018; Sidik *et al.*, 2014; Zain *et al.*, 2014).

Seiring dengan meningkatnya populasi penduduk di wilayah Kalimantan Timur, maka semakin meningkat juga keinginan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Salah satu kebutuhan masyarakat yang selalu ingin terpenuhi adalah asupan protein tinggi yang didapat dari produk perikanan dan laut. Salah satu wilayah yang menjadi sumber perikanan dan kelautan di wilayah Kalimantan Timur adalah Delta Mahakam. Wilayah ini biasanya dimanfaatkan oleh masyarakat untuk melakukan beberapa aktifitas, seperti sektor perikanan, pertanian (pupuk fosfat), industri rumah tangga penambangan, dan transportasi (Zain *et al.*, 2014). Seiring berjalannya waktu, kondisi perairan di wilayah ini mengalami perubahan dari segi kualitas air, sedimen maupun biota. Salah satu biota yang mengalami efek dari perubahan kualitas perairan tersebut adalah *A. granosa* (Ameliana *et al.*, 2018).

Kerang darah (*A. granosa*) merupakan salah satu jenis kerang yang biasa dijual di pasar tradisional di Kota Samarinda. Kerang ini merupakan salah satu jenis kerang yang dikonsumsi dan disukai oleh masyarakat kota Samarinda mulai dari anak-anak hingga orang dewasa. Selain karena rasanya yang enak, jenis kerang ini juga mengandung banyak nutrisi seperti protein (10 - 12%), karbohidrat (0,14 - 0,15%), lemak (1%), air (70 - 80%) dan abu (2%) (Permata *et al.*, 2023). Selain itu, kerang ini mempunyai sifat *filter feeder* sehingga banyak digunakan dalam penelitian sebagai bioindikator terhadap kondisi suatu perairan yang tercemar logam berat. Hal

tersebut terjadi karena kemampuannya mengakumulasi logam berat, salah satunya logam Kadmium (Cd) (Ameliana *et al.*, 2018). Habitat *A. granosa* yang berada di dasar perairan serta memiliki pergerakan yang relatif lambat, serta terkait langsung dengan sedimen, maka biota ini sangat rentan terakumulasi dengan logam Cd. Menurut Linda *et al.*, (2023), logam Cd merupakan salah satu jenis logam berat yang mempunyai potensi besar masuk ke perairan, mengendap di sedimen, yang kemudian masuk ke dalam tubuh biota saat mereka makan dan terakumulasi pada rantai makanan. Kemampuannya dalam mengakumulasi Cd juga berpotensi mempengaruhi kesehatan manusia jika dikonsumsi secara berlebihan seperti kanker, termasuk kanker payudara, paru-paru, prostat, nasofaring, pankreas, dan ginjal (Genchi *et al.*, 2020). Salah satu pendekatan yang dilakukan untuk mengetahui konsentrasi Cd yang terkandung pada *A. granosa* ini adalah dengan melakukan investigasi serta mengkaji keamanan pangan bagi konsumen (Astuti *et al.*, 2022; Yona *et al.*, 2021).

Pada dasarnya penelitian tentang logam berat pada kekerangan (*bivalvia*) telah dilakukan di wilayah Kalimantan Timur, khususnya wilayah Muara Badak dan Pantuan sebagai bagian dari Delta Mahakam. Namun, penelitian tersebut hanya dilakukan pada *A. granosa* serta jumlah sampel yang terbatas (Handayani *et al.*, 2020; Ritonga *et al.*, 2018; Toding *et al.*, 2018). Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang bioakumulasi dan kajian penilaian risiko kesehatan akibat kadmium (Cd) pada *A. granosa* yang diperoleh dari pasar tradisional. Harapannya penelitian ini sebagai bahan pertimbangan bagi pihak terkait dalam proses monitoring pencemaran logam Cd di Delta Mahakam dan juga sebagai kesehatan makanan bagi para konsumen. Beberapa tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk menentukan nilai konsentrasi logam kadmium (Cd) yang terdapat dalam daging *A. granosa*. Kemudian, mengetahui hubungan antara konsentrasi Cd dengan panjang dan berat *A. granosa*. Selain itu, perlu dilakukan kajian dan analisis potensi risiko kesehatan dari konsumsi daging *A. granosa* yang dikumpulkan dari beberapa pasar tradisional di Kota Samarinda.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Januari hingga Maret 2024. Sampel *A. granosa* dibeli dan dikumpulkan dari beberapa pasar tradisional di

kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur. Metode pengumpulan sampel kerang yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode *purposive sampling*. Proses preparasi sampel *A. granosa* dilakukan di Laboratorium Konservasi Sumberdaya Perairan. Kemudian, proses destruksi dan analisis konsentrasi logam kadmiun (Cd) pada sampel *A. granosa* dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Mulawarman.

Metode Pengambilan sampel, Destruksi dan Analisa Logam Cd

Sampel *A. granosa* diperoleh dari pasar tradisional di kota Samarinda. Kerang tersebut berasal dari Muara Badak dan Pantuan, Delta Mahakam, propinsi Kalimantan Timur. Semua sampel kerang yang berhasil dikumpulkan, dimasukkan ke dalam plastik yang berbeda dan langsung dibawa ke laboratorium untuk menghindari kontaminasi. Sampel *A. granosa* disimpan ke dalam *cool box/freezer* (-20°C) agar sampel tidak rusak. Setelah beberapa hari, semua sampel kerang dikeluarkan dari *freezer*, diletakkan di atas meja beberapa jam (± 4 jam) untuk melelehkan es yang menempel pada sampel. Kemudian, proses pemilihan sampel kerang dilakukan dengan cara mengelompokkannya berdasarkan ukuran yang berbeda. Di penelitian ini, ukuran kerang diklasifikasi menjadi 3 ukuran yang berbeda yaitu, kecil ($n = 8$), sedang dan besar masing – masing 10 sampel ($n = 10$). Jadi, total sampel kerang yang digunakan di penelitian ini adalah 28 sampel.

Analisis morfometrik sampel kerang dilakukan untuk mengukur panjang (cm), lebar (cm) dan berat (gr) sebelum dianalisis. Proses preparasi dan pengambilan otot *A. granosa* dilakukan dengan cara membuka cangkangnya dengan menggunakan pisau *stainless* dan pinset plastik. Kemudian, bahan organik atau sediman yang menempel pada daging dibersihkan dengan menggunakan *akuades*. Setelah itu, masing – masing daging kerang dimasukkan ke dalam plastik *ziplock* yang telah diberikan kode yang berbeda.

Destruksi daging kerang dilakukan untuk menguraikan bahan-bahan organik yang ada dalam larutan dengan proses pemanasan berdasarkan panduan SNI 6989-84:2019 yang telah dimodifikasi. Daging *A. granosa* ($\pm 0,5$ gram) dimasukkan ke dalam *krus porselen* yang terbuat dari keramik (60 ml). Masing – masing sampel

ditambah 2 ml HCl dan 3 ml HNO_3 dan dibiarkan selama ± 8 jam. Keesokan harinya, masing – masing larutan sampel diletakkan di atas *hotplate* dan diuapkan pada suhu $\pm 95^{\circ}\text{C}$ selama ± 1 jam. Setelah dingin, masing – masing larutan sampel dimasukkan ke dalam tabung reaksi (*test tube*), ditambahkan *akuades* sebanyak 5 ml dan dihomogenkan dengan menggunakan *vortex*. Masing – masing larutan sampel disaring dengan menggunakan kertas *Whatman* no 40 dan dimasukkan ke dalam botol *polyetilen* (60 ml). Kemudian, masing – masing larutan sampel tersebut ditambahkan dengan *akuades* sampai volume 10 ml. Selanjutnya masing – masing larutan sampel dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometers (AAS) AA-7000 – Shimadzu* untuk mengetahui konsentrasi logam Cd dengan panjang gelombang 228,8 nm. Penentuan konsentrasi logam Cd ($\mu\text{g/g}$) pada *A. granosa* di penelitian ini menggunakan metode berat basah (*wet weight*).

Larutan standar yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan larutan standar Cd (1000 mg/L) yang diencerkan dengan *akuades* menjadi beberapa konsentrasi yang berbeda, yakni 0, 5, 10, 20, 30, 40 dan 60 $\mu\text{g/L}$.

Kualitas Kontrol

Proses kualitas kontrol di penelitian ini dilakukan dengan merendam semua peralatan penelitian berupa gelas dan plastik selama ± 24 jam dalam HNO_3 10%, dibilas dengan *akuades*, dan dikeringkan. Hal tersebut dilakukan untuk meminimalkan terjadinya kontaminasi. Kualitas kontrol di penelitian ini dilakukan dengan mendestruksi larutan blanko ($n = 3$), dan sampel *A. granosa* dalam setiap rangkaian pengujian pada waktu yang sama untuk memeriksa kontaminasi. Tingkat keakuratan metode destruksi di penelitian ini dilakukan dengan cara *spike*. Berdasarkan hasil analisis, persen hasil pemulihan (*% recovery*) dari tingkat keakuratan metode destruksi di penelitian ini adalah memuaskan (90-110%), perbedaan persen relatifnya adalah kurang dari 10% (RPD < 10%). Kemudian, nilai korelasi larutan standard kurva yang didapatkan pada saat analisis adalah 99% dan batas deteksi metode (MDP) dari penelitian ini adalah 0.0061 $\mu\text{g/g}$.

Analisis Risiko Kesehatan

Analisis risiko atau *risk assessment* merupakan penilaian suatu risiko kesehatan terhadap logam berat yang dinilai berdasarkan

estimasi tingkat risiko dan dan diklasifikasikan sebagai bahaya kesehatan yang bersifat karsinogenik atau non-karsinogenik (Gnonsoro *et al.*, 2022). Adapun beberapa pendekatan yang dilakukan untuk mengkaji risiko kesehatan dari logam Cd pada tubuh manusia dengan berbagai cara seperti EWI, HQ, dan TR.

Perkiraan Asupan Mingguan (EWI)

Perkiraan Asupan Mingguan (EWI) dalam $\mu\text{g}/\text{kg}$ berat badan/minggu di penelitian ini merupakan perhitungan yang digunakan untuk mengetahui nilai paparan seseorang terhadap konsentrasi logam Cd pada konsumen orang dewasa (laki-laki dan perempuan), dan anak-anak yang mengonsumsi *A. granosa* di Kota Samarinda. Nilai paparan logam Cd mengikuti persamaan yang digunakan *United States Environmental Protection Agency* (USEPA, 2000). Perhitungan perkiraan asupan mingguan (EWI) dengan rumus :

$$EWI = \frac{Cm \times FIR}{BW} \times 7$$

Keterangan: EWI = Estimasi asupan mingguan; Cm = Konsentrasi logam kadmium (Cd) ($\mu\text{g}/\text{g}$); FIR = Rata-rata konsumsi ikan, udang, cumi dan kerang = 12,71 gram/hari (BPS Kota Samarinda, 2022); BW = Berat badan rata-rata perkonsumen di Kota Samarinda (laki – laki dan perempuan dewasa) adalah 64,5 kg (Ritonga & Aditya Budiarsa, 2022) dan anak – anak = 10 kg) (FAO/WHO, 2011).

Target Bahaya (HQ)

Target bahaya digunakan untuk menentukan risiko kesehatan manusia (non-karsinogenik) terkait konsentrasi logam kadmium (Cd) yang terkandung dalam *A. granosa* menggunakan persamaan yang digunakan oleh USEPA (2000) dengan rumus sebagai berikut:

$$HQ = \frac{EF \times ED \times FIR \times Cm}{RfD \times BW \times AT} \times 10^{-3}$$

Keterangan: HQ = Target bahaya; EF = Paparan frekuensi logam berat (365 hari/tahun); ED = Rerata durasi paparan logam Cd (71,3 tahun) pada konsumen dari tahun 2000-2019 berdasarkan WHO (2019); RfD = Referensi dosis logam berat per individu (Cd = 0,001 mg/kg/hari) berdasarkan tingkat skrining regional (USEPA, 2023) dan

(Taylor *et al.*, 2023); AT = Rata-rata waktu paparan logam berat (365 hari/tahun x 71,3 tahun).

Jika nilai hazard quotient (HQ) kurang dari satu ($HQ < 1$), maka dianggap tidak menimbulkan risiko kesehatan manusia. Sebaliknya, jika nilai $HQ > 1$, maka logam Cd mungkin dapat menimbulkan risiko kesehatan bagi tubuh manusia seperti toksisitas reproduksi dan hati (Soegianto *et al.*, 2020; Tanhan *et al.*, 2023).

Risiko Kanker (TR)

Potensi risiko kanker (TR) digunakan untuk menghitung efek karsinogenik berupa kanker bagi para konsumen akibat mengonsumsi *A. granosa* yang mengandung logam Cd yang tinggi secara terus menerus. Adapun rumus untuk menghitung risiko tersebut menggunakan persamaan USEPA (2000):

$$TR = \frac{EF \times ED \times FIR \times Cm \times Sf}{BW \times AT} \times 10^{-3}$$

Keterangan: TR = Potensi terkena kanker; Sf = Slope faktor (Cd = 0,38 mg/kg/hari) berdasarkan USEPA (2011).

Nilai TR hasil perhitungan dibandingkan dengan beberapa klasifikasi risiko kesehatan bagi konsumen yang terpapar unsur karsinogenik, yaitu $\leq 10^{-6}$ = lemah; 10^{-4} - 10^{-3} = sedang; 10^{-3} - 10^{-1} = tinggi; $\geq 10^{-1}$ = sangat tinggi. Jika nilai TR yang dihitung melebihi $\leq 10^{-6}$, hal tersebut mengindikasikan adanya potensi risiko kesehatan bagi para konsumen yang terpapar (New York State Department of Health, 2007; USEPA, 2010).

Analisis Data

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan cara deskriptif, yang mana semua data hasil analisis Cd diolah dengan *software Microsoft Windows Excel* dan *SPSS statistic 19.0*. Semua data hasil analisis ditabulasikan berupa tabel dan grafik dan dipaparkan secara deskriptif (nilai minimum, maksimum dan standar deviasi). Konsentrasi Cd pada *A. granosa* dibandingkan dengan beberapa baku mutu logam Cd untuk pangan seperti *European Comission* (EC), Standard Nasional Indonesia (SNI), dan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) dan *Food and Drug Administration* (FDA). Berdasarkan uji *Kolmogorov-Smirnov*, tidak ditemukan kenormalan

data di penelitian ini. Karenanya, hubungan antara konsentrasi Cd dengan panjang dan berat *A. granosa* dianalisis menggunakan *regresi linear* sederhana dengan uji korelasi *Spearman*. Penentuan hubungan signifikansi antara konsentrasi Cd terhadap perbedaan ukuran (kecil, sedang dan besar) dari *A. granosa* dilakukan dengan uji *Kruskal Wallis*. Kemudian nilai $\alpha = 0,05$ digunakan untuk menentukan tingkat signifikansi (p).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Cd dan Bioakumulasinya pada *A. granosa*

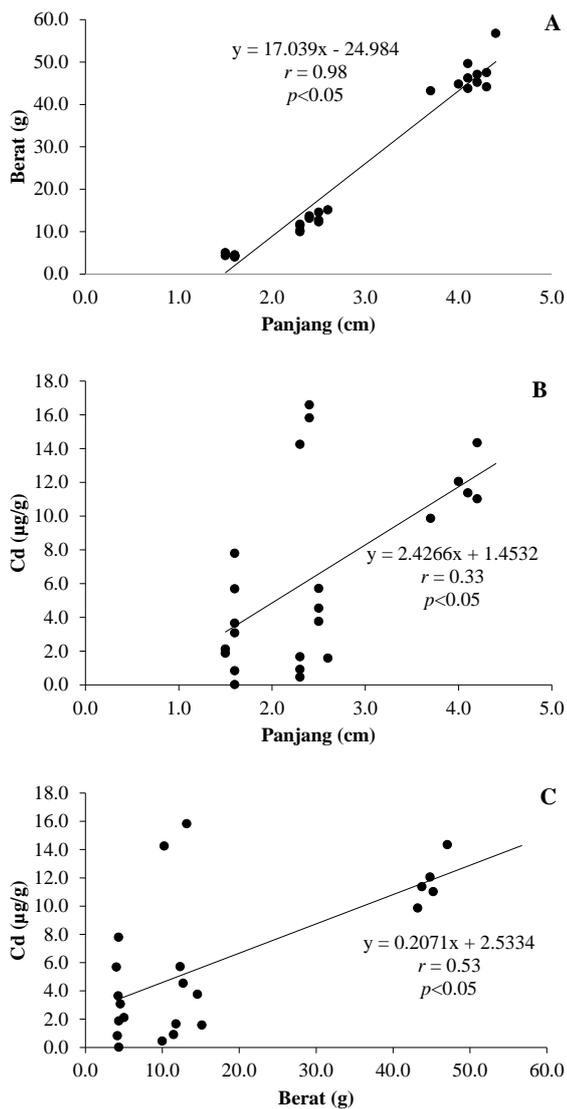
Secara umum, sampel *A. granosa* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki panjang dan berat rata-rata $2,79 \pm 1,09$ cm dan $22,4 \pm 19$, gram (Tabel 1). Konsentrasi Cd pada *A. granosa* mulai dari 0,02 sampai $16,6 \mu\text{g/g}$ dengan rerata $5,99 \pm 5,10 \mu\text{g/g}$ (berat basah) (Tabel 1). Berdasarkan klasifikasi ukurannya, nilai konsentrasi Cd pada *A. granosa* yang berukuran lebih besar ($7,73 \pm 4,50 \mu\text{g/g}$) relatif lebih tinggi dibanding dengan ukuran sedang ($6,53 \pm 6,46 \mu\text{g/g}$) dan kecil ($3,13 \pm 2,57 \mu\text{g/g}$). Berdasarkan uji *Kruskal Wallis*, tidak ditemukan perbedaan yang signifikan ($p > 0,05$) antara konsentasi Cd dengan ukuran *A. granosa* yang berbeda di penelitian ini.

Bervariasinya konsentrasi Cd yang terdeteksi pada daging *A. granosa* di penelitian ini mungkin lebih disebabkan oleh adanya keberadaan logam Cd di lokasi pengambilan sampel itu sendiri (Muara Badak dan Pantuan) dan pasokan dari daratan melalui aliran sungai (*run off*) Mahakam dan Muara Badak. Hasil investigasi yang dilakukan oleh Ameliana *et al.*, (2018) pada *A. granosa* dengan ukuran berbeda di Muara Pantuan, Kab, Kutai Kartanegara memiliki konsentrasi Cd yang relatif tinggi, yakni $0,29 - 2,62 \mu\text{g/g}$. Para penulis menyimpulkan bahwa pasokan Cd di lokasi pengambilan sampel kerang tersebut mungkin berasal dari beberapa aktifitas manusia seperti perikanan, pertanian, alih fungsi lahan, industri minyak dan gas. Selain itu, adanya pasokan air dan bahan organik dari daratan melalui sungai Mahakam dan Muara Berau juga berperan penting dalam proses distribusi logam Cd (Ameliana *et al.*, 2018; Budiyanto, 2011; Effendi *et al.*, 2016; Wibowo, 2017). Sebagai hewan yang tumbuh dan berkembang di wilayah dasar perairan khususnya di substrat lumpur, *A. granosa* ini biasanya dikenal sebagai *filter feeder* yang memakan plankton

dengan menggunakan insang, khususnya fitoplankton (Sulistiyaningsih & Arbi, 2020). Selain itu, *A. granosa* ini bersifat sessil dan relatif menetap di suatu wilayah. Jadi, pada saat wilayah tersebut mengalami pencemaran logam Cd baik dari perairan dan sedimen, maka kerang ini sangat memungkinkan terjadinya proses akumulasi Cd dari lingkungan perairan (Yona *et al.*, 2021). Hasil investigasi yang dilakukan oleh Permana *et al.*, (2022) di wilayah Delta Mahakam, ditemukan konsentrasi logam Cd pada perairan ($0,002 - 0,0058 \mu\text{g/g}$) dan sedimen ($<0,002 - 0,115 \mu\text{g/g}$). Temuan ini menunjukkan bahwa logam Cd yang terdapat di lokasi pengambilan sampel *A. granosa* memang sudah ada sebelumnya dan proses akumulasi logam Cd terhadap kerang ini sudah terjadi.

Secara individu, konsentrasi Cd yang berbeda pada masing-masing daging kerang di penelitian ini dapat terjadi mungkin lebih dikarenakan perbedaan proses detoksifikasi dan ekskresinya (Jing *et al.*, 2019). Logam Cd masuk ke dalam tubuh *A. granosa* melalui insang dan makanan, kemudian diserap dan terakumulasi di jaringan melalui sirkulasi darah. Logam tersebut kemudian membentuk senyawa kompleks seperti gugus sulfhidril (Li *et al.*, 2015; Rubino, 2015) yang stabil dan dapat disimpan di beberapa organ, termasuk daging kerang. Dengan demikian, variasi konsentrasi Cd dalam kebiasaan makan dan habitatnya di wilayah Delta Mahakam dapat menyebabkan keragaman akumulasi Cd pada *A. granosa* dibandingkan dengan variasi proses detoksifikasi dan ekskresi. Hal ini menunjukkan bahwa *A. granosa* mempunyai sistem toleransi dan pertahanan tubuh terhadap toksisitas logam Cd yang telah terakumulasi dalam tubuhnya. Kemampuan toleransi tersebut dapat memungkinkan setiap *A. granosa* untuk tetap melangsungkan proses pertumbuhan dan reproduksinya. Hal ini terbukti dari beragamnya ukuran dan jumlah individu *A. granosa* yang diperoleh.

Faktor lain yang dapat mempengaruhi akumulasi Cd pada *A. granosa* adalah ukuran kerang seperti panjang dan berat dan juga lokasi penangkapannya (Soegianto *et al.*, 2020; Ulfah *et al.*, 2019; Yona *et al.*, 2021). Berdasarkan hubungan antara Cd dan morfometriknya, ditemukan korelasi positif yang signifikan antara panjang dan berat ($r = 0,98$; $p < 0,05$), Cd dan panjang ($r = 0,33$; $p < 0,05$), serta Cd dan berat ($r = 0,53$; $p < 0,05$) (Gambar 1).



Gambar 1. Hubungan antara panjang dan berat (A); Cd dan panjang (B) dan Cd dan berat (C) pada *A. granosa*.

Berdasarkan klasifikasi ukurannya, *A. granosa* yang berukuran lebih besar (43,2 – 56,8 g) di penelitian ini lebih panjang (3,70 – 4,40 cm) mengandung konsentrasi Cd ($7,73 \pm 4,50 \mu\text{g/g}$) relatif lebih tinggi 2 kali jika dibandingkan kerang yang lebih kecil (43,2 – 56,8 g; 1,50 – 1,60 cm) dengan konsentrasi Cd adalah $3,13 \pm 2,57 \mu\text{g/g}$. Temuan ini mengindikasikan bahwa *A. granosa* yang berukuran lebih besar mempunyai waktu lebih lama untuk mengakumulasi Cd di dalam tubuhnya. Selain itu, proses akumulasi Cd dapat meningkat seiring dengan pertumbuhan kerang itu sendiri. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian

yang dilakukan oleh Ulfah *et al.*, (2019) di Perairan Jawa Timur yang menemukan bahwa ukuran *A. granosa* yang besar memiliki tingkat akumulasi Cd yang lebih tinggi (0,03 – 0,07 $\mu\text{g/g}$) dibanding yang kecil (0,01 – 0,03 $\mu\text{g/g}$). Namun, hasil yang berbeda ditemukan oleh Ameliana *et al.*, (2018) di Muara Pantuan, Kalimantan Timur, dimana konsentrasi Cd pada *A. granosa* yang berukuran sedang (1,36 $\mu\text{g/g}$) lebih tinggi dibandingkan dengan ukuran besar (0,94 $\mu\text{g/g}$) dan kecil (0,44 $\mu\text{g/g}$).

Perbandingan Logam Cd pada *A. granosa*

Konsentrasi Cd pada *A. granosa* yang dikumpulkan dari beberapa pasar tradisional di Kota Samarinda dibandingkan antar spesies dan lokasi (Tabel 1). Nilai rerata konsentrasi Cd pada *A. granosa* di penelitian ini lebih tinggi dari hasil investigasi yang dilakukan oleh beberapa peneliti di lokasi yang berbeda di Indonesia (Tabel 1). Sebagai contoh, konsentrasi Cd di penelitian ini lebih dari 7 dan 10 kali lipat jika dibandingkan dengan hasil investigasi yang dilakukan oleh Ameliana *et al.*, (2018) di Muara Pantuan, Kalimantan Timur dan Zulkarnain *et al.*, (2013) di Pantai Manyar dan Gresik, Jawa Timur. Temuan ini mengindikasikan bahwa perbedaan lokasi pengambilan sampel kerang, serta sumber Cd dari aktifitas alami dan manusia seperti pertanian dan pertambangan dapat memainkan peran penting dalam akumulasi Cd (Soegianto *et al.*, 2020). Di Delta Mahakam, sumber konsentrasi Cd biasanya berasal dari aktivitas alami dan antropogenik seperti limbah air industri yang tidak diolah, pertanian, perikanan, pertambangan batubara, pertambangan minyak dan gas, serta degradasi habitat (Budiyanto, 2011; Effendi *et al.*, 2016; Wibowo, 2017).

Secara umum, konsentrasi Cd yang terdapat pada *A. granosa* di penelitian ini lebih tinggi dari ambang batas untuk bahan pangan manusia berdasarkan baku mutu dari *European Commission* (EC), Standard Nasional Indonesia (SNI), dan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) dengan nilai 1,00 $\mu\text{g/g}$ (BPOM RI, 2022; EC, 2006; SNI, 2009) dan *Food and Drug Administration* (FDA) dengan nilai 4,00 $\mu\text{g/g}$ (FDA, 2009) (Tabel 1).

Analisis Risiko Kesehatan

Tabel 2 menunjukkan bahwa perkiraan asupan mingguan (EWI) untuk orang dewasa berkisar $2,42 \times 10^{-8}$ – $2,29 \times 10^{-5} \mu\text{g/kg}$ tubuh berat

badan/hari dengan rerata $8,26 \times 10^{-6}$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ berat badan/hari. Sedangkan nilai EWI untuk anak – anak mulai dari $1,56 \times 10^{-7}$ sampai $1,48 \times 10^{-4}$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ tubuh berat badan/hari dengan rerata $5,33 \times 10^{-5}$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ berat badan/hari. Secara umum, seluruh nilai EWI baik untuk orang dewasa dan anak - anak lebih rendah dari ambang batas asupan mingguan sementara yang dapat ditoleransi (PTWI)

berdasarkan *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives* (JECFA, 2011) dengan nilai 7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ berat badan/hari. Kemudian, nilai EWI di penelitian ini jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai EWI pada *A. granosa* yang ditemukan oleh Soegianto *et al.*, (2020) di beberapa lokasi di Pantai Jawa Timur dengan kisaran 1,85–13,29 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{hari}$.

Tabel 1. Perbandingan konsentrasi Cd ($\mu\text{g}/\text{g}$) pada *A. granosa* dari Kota Samarinda dengan lokasi penelitian yang berbeda di Indonesia

Spesies	Lokasi	N	Panjang (cm)	Berat (gr)	Cd ($\mu\text{g}/\text{g}$)	Referensi
<i>A. granosa</i>	Pantai Manyar dan Jabon, Jawa Timur	18	3,00 – 5,00	-	$0,97 \pm 0,48$ (0,53 – 2,11)	Zulkarnain <i>et al.</i> , (2013)
<i>A. granosa</i>	Muara Nongsa, Batam, Kepulauan Riau	3	-	-	$0,08 \pm 0,01$ (0,06 – 0,09)	Suryani <i>et al.</i> , (2015)
<i>A. granosa</i>	Muara Pantuan, Kalimantan Timur	20	2,00 – 5,00	-	$0,80 \pm 0,71$ (0,29 – 2,62)	Ameliana <i>et al.</i> , (2018)
<i>A. granosa</i>	Pantai Bancaran Kabupaten Bangkalan, Madura	-	1,00 – 4,00	-	$0,04 \pm 0,02$ (0,01 – 0,03)	Ulfah <i>et al.</i> , (2019)
<i>A. granosa</i>	Bangkalan, Jawa Timur	6	$3,5 \pm 0,6$	-	$0,34 \pm 0,05$	Soegianto <i>et al.</i> , (2020)
	Gresik, Jawa Timur	6	$3,5 \pm 0,6$	-	$0,82 \pm 0,12$	
	Lamongan, Jawa Timur	6	$3,5 \pm 0,6$	-	$0,37 \pm 0,09$	
	Surabaya, Jawa Timur	6	$3,5 \pm 0,6$	-	$0,32 \pm 0,08$	
<i>A. granosa</i>	Tambak Lorok, Semarang	4	-	-	$0,72 \pm 0,63$ (0,28 – 1,65)	Satriawan <i>et al.</i> , (2021)
<i>A. granosa</i>	Teluk Bima	20	-	-	0,76	Khairuddin & Yamin (2021)
<i>A. granosa</i>	Panipahan, Rokan Hilir, Riau	-	-	-	0,07 – 0,08	Riza <i>et al.</i> , (2021)
<i>A. granosa</i>	Selat Madura, Jawa Timur	-	-	-	0,37	Yona <i>et al.</i> , (2021)
<i>A. granosa</i>	Pangkajene dan kepulauan, Sulawesi Selatan	3	-	-	0,42	Astuti <i>et al.</i> , (2022)
<i>A. granosa</i>	Tanjung Jabung Timur, Jambi	6	-	-	$0,21 \pm 0,03$ (0,16 – 0,25)	Lisna <i>et al.</i> , (2024)
<i>A. granosa</i>	Delta Mahakam bagian Utara, Kalimantan Timur	28	$2,79 \pm 1,09$ (1,50 – 4,40)	$22,4 \pm 19,0$ (4,03 – 56,8)	$5,99 \pm 5,10$ (0,02 – 16,6)	Penelitian ini
European Commission					1,00	EC (2006)
SNI					1,00	SNI (2009)
FDA					4,00	FDA (2009)
BPOM					1,00	BPOM (2022)

Nilai HQ pada orang dewasa berkisar $3,46 \times 10^{-12}$ – $3,27 \times 10^{-9}$ dengan rerata $1,18 \times 10^{-9}$. Kemudian, untuk anak – anak mulai dari $2,23 \times 10^{-11}$ – $2,11 \times 10^{-8}$ dengan rerata $7,61 \times 10^{-9}$. Secara umum semua semua sampel menunjukkan nilai HQ <1, yang menunjukkan bahwa tidak ada potensi risiko bagi orang dewasa dan anak – anak yang mengonsumsi kerang darah yang diperjualbelikan dari beberapa pasar tradisional di Kota Samarinda. Temuan ini relatif sama dengan hasil penelitian logam Cd pada *A. granosa* yang dilakukan oleh Sudsandee *et al.*, (2017) di Teluk

Thailand, dimana nilai HQ pada orang dewasa dan anak – anak masih masih kurang dari satu (HQ<1) (Tabel 2).

Temuan yang sama juga ditemukan pada risiko kanker (TR), yang mana nilai TR pada orang dewasa mulai dari $1,31 \times 10^{-9}$ sampai $1,24 \times 10^{-6}$ dengan rerata $4,48 \times 10^{-7}$. Kemudian, untuk anak – anak berkisar $8,47 \times 10^{-9}$ – $8,01 \times 10^{-6}$ dengan rerata $2,89 \times 10^{-6}$ (Tabel 2). Secara umum, semua nilai TR untuk semua konsumen baik dewasa dan anak – anak di kota Samarinda berisiko lemah ($\leq 10^{-6}$) berdasarkan *New York*

Tabel 2. Potensi risiko bagi kesehatan manusia: EWI, HQ dan CR pada kerang darah (*A. granosa*) pada orang dewasa (64,5 kg) dan anak-anak (10 kg) di Kota Samarinda

No sampel	EWI (µg/kg berat badan/hari)		HQ		TR	
	Dewasa	Anak-anak	Dewasa	Anak-anak	Dewasa	Anak-anak
1	$2,92 \times 10^{-6}$	$1,88 \times 10^{-5}$	$4,17 \times 10^{-10}$	$2,69 \times 10^{-9}$	$1,58 \times 10^{-7}$	$1,02 \times 10^{-6}$
2	$4,24 \times 10^{-6}$	$2,74 \times 10^{-5}$	$6,06 \times 10^{-10}$	$3,91 \times 10^{-9}$	$2,30 \times 10^{-7}$	$1,49 \times 10^{-6}$
3	$2,42 \times 10^{-8}$	$1,56 \times 10^{-7}$	$3,46 \times 10^{-12}$	$2,23 \times 10^{-11}$	$1,31 \times 10^{-9}$	$8,47 \times 10^{-9}$
4	$7,85 \times 10^{-6}$	$5,06 \times 10^{-5}$	$1,12 \times 10^{-9}$	$7,23 \times 10^{-9}$	$4,26 \times 10^{-7}$	$2,75 \times 10^{-6}$
5	$5,03 \times 10^{-6}$	$3,25 \times 10^{-5}$	$7,19 \times 10^{-10}$	$4,64 \times 10^{-9}$	$2,73 \times 10^{-7}$	$1,76 \times 10^{-6}$
6	$1,08 \times 10^{-5}$	$6,94 \times 10^{-5}$	$1,54 \times 10^{-9}$	$9,91 \times 10^{-9}$	$5,84 \times 10^{-7}$	$3,77 \times 10^{-6}$
7	$2,59 \times 10^{-6}$	$1,67 \times 10^{-5}$	$3,70 \times 10^{-10}$	$2,39 \times 10^{-9}$	$1,41 \times 10^{-7}$	$9,08 \times 10^{-7}$
8	$1,14 \times 10^{-6}$	$7,38 \times 10^{-6}$	$1,63 \times 10^{-10}$	$1,05 \times 10^{-9}$	$6,21 \times 10^{-8}$	$4,00 \times 10^{-7}$
9	$6,26 \times 10^{-7}$	$4,04 \times 10^{-6}$	$8,94 \times 10^{-11}$	$5,77 \times 10^{-10}$	$3,40 \times 10^{-8}$	$2,19 \times 10^{-7}$
10	$1,26 \times 10^{-6}$	$8,13 \times 10^{-6}$	$1,80 \times 10^{-10}$	$1,16 \times 10^{-9}$	$6,85 \times 10^{-8}$	$4,42 \times 10^{-7}$
11	$2,30 \times 10^{-6}$	$1,48 \times 10^{-5}$	$3,28 \times 10^{-10}$	$2,12 \times 10^{-9}$	$1,25 \times 10^{-7}$	$8,04 \times 10^{-7}$
12	$2,19 \times 10^{-6}$	$1,41 \times 10^{-5}$	$3,13 \times 10^{-10}$	$2,02 \times 10^{-9}$	$1,19 \times 10^{-7}$	$7,66 \times 10^{-7}$
13	$5,19 \times 10^{-6}$	$3,35 \times 10^{-5}$	$7,41 \times 10^{-10}$	$4,78 \times 10^{-9}$	$2,82 \times 10^{-7}$	$1,82 \times 10^{-6}$
14	$7,88 \times 10^{-6}$	$5,09 \times 10^{-5}$	$1,13 \times 10^{-9}$	$7,26 \times 10^{-9}$	$4,28 \times 10^{-7}$	$2,76 \times 10^{-6}$
15	$6,26 \times 10^{-6}$	$4,04 \times 10^{-5}$	$8,95 \times 10^{-10}$	$5,77 \times 10^{-9}$	$3,40 \times 10^{-7}$	$2,19 \times 10^{-6}$
16	$2,29 \times 10^{-5}$	$1,48 \times 10^{-4}$	$3,27 \times 10^{-9}$	$2,11 \times 10^{-8}$	$1,24 \times 10^{-6}$	$8,01 \times 10^{-6}$
17	$2,18 \times 10^{-5}$	$1,41 \times 10^{-4}$	$3,12 \times 10^{-9}$	$2,01 \times 10^{-8}$	$1,18 \times 10^{-6}$	$7,64 \times 10^{-6}$
18	$1,97 \times 10^{-5}$	$1,27 \times 10^{-4}$	$2,81 \times 10^{-9}$	$1,81 \times 10^{-8}$	$1,07 \times 10^{-6}$	$6,88 \times 10^{-6}$
19	$4,69 \times 10^{-6}$	$3,02 \times 10^{-5}$	$6,70 \times 10^{-10}$	$4,32 \times 10^{-9}$	$2,55 \times 10^{-7}$	$1,64 \times 10^{-6}$
20	$4,89 \times 10^{-6}$	$3,15 \times 10^{-5}$	$6,99 \times 10^{-10}$	$4,51 \times 10^{-9}$	$2,65 \times 10^{-7}$	$1,71 \times 10^{-6}$
21	$1,36 \times 10^{-5}$	$8,78 \times 10^{-5}$	$1,94 \times 10^{-9}$	$1,25 \times 10^{-8}$	$7,39 \times 10^{-7}$	$4,77 \times 10^{-6}$
22	$2,33 \times 10^{-6}$	$1,51 \times 10^{-5}$	$3,33 \times 10^{-10}$	$2,15 \times 10^{-9}$	$1,27 \times 10^{-7}$	$8,17 \times 10^{-7}$
23	$5,12 \times 10^{-6}$	$3,30 \times 10^{-5}$	$7,32 \times 10^{-10}$	$4,72 \times 10^{-9}$	$2,78 \times 10^{-7}$	$1,79 \times 10^{-6}$
24	$8,60 \times 10^{-6}$	$5,55 \times 10^{-5}$	$1,23 \times 10^{-9}$	$7,92 \times 10^{-9}$	$4,67 \times 10^{-7}$	$3,01 \times 10^{-6}$
25	$1,98 \times 10^{-5}$	$1,28 \times 10^{-4}$	$2,83 \times 10^{-9}$	$1,82 \times 10^{-8}$	$1,07 \times 10^{-6}$	$6,93 \times 10^{-6}$
26	$1,57 \times 10^{-5}$	$1,01 \times 10^{-4}$	$2,24 \times 10^{-9}$	$1,45 \times 10^{-8}$	$8,52 \times 10^{-7}$	$5,49 \times 10^{-6}$
27	$1,52 \times 10^{-5}$	$9,81 \times 10^{-5}$	$2,17 \times 10^{-9}$	$1,40 \times 10^{-8}$	$8,25 \times 10^{-7}$	$5,32 \times 10^{-6}$
28	$1,66 \times 10^{-5}$	$1,07 \times 10^{-4}$	$2,38 \times 10^{-9}$	$1,53 \times 10^{-8}$	$9,03 \times 10^{-7}$	$5,82 \times 10^{-6}$
Min	$2,42 \times 10^{-8}$	$1,56 \times 10^{-7}$	$3,46 \times 10^{-12}$	$2,23 \times 10^{-11}$	$1,31 \times 10^{-9}$	$8,47 \times 10^{-9}$
Max	$2,29 \times 10^{-5}$	$1,48 \times 10^{-4}$	$3,27 \times 10^{-9}$	$2,11 \times 10^{-8}$	$1,24 \times 10^{-6}$	$8,01 \times 10^{-6}$
Rerata	$8,26 \times 10^{-6}$	$5,33 \times 10^{-5}$	$1,18 \times 10^{-9}$	$7,61 \times 10^{-9}$	$4,48 \times 10^{-7}$	$2,89 \times 10^{-6}$

Singkatan : Min = Minimum; Max = Maksimum

State Department of Health (NYSDH, 2007) dan USEPA (2010). Namun, para konsumen dewasa dan anak – anak di Kota Samarinda perlu berhati – hati dalam mengkonsumsi kerang dari lokasi penelitian ini. Hal ini dikarenakan nilai konsentrasi Cd pada kerang ini telah melebihi batas maksimum untuk konsumsi manusia berdasarkan beberapa baku mutu yang telah dijelaskan sebelumnya. Jika *A. granosa* dikonsumsi secara terus menerus dalam jangka waktu lama, dikhawatirkan dapat meningkatkan potensi risiko kesehatan bagi konsumen (Genchi *et al.*, 2020).

Jika dilihat dari nilai risiko kesehatannya, semua nilai EW, HQ dan TR terutama pada anak – anak di penelitian ini relatif lebih tinggi dibandingkan dengan orang dewasa. Hal ini terjadi mungkin lebih disebabkan oleh beberapa faktor, yakni berat badan anak – anak lebih rendah dibanding dewasa, sehingga proses akumulasi Cd pada tubuh anak – anak relatif lebih tinggi. Selain itu, nilai rerata konsumsi *A. granosa* di Kota Samarinda relatif lebih rendah yakni hanya 12,71 gram/hari atau 0,013 kg/hari (BPS Kota Samarinda, 2022). Temuan ini didukung oleh hasil investigasi yang dilakukan oleh Satriawan *et al.* (2021) di daerah Jawa Tengah, dimana nilai risiko kesehatan dapat dipengaruhi banyaknya asupan logam Cd pada kerang yang masuk dan juga massa tubuh para konsumen.

Secara umum, nilai rerata konsumsi *A. granosa* di kota Samarinda jauh lebih rendah dibandingkan dengan konsumsi ikan di propinsi Kalimantan Timur yang mencapai 42 kg per kapita pada tahun 2019 (Kaltimprov, 2022) dan juga konsumsi ikan nasional yakni 38,1 kg/kapita pada 2014 (Djunaidah, 2017). Karenanya, mungkin beberapa alasan tersebut yang membuat potensi karsinogenik pada tubuh konsumen di kota Samarinda lebih rendah. Proses detoksifikasi dan ekskresi logam Cd (melalui *urine* dan *feses*) pada tubuh manusia juga dapat berperan untuk mengurangi bioakumulasi logam Cd (Yabe *et al.*, 2018). Sehingga, proses ekskresi tersebut mungkin dapat mengurangi risiko terjadinya potensi karsinogenik (kanker payudara, paru-paru, prostat, nasofaring, pankreas, dan ginjal) pada tubuh manusia akibat mengkonsumsi makanan dan air yang terkontaminasi Cd (Genchi *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2021).

KESIMPULAN

Konsentrasi Cd pada kerang darah (*A. granosa*) yang dibeli dari beberapa pasar

tradisional di Kota Samarinda berkisar 0,02 - 16,6 µg/g. Konsentrasi Cd pada otot *A. granosa* lebih tinggi dari nilai batas maksimum yang ditetapkan oleh beberapa ambang batas untuk bahan pangan berdasarkan EC, SNI, BPOM dan FDA. Akumulasi logam Cd pada *A. granosa* dipengaruhi oleh panjang, berat dan habitat. Konsentrasi Cd pada *A. granosa* dipengaruhi oleh aktifitas manusia seperti perikanan, pertanian, eksplorasi minyak dan gas serta masukan dari limpasan sungai. Seluruh nilai EW pada kerang lebih rendah dari pedoman PTWI. Semua nilai HQ nilai lebih rendah dari satu, dan potensi kanker (TR) akibat mengkonsumsi *A. granosa* untuk semua konsumen baik dewasa dan anak – anak berisiko lemah. Disarankan agar orang dewasa dan anak – anak di Kota Samarinda agar berhati-hati mengkonsumsi *A. granosa* untuk menghindari potensi risiko kesehatan. Selain itu, program biomonitoring konsentrasi logam Cd pada *A. granosa* secara berkala perlu dilakukan untuk mengantisipasi risiko kesehatan bagi para konsumen di Kota Samarinda.

DAFTAR PUSTAKA

- Ameliana., Ghitarina. & Suryana, I. 2018. Analisis Kandungan Pb, Cd, dan Cu pada Berbagai Ukuran Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Muara Pantuan Kecamatan Anggana Kabupaten Kutai Kartanegara. *Aquarine*, 5(2): 22–29.
- Anggara, G., Mandang, I. & Rahmiati. 2021. Studi Karakteristik Sedimen di Estuari Delta Mahakam Kalimantan Timur. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 4(1): 1–8.
- Astuti, R.D.P., Mallongi, A., Choi, K., Amiruddin, R., Hatta, M., Tantrakarnapa, K. & Rauf, A.U. 2022. Health Risks from Multiroute Exposure of Potentially Toxic Elements in a Coastal Community: A Probabilistic Risk Approach in Pangkep Regency, Indonesia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 13(1): 705–735. doi: 10.1080/19475705.2022.2041110
- BPS [Badan Pusat Statistik] Kota Samarinda. 2022. Rata-Rata Konsumsi Protein Per Kapita Sehari Menurut Kelompok Makanan dan Kelompok Pengeluaran (Gram). Badan Pusat Statistik Kota Samarinda. Diakses pada 28 Maret 2024, dari
- BPOM RI. 2022. Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 9 Tahun 2022 Tentang

- Persyaratan Cemaran Logam Berat dalam Pangan Olahan. BPOM RI. Diakses pada 28 Maret 2024.
- Budiyanto, F.L. 2011. Study of Metal Contaminant Level in the Mahakam Delta: Sediment and Dissolved Metal Perspectives. *Journal of Coastal Development*, 16(2): 147–157.
- Djunaidah, I.S. 2017. Tingkat Konsumsi Ikan di Indonesia: Ironi di Negeri Bahari. *Jurnal Penyuluhan Perikanan Dan Kelautan*, 11(1): 12–24.
- EC [European Commission]. 2006. Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of the European Union. Accessed 28 March 2024.
- Effendi, H., Kawaroe, M., Mursalin, & Lestari, D.F. 2016. Ecological Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Surface Sediment of Mahakam Delta, East Kalimantan. *Procedia Environmental Sciences*, 33: 574–582. doi: 10.1016/j.proenv.2016.03.110
- FAO/WHO. 2011. Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation on the Risks and Benefits of Fish Consumption. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome Italy.
- FDA [Food and Drug Administration]. 2009. National Shellfish Sanitation Program Guide for the Control of Mollusca Shellfish 2007 Revision. Accessed 28 March 2024 from <http://www.cfsan.fda.gov/~ear/nss4-1.html>
- Genchi, G., Sinicropi, M. S., Lauria, G., Carocci, A. & Catalano, A. 2020. The Effects of Cadmium Toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11): 1–24. doi: 10.3390/ijerph17113782
- Gnonsoro, U.P., Ake Assi, Y.E.D., Sangare, N.S., Kouakou, Y.U. & Trokourey, A. 2022. Health Risk Assessment of Heavy Metals (Pb, Cd, Hg) in Hydroalcoholic Gels of Abidjan, Côte d'Ivoire. *Biological Trace Element Research*, 200(5): 2510–2518. doi: 10.1007/s12011-021-02822-y
- Handayani, R., Natalinda, B., Lia, N., Sumaria, S. & Majid, A. 2020. Kadar Logam Berat Cu, Cr, Pb dan Zn Pada Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Muara Elo dan Kerang Kepah (*Polymesoda erosa*) Di Loa Janan Ilir Kalimantan Timur. *Jambura Journal of Chemistry*, 2(2): 70–77. doi: 10.34312/jambchem.v2i2.6995
- JECFA. 2011. Evaluation of Certain Contaminants in Food: Seventy-second [73rd] Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. The Hague, The Netherlands
- Jing, W., Lang, L., Lin, Z., Liu, N. & Wang, L. 2019. Cadmium Bioaccumulation and Elimination in Tissues of the Freshwater Mussel *Anodonta woodiana*. *Chemosphere*, 219: 321–327. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.12.033
- Kaltimprov. 2022. Data Konsumsi Ikan Propinsi Kaltim tahun 2016-2021. Kelautan Dan Perikanan Dalam Angka. Diakses pada 07 Juli 2015, dari <https://kkp.go.id/setjen/satudata/page/1453-kelautan-dan-perikanan-dalam-angka>
- Khairuddin, K. & Yamin, M. 2021. Analysis of Cadmium (Cd) and Lead (Pb) Heavy Metal Content in Shell and Mangroves at Bima Bay. *Journal of Science and Science Education*, 2(1): 58–61. doi: 10.29303/joss ed.v2i1.726
- Li, Y., Yang, H., Liu, N., Luo, J., Wang, Q. & Wang, L. 2015. Cadmium accumulation and Metallothionein Biosynthesis in Cadmium-Treated Freshwater Mussel *Anodonta woodiana*. *PLoS ONE*, 10(2): 1–15. doi: 10.1371/journal.pone.0117037
- Linda, R., Warsidah, W. & Kurniadi, B. 2023. Kandungan Kadmium (Cd) dalam Kerang Darah (*Anadara granosa*) dan Sedimen Asal Perairan Pulau Sedanau Kabupaten Natuna. *Jurnal Akuatiklestari*, 6(2): 195–199. doi: 10.31629/akuatiklestari.v6i2.5109
- Lisna, L., Ramadan, F. & Arfiana. 2024. Assessment of Heavy Metals in Blood Clams (*Anadara granosa*) in the Waters of the East Coast of Jambi, East Tanjung Jabung Regency, Jambi, Indonesia. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 41(2): 537–543.
- NYS DH [New York State Department of Health]. 2007. Hopewell Precision Area Contamination: Appendix C-NYS DOH. Procedure for Evaluating Potential Health Risks for Contaminants of Concern. Department of Health. Accessed 28 March 2024, from <https://www.health.ny.gov/environmental/investigations/hopewell/appen dc.htm>.
- Permana, B., Rafii, A. & Eryati, R. 2022.

- Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu) pada Air dan Sedimen di Muara Perairan Kecamatan Muara Jawa Kabupaten Kutai Kartanegara. *Tropical Aquatic Sciences*, 1(1): 62–68. doi: 10.30872/tas.v1i1.474
- Permata, Y. M., Liesna, A. T., Rangkuti, F. M., Insyra, K. & Dayanti, Y. 2023. Proximate Composition of *Anadara granosa* and *Paphia undulata*. *Indonesian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 6(1): 1–5. doi: 10.32734/idjpcr.v6i1.9196
- Rifandi. 2024. Potensi Sumber Daya Ikan di Kaltim Cukup Besar. Diakses Pada 07 Juli 2015. <https://kaltim.antaranews.com/berita/206091/Potensi-Sumber-Daya-Ikan-Di-kaltim-Cukup-Besar>.
- Ritonga, I.R. & Aditya Budiarsa, A. 2022. Survei Tingkat Konsumsi Ikan Laut di Kalimantan Timur. *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*, 5(2): 664–673.
- Ritonga, I.R., Effendi, M. & Hamdhani. 2018. Analisis Resiko Kesehatan Pencemaran Logam Berat pada Tiram (*Saccostrea cucullata*) di Pesisir Salo Palai, propinsi Kalimantan Timur. *Enggano*, 3(2): 241–249.
- Riza, S., Gevisioner, G., Suprijanto, J., Widowati, I., Putra, I. & Effendi, I. 2021. Farming and Food Safety Analysis of Blood Cockles (*Anadara granosa*) from Rokan Hilir, Riau, Indonesia. *AAFL Bioflux*, 14(2): 804–812.
- Rubino, F.M. 2015. Toxicity of Glutathione-Binding Metals: A Review of Targets and Mechanisms. *Toxics*, 3(1): 20–62. doi: 10.3390/toxics3010020
- 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. doi: 10.14710/jmr.v10i3.30155
- Sidik, S., Syafril, M., Aristiawan, B. & Bosma, R. W. 2014. Financial Analysis of Tiger Shrimp and Milkfish Pond Farming and Farmer's Motivation in Muara Badak, Mahakam Delta, Indonesia. *Jurnal Ilmu Perikanan Tropis*, 19(2): 75–84.
- SNI [Standard Nasional Indonesia]. 7387-2009. Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan. Jakarta, 25pp
- Soegianto, A., Widyaeksono, T., Putranto, C., Lutfi, W., Almirani, F.N., Hidayat, A.R., Muhammad, A., Firdaus, R.A., Rahmadhani, Y.S., Aina, D., Fadila, N. & Hidayati, D. 2020. Concentrations of Metals in Tissues of Cockle *Anadara granosa* (Linnaeus, 1758) from East Java Coast, Indonesia, and Potential Risks to Human Health. *International Journal of Food Science*, 5345162: 1–9.
- Sudsandee, S., Tantrakarnapa, K., Tharnpoophasiam, P., Limpanont, Y., Mingkhwan, R. & Worakhunpiset, S. 2017. Evaluating Health Risks Posed by Heavy Metals to Humans Consuming Blood Cockles (*Anadara granosa*) from the Upper Gulf of Thailand. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(17): 4605–4615. doi: 10.1007/s11356-017-9014-5
- Sulistiyangingsih, E. & Arbi, U.Y. 2020. Aspek Bio-Ekologi Dan Pemanfaatan Kerang Marga Anadara (Mollusca: Bivalvia: Arcidae). *Oseana*, 45(2): 69–85.
- Suryani, M., Nursal. & Febrita, E. 2015. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada *Anadara granosa* di Pantai Nongsa Kota Batam untuk Penyusunan Lembar Tugas Siswa pada Konsep Pencemaran Air di SMA. *Jurnal Online Mahasiswa*, 2(2): 1–15.
- 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. *Toxics*, 11(1): p18. doi: 10.3390/toxics11010018
- Taylor, A.A., Tsuji, J.S., McArdle, M.E., Adams, W.J. & Goodfellow, W.L. 2023. Recommended Reference Values for Risk Assessment of Oral Exposure to Copper. *Risk Analysis*, 43(2): 211–218. doi: 10.1111/risa.13906
- Toding, M.A.S., Ghitarina. & Suryana, I. 2018. Bioakumulasi Kandungan Timbal (Pb), Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu) di Berbagai Ukuran kerang tahu (*Meretrix meretrix*) di Perairan Dusun Pangempang Kecamatan Muara Badak Kabupaten Kutai Kartanegara. *Aquarine*, 5(2): 1–10.
- Ulfah, E.S., Rahardja, B.S. & Pursetyo, K.T. 2019. Studi Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) pada Berbagai Ukuran Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Perairan Pantai Bancaran Kabupaten Bangkalan, Madura. *Journal of Marine and Coastal Science*, 8(3): 107-118.

- USEPA [United States Environmental Protection Agency]. 2000. Risk Assessment and Fish Consumption Limits Third Edition Office. Washington, DC. Accessed 29 March 2024, from <https://www.epa.gov>
- USEPA [United States Environmental Protection Agency]. 2010. *Toxicological Review of Formaldehyde-Inhalation Assessment*. Toxicological Review of Formaldehyde-Inhalation Assessment. Washington, DC. Accessed 29 March 2024, from https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0419_summary.pdf
- USEPA [United States Environmental Protection Agency]. 2011. Exposure Factors Handbook 2011 Edition (Final Report). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. Accessed 28 March 2024, from https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recor_display.cfm?deid=236252
- USEPA [United States Environmental Protection Agency]. 2023. Regional Screening Levels (RSLs) - User's Guide May 2023. Accessed 28 March 2024, from <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-generic-tables>
- Wang, Z., Sun, Y., Yao, W., Ba, Q. & Wang, H. 2021. Effects of Cadmium Exposure on the Immune System and Immunoregulation. *Frontiers in Immunology*, 12: 1–15. doi: 10.3389/fimmu.2021.695484
- WHO [World Health Organization]. 2019. Life expectancy. Life Expectancy at Birth: The Average Number of Years That a Newborn Could Expect to Live. Indonesia, Both Sexes, 2000 - 2019. Accessed 07 April 2024, from <https://Data.Who.Int/Countries/360>.
- Wibowo, M. 2017. Kajian Kualitas Air dan Sedimen Dasar Sungai Kutai Lama - Kab. Kutai Kartanegara Sebagai Pertimbangan Awal Rencana Pengerukan. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 14(1): 24-29. doi: 10.14710/presipitasi.v14i1.24-29
- Yabe, J., Nakayama, S. M. M., Ikenaka, Y., Johannes, Y. B., Bortey-Sam, N., Kabalo, A. N., Ntapisha, J., Mizukawa, H., Umemura, T. & Ishizuka, M. 2018. Lead and Cadmium Excretion in Feces and Urine of Children from Polluted Townships Near a Lead-Zinc Mine in Kabwe, Zambia. *Chemosphere*, 202: 321–327.
- Yona, D., Sartimbul, A., Rahman, M. A., Sari, S. H. J., Mondal, P., Hamid, A. & Humairoh, T. 2021. Bioaccumulation and Health Risk Assessments of Heavy Metals in Mussels collected from Madura Strait, Indonesia. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 13(1):20–28. doi: 10.20473/jipk.v13i1.24677
- Zain, Z., Hutabarat, S., Prayitno, S.B. & Ambaryanto, A. 2014. Potency of Mahakam Delta in East Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Science and Engineering*, 6(2): 126–130. doi: 10.12777/ijse.6.2.126-130
- Zulkarnain, M.N.F., Rahardja, B.S. & Alamsjah, M.A. 2013. The Study of Heavy Metal Content Cadmium (Cd) Species on *Rastrelliger kanagurta* and *Anadara granosa* In Manyar, Gresik and Jabon Sidoarjo. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 5(1): 37–42.