

Kontaminasi Kadmium (Cd) dalam Air, Sedimen, dan Kerang Hijau (*Perna viridis*) di perairan pantai Semarang

Maurina Chasimira Edenie Pangalasen, Bambang Yulianto, Subagiyo*, Diah Permata Wijayanti

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Jacob Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia

Corresponding author, e-mail: subagiyo@lecturer.undip.ac.id

ABSTRAK: Pantai Semarang rentan terkontaminasi logam berat kadmium yang bersumber dari aktivitas antropogenik, diantaranya berasal dari industri dan pelabuhan, kadmium merupakan salah satu logam berat yang sangat beracun dan tidak esensial. Kadmium dan senyawanya bersifat hidrofilik sehingga mudah masuk ke rantai makanan dan terakumulasi di dalamnya. Konsumsi makanan terkontaminasi kadmium yang berlebihan atau dalam jangka panjang telah menimbulkan kekhawatiran menyebabkan kerusakan serius pada organ-organ penting. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi kadmium pada air laut, sedimen, dan kerang hijau di Perairan Pantai Semarang serta menentukan batas aman konsumsi kerang hijau dari wilayah tersebut. Analisis kadmium dilakukan menggunakan metode spektroskopi serapan atom. Hasil penelitian pada bulan September dan Oktober menunjukkan bahwa konsentrasi kadmium dalam air laut berkisar antara $<0,0008 - <0,001$ mg/L, dalam sedimen $<1,932$ mg/Kg, dan dalam kerang hijau $<0,020 - 0,0049$ mg/Kg. Batas aman konsumsi kerang hijau dari Perairan Pantai Semarang masing-masing adalah $2,625 - >5,25$ mg dan $2,14 - >5,25$ mg untuk anak-anak, $7,875 - >15,75$ mg dan $6,43 - >15,75$ mg untuk wanita, serta $10,50 - >21$ mg dan $8,57 - >21$ mg untuk pria. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengelolaan kualitas lingkungan perairan serta pengawasan konsumsi kerang hijau guna meminimalkan risiko kesehatan akibat paparan kadmium.

Kata kunci: Kadmium; pantai Semarang; *Perna viridis*

Cadmium (Cd) Contamination in Water, Sediment, and Green Mussels (Perna viridis) in Semarang coastal waters

ABSTRACT: Semarang coastal waters are vulnerable to contamination by heavy metal cadmium (Cd) originating from anthropogenic activities, including from industry and ports. Cadmium is a highly toxic and non-essential heavy metal. Cadmium and its compounds are hydrophilic so they easily enter the food chain and accumulate in it. Excessive or long-term consumption of cadmium-contaminated food has raised concerns about causing serious damage to vital organs. This study aims to analyze the concentration of Cadmium in seawater, sediment, and green mussels in Semarang Coastal Waters and determine the safe limit for consumption of green mussels from the area. Cadmium analysis was carried out using the Atomic Absorption Spectrophotometer atomic absorption spectroscopy method. The results of the study in September and October showed that the concentration of Cadmium in seawater ranged from $<0.0008 - <0.001$ mg/L, in sediment <1.932 mg/Kg, and in green mussels $<0.020 - 0.0049$ mg/Kg. The safe consumption limits of green mussels from the coastal waters of Semarang in September and October were $2,625 - >5,25$ mg and $2,14 - >5,25$ mg for children, $7,875 - >15,75$ mg and $6,43 - >15,75$ mg for women, and $10,50 - >21$ mg and $8,57 - >21$ mg for men. These findings are expected to serve as a basis for managing water quality and monitoring green mussel consumption to minimize health risks associated with Cadmium exposure.

Keywords: Cadmium; Semarang coastal waters; *Perna viridis*.

PENDAHULUAN

Kadmium (Cd) adalah logam transisi non-esensial yang bersifat toksik dan berisiko bagi kesehatan manusia maupun hewan. Kadmium terdapat di lingkungan sebagai polutan yang berasal dari sumber pertanian dan industri (Genchi, *et al.*, 2020). Logam kadmium tidak larut dalam air, tetapi garam klorida dan sulfatnya dapat larut bebas, membentuk ikatan yang lemah dengan partikel, dapat dipertukarkan. Kadmium terlarut dalam berbagai kompleks kadmium bervariasi dengan salinitas air laut. Karakter ini membuat Kadmium bersifat mobil di lingkungan laut (Neff, 2002). Menurut Genchi *et al.* (2020), berdasarkan data epidemiologi menunjukkan bahwa paparan kadmium di lingkungan kerja maupun lingkungan hidup dapat berkaitan dengan berbagai jenis kanker, seperti kanker payudara, paru-paru, prostat, nasofaring, pankreas, dan ginjal. Kadmium di lingkungan juga diketahui menjadi faktor risiko terjadinya osteoporosis. Organ hati dan ginjal merupakan bagian tubuh yang paling sensitif terhadap efek toksik kadmium, kemungkinan karena keduanya mampu mensintesis metalotionein (MT), yaitu protein yang dapat diinduksi oleh Cd dan berfungsi melindungi sel dengan mengikat ion kadmium yang bersifat toksik.

Hasil penelitian terkait dengan Kadmium di perairan pantai Semarang telah banyak dilaporkan. Kadmium terdeteksi di perairan pelabuhan Tanjung Emas, Semarang (Purba *et al.*, 2014 ; Suryono, *et al.* (2017), terdeteksi secara fluktuatif dalam Air Laut, Sedimen, dan Kerang Hijau di Perairan Tambak Lorok dan Perairan Morosari pada bulan Mei-Agustus tahun 2018 (Noviansyah, *et al.*, 2021), tetapi di sedimen di Pantai Trimulyo dan Pantai Tirang, Semarang tidak terdeteksi (berada dibawah batas pengukuran alat sebesar <0,005 mg/Kg) (Maulina *et al.*, 2024).

Kontaminan kadmium dapat masuk ke tubuh manusia diantaranya melalui makanan laut yang telah terkontaminasi atau mengakumulasi kadmium, diantaranya adalah kerang hijau (*P. Viridis*). Hasil penelitian Nurhayati & Putri (2019) menunjukkan kerang hijau terbukti mampu mengakumulasi logam berat termasuk Kadmium. Yulianto *et al.* (2020) melaporkan pada jaringan lunak kerang hijau di Perairan Pantai Semarang pada Nopember dan Desember 2017 mengandung Kadmium sebesar 0,324 – 2,765 mg/Kg. Nilai ini telah melewati batas baku mutu yang berlaku. Kerang hijau (*Perna viridis*) diketahui sebagai salah satu komoditas perikanan penting yang terdapat di Kota Semarang. Menurut Data Dinas Perikanan Kota Semarang, jumlah produksi kerang hijau pada tahun 2023 sejumlah 206.400 Kg. Sehingga monitoring berkelanjutan mengenai konsentrasi Kadmium di ekosistem perairan Semarang perlu dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk memonitor dan mengevaluasi konsentrasi logam berat kadmium dalam air laut, sedimen dan kerang hijau (*P. viridis*) di Perairan Pantai Semarang serta menetapkan nilai Batas Aman Konsumsi Kerang Hijau (*P. viridis*) yang dipanen dari perairan pantai tersebut.

MATERI DAN METODE

Materi penelitian ini berupa air laut, sedimen, dan kerang hijau (*Perna viridis*) yang diambil di 4 stasiun penelitian. Lokasi penelitian ditentukan menggunakan metode *Purposive Sampling* yang meliputi Stasiun-1 di muara Sungai Banjir Kanal Timur (BKT), Stasiun-2 di Pelabuhan Tanjung Emas (PTE), Stasiun-3 di muara Sungai Banjir Kanal Barat (BKB), serta Stasiun-4 di Budidaya Kerang (BK) (Gambar 1). Pertimbangan pemilihan stasiun didasarkan pada perbedaan aktivitas antropogenik, yaitu aktivitas industri dan rumah tangga diwakili oleh Stasiun-1 dan 3, aktivitas Pelabuhan dan industri diwakili oleh Stasiun-2, serta aktivitas budidaya kerang diwakili oleh Stasiun 4.

Pengambilan sampel air

Sampel air laut diambil secara komposit dari sampel permukaan, tengah dan dekat dasar. Sampel air sebanyak 1 liter dari masing-masing kedalaman diambil menggunakan *nansen bottle*. Pengambilan sampel pada setiap stasiun dilakukan pada dua periode yaitu Periode 1 pada tanggal 18 September dan Periode 2 pada tanggal 22 Oktober 2024.

Pengawetan sampel air

Sampel air laut disimpan dalam botol *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan selanjutnya

ditambahkan HNO_3 sebanyak 3 ml. Sampel air laut disimpan dalam *coolbox* selama perjalanan menuju laboratorium.

Pengambilan sampel sedimen

Sampel sedimen diambil di setiap stasiun diambil menggunakan alat *sediment grab* sebanyak 500 g dan dilakukan pada dua periode yang sama seperti pada pengambilan sampel air laut. Sampel sedimen selanjutnya dimasukkan dalam plastik *ziplock* yang telah diberi label keterangan dan disimpan di dalam *coolbox* hingga ke laboratorium.

Pengambilan sampel kerang hijau

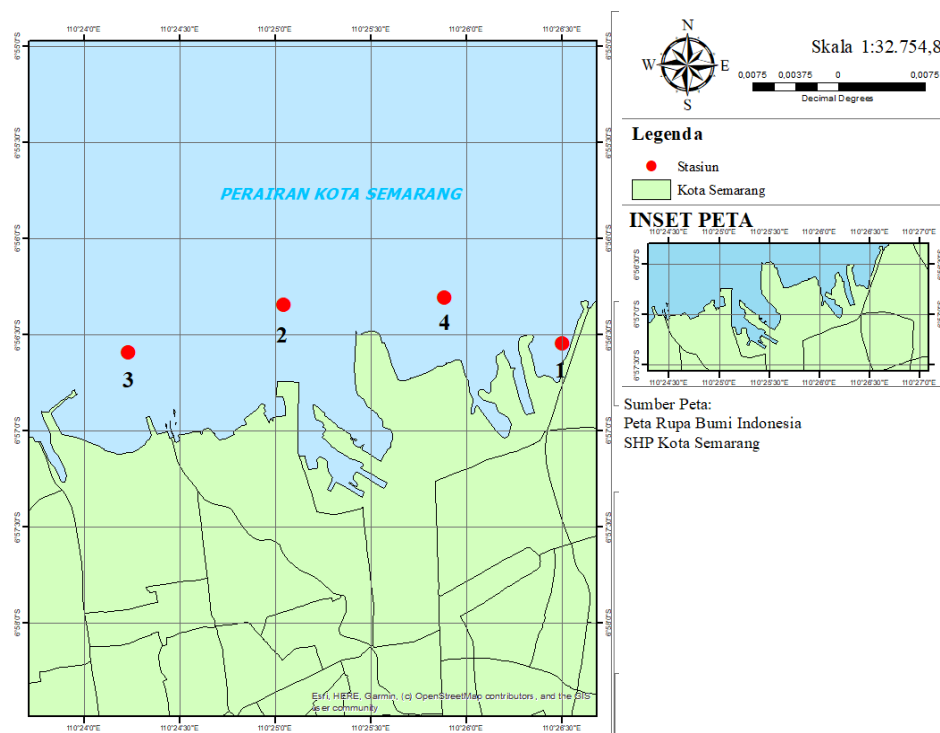
Sampel kerang hijau (*P. viridis*) diambil pada kedalaman 1–5 meter dengan cara menyelam dan memungut secara langsung dengan bantuan nelayan setempat, dan dilakukan pada dua periode yang sama. Sampel kerang hijau selanjutnya disimpan di dalam *coolbox* dengan suhu $<6^\circ\text{C}$ hingga dibawa ke laboratorium. Sampel kerang dilakukan pengukuran morfometri meliputi berat total, berat daging, berat cangkang, dan panjang cangkang. Data morfometri selanjutnya digunakan untuk mengelompokkan kerang berdasarkan kelas ukuran yaitu kecil, sedang, dan besar.

Pengukuran kualitas perairan

Kualitas perairan (Suhu, salinitas, pH, DO, dan kecerahan) diukur secara langsung (*in-situ*).

Analisis konsentrasi Kadmium

Analisis konsentrasi Kadmium dilakukan oleh Laboratorium Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (BBTPPI) Semarang dengan metode spektroskopi serapan atom menggunakan alat AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Pengukuran konsentrasi Kadmium sampel air laut dilakukan menggunakan Prosedur analisis AAS mengacu pada SM APHA 24th, pada sampel sedimen menggunakan prosedur US-EPA Method 3051 dan pada kerang hijau menggunakan SNI 01-2896-1998.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Parameter kualitas air laut

Data hasil pengukuran parameter kualitas perairan dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan baku mutu air laut berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Lampiran VIII Baku Mutu Air Laut untuk kehidupan biota laut.

Konsentrasi kadmium

Data konsentrasi kadmium pada air laut, sedimen dan kerang hijau dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan pada baku mutu yang berlaku, yaitu baku mutu air laut (Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Lampiran VIII), baku mutu sedimen (*Canadian Council of Ministers for The Environment*), dan Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan Olahan (Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 5 Tahun 2018 tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan Olahan)

Penghitungan Faktor biokonsentrasi (BCF)

Faktor biokonsentrasi dihitung dengan membandingkan konsentrasi logam berat Cd pada tubuh kerang dengan konsentrasi Cd pada air laut dengan rumus:

$$BCF = \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat Cd pada Kerang Hijau}}{\text{Konsentrasi Logam Berat Cd pada Air Laut}}$$

Nilai BCF memiliki rentang tiga kelas, yaitu sangat akumulatif ($BCF > 1000$), akumulatif sedang ($BCF 100 - 1000$), dan akumulatif rendah (< 100) (Rahma *et al.*, 2017).

Penghitungan Batas maksimum konsumsi pangan

Batas maksimum konsumsi pangan yang terkontaminasi logam berat yang diperbolehkan per minggu (*Maximum Weekly Intake*) dihitung menggunakan rumus menurut PTWI (*Provisional Tolerable Weekly Intake*) yang diterbitkan oleh *World Health Organization (WHO)* dan *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive (JEFCA)* :

$$MWI (mg) = \text{Berat Badan} \times PTWI$$

Keterangan: Berat Badan diasumsikan = 60 kg, PTWI asupan mingguan sementara yang dapat ditoleransi oleh tubuh per kilogram berat tubuh untuk logam berat Kadmium adalah 0,007 mg/kg Berat Badan (EFCA dalam FAO/WHO, 2004). Selanjutnya jika nilai MWI dan nilai kadar logam berat pada biota didapatkan, maka batas maksimum berat kerang hijau yang dapat ditolerir untuk dikonsumsi dalam waktu satu minggu (*Maximum Tolerable Intake/MTI*) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Turkmen *et al.*, 2008).

$$MTI \left(\frac{mg}{minggu} \right) = MWI \times Ct$$

Keterangan: MWI = *Maximum Weekly Intake* (mg/kg berat badan untuk orang dengan berat badan 60 kg), Ct = Konsentrasi logam berat yang ditemukan dalam daging kerang (mg/kg)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Fisika Kimia Perairan pada Lokasi Penelitian

Pengambilan sampel air laut, sedimen dan kerang hijau serta pengukuran parameter perairan dilakukan sebanyak dua kali periode pada bulan yang mewakili musim berbeda, yaitu Periode 1 bulan September 2024 untuk musim peralihan I dan Periode 2 bulan Oktober 2024 untuk mewakili musim peralihan II. Hasil pengukuran parameter perairan menunjukkan perbedaan waktu pengukuran menunjukkan nilai kualitas perairan yang berbeda.

Hasil pengukuran parameter fisika kimia perairan (Tabel 1.) menunjukkan terjadi peningkatan suhu air laut antara Periode 1 dengan Periode 2. Hal ini dimungkinkan oleh pengaruh gerak semu matahari. Pada bulan Oktober 2024, posisi matahari bergerak dari garis khatulistiwa menuju wilayah bumi bagian selatan (Permatasani, 2024). Apabila dibandingkan dengan baku mutu air laut untuk biota laut (Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, lampiran VIII), nilai suhu air laut pada Periode 1 telah sesuai dengan baku mutu tersebut, sedangkan suhu air laut pada Periode 2 telah melebihi batas baku mutu yang ditetapkan untuk seluruh stasiun penelitian. Suhu perairan yang tinggi akan membawa dampak negatif terhadap kehidupan organisme akuatik. Hal ini diperkuat oleh pernyataan Usman *et al.* (2022), yang menyatakan bahwa tingginya suhu perairan cenderung akan menyebabkan menurunnya nilai oksigen terlarut.

Salinitas air laut pada Periode 1 cenderung normal (30 – 34 ppt) atau sesuai baku mutu ((Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, lampiran VIII). Sedangkan salinitas air laut pada Periode 2 menunjukkan adanya penurunan dan nilai tersebut dibawah baku mutu (26 – 29 ppt). Data BMKG menunjukkan jumlah curah hujan pada bulan September 2024 (Periode 1) adalah 44,0 mm sedangkan jumlah curah hujan pada bulan Oktober 2024 (Periode 2) adalah 115,4 mm. Debit sungai yang tinggi selama musim hujan menyebabkan penurunan salinitas di perairan (Yuliardi *et al.*, 2024).

Oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) pada Periode 1 menunjukkan nilai 5,52 – 5,83 mg/L, nilai ini memenuhi baku mutu air laut untuk biota laut, tetapi pada pengukuran di Periode 2, oksigen terlarut terukur sebesar 3,04 – 6,89 mg/L, nilai ini menunjukkan ada yang tidak memenuhi baku mutu yaitu di stasiun yang memiliki nilai kurang dari 5 mg/L. Nilai pH perairan pada Periode 1 adalah 7,5 – 7,8. Sedangkan pH perairan pada Periode 2 adalah 7,72 – 7,8. Nilai pH di semua stasiun dan pada 2 periode penelitian menunjukkan memenuhi baku mutu.

Kecerahan perairan pada Periode 1 lebih tinggi pada Stasiun 1 dan 4 dibanding kecerahan perairan pada Periode 2. Nilai-nilai kecerahan pada semua stasiun penelitian yang berkisar 0,425 – 1,75 m adalah lebih rendah dibandingkan nilai baku mutu (>3m), sehingga tidak memenuhi baku mutu yang berlaku. Kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya gangguan pada organisme perairan. Penyebab rendahnya kecerahan perairan dapat disebabkan oleh tingginya kekeruhan akibat partikel tersuspensi, yang mengakibatkan terhambatnya penetrasi sinar matahari dan mengganggu proses fotosintesis fitoplankton yang merupakan produsen dari rantai makanan (Tambaru *et al.*, 2021).

Tabel 1. Parameter Fisika Kimia Perairan Pantai Semarang

Parameter	Bulan	Stasiun				Baku Mutu
		Stasiun-1 (BKT)	Stasiun-2 (PTE)	Stasiun-3 (BKB)	Stasiun-4 (Area Budidaya Kerang Hijau)	
Suhu (°C)	September	29	30	31,5	32,3	28 – 30 ^{*)}
	Oktober	31,7	31,8	30,9	32,5	
Salinitas (‰)	September	34	34	30	30	33 – 34 ^{*)}
	Oktober	29	26	26	26	
DO (mg/L)	September	5,71	5,83	5,66	5,52	>5 ^{*)}
	Oktober	3,04	6,64	6,89	5,83	
pH	September	7,8	7,7	7,6	7,5	7 – 8,5 ^{*)}
	Oktober	7,72	7,76	7,8	7,7	
Kecerahan (m)	September	0,57	1,355	0,835	0,86	>3 ^{*)}
	Oktober	0,425	1,75	1	0,75	
Kedalaman (cm)	September	180	280	400	270	
	Oktober	100	325	300	275	

^{*)} Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021.

Morfometri Kerang Hijau (*P. viridis*) dari Perairan Pantai Semarang

Pada Periode 1, ukuran kerang hijau terkecil diperoleh dari Stasiun 3 (Muara Kanal banjir Barat), yaitu dengan panjang cangkang 1,35 – 6,1 cm; lebar cangkang 0,8 – 3 cm; tebal cangkang 0,4 – 2,65 cm; berat total 0,36 – 13,06 g; serta berat daging 0,04 – 4,99 g (Tabel 2). Rendahnya kecerahan dapat menghambat penetrasi cahaya matahari ke dalam kolom perairan yang menghambat proses fotosintesis plankton yang mengakibatkan menurunnya produktivitas plankton, sebagai sumber makanan bagi kerang hijau (Aminin dan Farikah, 2023).

Pada Periode 2, ukuran kerang hijau terkecil ditemukan pada Stasiun 3 (Muara Kanal Banjir Barat), yang memiliki panjang cangkang 0,1 – 4,2 cm; lebar cangkang 0,1 – 1,6 cm; tebal cangkang 0,1 – 1,2 cm; berat total 0,23 – 2,75 g, serta berat jaringan lunak 0,03 – 5,8 g (Tabel 2). Diduga penyebab kecilnya ukuran kerang hijau di area ini karena rendahnya suhu perairan. Suhu perairan Stasiun 3 adalah terendah apabila dibandingkan dengan stasiun lainnya. Bahwa suhu yang tinggi akan meningkatkan laju metabolisme tubuh kerang, sehingga pertambahan ukuran kerang juga ikut mengalami peningkatan (Silaban *et al.*, 2021).

Konsentrasi kadmium pada air laut pada Periode 1 di keempat stasiun penelitian adalah <0,0008 mg/L. Nilai kadmium pada air laut meningkat pada Periode 2, yaitu <0,001 mg/L (Tabel 3). Nilai konsentrasi kadmium ini masih berada di bawah batas baku mutu untuk biota laut yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 sebesar maksimum 0,001 mg/L. Nilai konsentrasi kadmium dalam air laut pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya di tempat yang sama, yaitu 0,003 mg /L (Purba *et al.*, 2014) pada bulan Desember 2013, dan 0,028-0,054 mg/L pada bulan April 2015 dan Januari 2016 (Wardani *et al.*, 2018), dan 0,002 mg/L pada bulan Juli dan Agustus 2018 (Noviansyah *et al.*, 2021).

Konsentrasi kadmium pada sedimen pada Periode 1 dan 2 adalah <1,932 mg/Kg untuk seluruh stasiun penelitian. Nilai konsentrasi ini lebih rendah dari baku mutu yang ditetapkan oleh *Canadian Council of Ministers for The Environment* sebesar 0,7-4,2 mg/Kg. Nilai ini mengindikasikan bahwa sedimen dasar laut di Pantai Semarang masih tergolong aman dan tidak berisiko tinggi bagi

Tabel 2. Morfometri Kerang Hijau (*P. viridis*) dari Perairan Pantai Semarang dipanen pada 18 September dan 22 Oktober 2024

Stasiun	Ukuran Kerang (cm)	Panjang Cangkang (cm)	Lebar Cangkang (cm)	Tebal Cangkang (cm)	Berat Total (g)	Berat daging (g)	Jumlah (ekor)
Periode 1: 18 September 2024							
Stasiun-1	-	1,5 - 8,7	0,55 - 4,3	0,3 - 3,3	0,52 - 35,2	0,2 - 9,42	100
Stasiun-2	-	1,35 - 6,1	0,8 - 3	0,4 - 2,65	0,36 - 13,06	0,04 - 4,99	100
Stasiun-3	-	1,7 - 5,8	0,9 - 3	0,7 - 2,8	1,87 - 15,79	0,48 - 5,99	100
Stasiun-4	-	2,3 - 5,8	1,3 - 3,75	0,7 - 2,25	1,66 - 15,4	0,57-7,71	100
Periode 2: 22 Oktoberr 2024							
Stasiun-1	Kecil	0,7 - 3,4	0,9 - 2,2	0,6 - 3,07	0,65 - 4,51	0,05 - 1,85	89
	Sedang	3,5 - 5,5	1,8 - 2,3	2 - 2,8	4,76 - 11,5	1,78 - 4,4	54
	Besar	5,6 - 6,35	2,2 - 3,4	1,15 - 2,05	4,84 - 15,71	2,17 - 4,4	32
Stasiun-2	Kecil	0,6 - 2	1,1 - 1,8	1,1 - 1,8	0,89 - 3,67	0,03 - 2,71	118
	Sedang	2,1 - 3,4	1,5 - 2,3	1,3 - 2,3	0,7 - 1,3	1,95 - 2,75	67
	Besar	3,5 - 4,5	2 - 2,4	1 - 1,4	3,31 - 6,75	1,27 - 2,62	57
Stasiun-3	Kecil	0,1 - 1,7	0,1 - 2	0,1 - 1	0,23 - 2,9	0,03 - 0,99	179
	Sedang	1,8 - 2,8	1 - 3,6	0,5 - 1,15	1,69 - 4,36	0,54 - 1,78	98
	Besar	2,9 - 4,2	0,9 - 1,6	0,5 - 1,2	2,75 - 7,39	0,69 - 5,8	60
Stasiun-4	Kecil	3 - 3,9	0,6 - 2,4	0,5 - 1,2	2,99 - 11,67	1,17 - 5,92	40
	Sedang	4 - 5,3	0,8 - 1,3	0,5 - 1,6	4,58 - 16,69	2,56 - 7,56	26
	Besar	5,31 - 6,5	0,56 - 1,5	0,8 - 1,5	5,95 - 15,59	2,61 - 7,35	24

lingkungan dan organisme hidup. Nilai konsentrasi logam berat sedimen yang berada dibawah baku mutu yang berlaku menandakan bahwa lingkungan perairan tersebut relatif sehat (Widyaningsih *et al.*, 2022). Hasil penelitian ini juga menunjukkan konsentrasi kadmium di lokasi penelitian lebih rendah dibandingkan penelitian Purba *et al.* (2014) dimana kandungan Cd pada sedimen adalah 2,690 mg/Kg untuk Stasiun 1 (Muara Banjir Kanal Timur); 2,040 mg/Kg untuk Stasiun 2 (Pelabuhan Tanjung Emas) serta 1,566 mg/Kg untuk Stasiun 4 (Area Budidaya Kerang Hijau). Namun lebih tinggi dari Cd dalam sedimen di Pantai Semarang pada bulan April 2015, yaitu 0,143-0,206 mg/kg (Wardani *et al.*, 2018).

Pada Periode 1, konsentrasi kadmium dalam jaringan lunak kerang hijau adalah 0,021 mg/Kg (Stasiun 1); <0,020 mg/kg (Stasiun 2); 0,040 mg/kg (Stasiun 3); serta <0,020 mg/kg (Stasiun 4). Pada Periode 2, kerang hijau berdasarkan ukurannya (kecil, sedang, dan besar) memiliki konsentrasi kadmium pada Stasiun 1 adalah <0,020 mg/kg (untuk seluruh kategori ukuran); Stasiun 2: 0,030 mg/kg (ukuran kecil), 28 mg/kg (ukuran sedang), dan <20 mg/kg (ukuran besar); Stasiun 3: 0,049 mg/kg (ukuran kecil), 0,037 mg/kg (ukuran sedang), dan 0,032 mg/kg (ukuran besar); serta Stasiun 4: <0,020 mg/kg (untuk seluruh kategori ukuran).

Pada Periode 1, konsentrasi Cd dalam daging kerang hijau tertinggi terdapat pada Stasiun 3 (BKB) (0,040 mg/kg). Hal ini disebabkan karena serapan logam berat dipengaruhi oleh ukuran berat. Berat kerang hijau di Stasiun 3 adalah yang paling rendah dibandingkan stasiun-stasiun lain. Riani (2009) dan Salsabila *et al.* (2024) menyebutkan bahwa penyerapan logam berat oleh kerang hijau berbeda pada setiap ukuran, pada kerang hijau berukuran kecil mampu menyerap lebih tinggi logam berat dibandingkan ukuran lebih besar. Pada Periode 2, konsentrasi kadmium dalam daging kerang hijau tertinggi diperoleh dari Stasiun 3 (Muara BKB) yaitu 0,049 mg/kg (ukuran kecil) dengan morfometri berat jaringan lunak memiliki berat paling ringan dibandingkan dengan kerang hijau dari stasiun lain (lihat Tabel 2). Hal ini menunjukkan bahwa penyerapan logam berat oleh kerang hijau

Tabel 3. Konsentrasi Kadmium pada Air Laut, Sedimen, dan Kerang Hijau di Perairan Pantai Semarang Saat Air Laut Surut pada Periode 1 dan 2.

Media	Satuan	Lokasi pengamatan				Baku Mutu
		Stasiun-1	Stasiun-2	Stasiun-3	Stasiun-4	
Air Laut						
Periode 1: 18 September 2024	(mg/L)	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008	0,001 mg/l ^{*)}
Periode 2: 22 Oktoberr 2024	(mg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Sedimen						
Periode 1: 18 September 2024	(mg/kg)	<1,932	<1,932	<1,932	<1,932	0,7-4,2 mg/kg ^{**)}
Periode 2: 22 Oktoberr 2024	(mg/kg)	<1,932	<1,932	<1,932	<1,932	
Kerang Hijau						
Periode 1: 18 September 2024	(mg/kg)	0,021	<0,020	0,040	<0,020	0,1 mg/kg ^{***)}
Periode 2: 22 Oktoberr 2024						
Kecil	(mg/kg)	<0,020	0,030	0,049	<0,020	
Sedang	(mg/kg)	<0,020	0,028	0,037	<0,020	
Besar	(mg/kg)	<0,020	<0,020	0,032	<0,020	

Keterangan: *) Negara Republik Indonesia. (2021); **) *Canadian Council of Ministers for The Environment*; ***) Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) (2018)

Tabel 5. Nilai Faktor Biokonsentrasi Kerang Hijau (*P. viridis*) di Perairan Pantai Semarang pada Periode 1 dan 2.

Stasiun	Ukuran Kerang	Konsentrasi Kadmium		
		Air (mg/l)	Kerang Hijau (mg/kg)	BCF
Periode 1: 18 September 2024				
Stasiun 1	-	<0,008	0,021	<26,5
Stasiun 2	-	<0,008	<0,020	~25
Stasiun 3	-	<0,008	0,04	<50
Stasiun 4	-	<0,008	<0,020	~25
Periode 2: 22 Oktober 2024				
Stasiun 1	Kecil	<0,008	<0,020	~20
	Sedang	<0,008	<0,020	~20
	Besar	<0,008	<0,020	~20
Stasiun 2	Kecil	<0,008	0,03	<30
	Sedang	<0,008	0,028	<28
	Besar	<0,008	<0,020	~20
Stasiun 3	Kecil	<0,008	0,049	<49
	Sedang	<0,008	0,037	<37
	Besar	<0,008	0,032	<32
Stasiun 4	Kecil	<0,008	<0,020	~20
	Sedang	<0,008	<0,020	~20
	Besar	<0,008	<0,020	~20

secara konsisten yang berukuran kecil lebih tinggi dibandingkan ukuran lebih besar. Apabila konsentrasi kadmium di kerang hijau di seluruh lokasi dan di 2 periode dibandingkan dengan baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 5 Tahun 2018 tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan Olahan sebesar 0,1 mg/kg, maka konsentrasi kadmium dalam jaringan lunak kerang hijau masih berada di bawah ambang batas baku mutu.

Faktor biokonsentrasi kerang hijau pada Periode 1 adalah ~25 (Stasiun 2 dan 4); ~26,25 (Stasiun 1); dan ~50 (Stasiun 3). Sedangkan pada Periode 2 nilai faktor biokonsentrasi sebesar ~20 (Stasiun 1 dan 4 untuk seluruh ukuran kerang hijau); Stasiun 2: ~30 (ukuran kecil), ~28 (ukuran sedang), dan ~25 (ukuran besar); Stasiun 3: ~49 (ukuran kecil), ~37 (ukuran sedang), dan ~32 (ukuran besar) (Tabel 5). Faktor biokonsentrasi tertinggi terjadi pada Stasiun 3 (pada kerang ukuran kecil). Hal ini dikarenakan kerang hijau pada Stasiun 3 memiliki berat terendah dibandingkan dengan stasiun lainnya. Seperti diketahui, kerang berukuran kecil memiliki laju metabolisme (termasuk dalam absorpsi logam berat) yang lebih cepat dibandingkan dengan kerang berukuran besar (Riani *et al.* (2017).

Adapun, nilai faktor biokonsentrasi kerang hijau dari seluruh stasiun penelitian pada Periode 1 dan 2 tergolong dalam kemampuan mengakumulasi logam Cd yang rendah (nilai BCF <100). Menurut Adiningtyas *et al.* (2023), rendahnya BCF menunjukkan bahwa kerang tidak menyerap logam berat dengan efisiensi tinggi, sehingga risiko akumulasi logam berat dalam kerang cenderung rendah.

Nilai MWI (*Maximum Weekly Intake*) untuk anak - anak (berat badan 15 kg) adalah 0,105 mg/minggu, 0,315 mg/minggu untuk wanita dewasa (berat badan 45 kg), dan 0,42 mg/minggu untuk pria dewasa (berat badan 60 kg). Pada Periode 1, asupan kerang maksimum yang dapat ditolerir (MTI/*Maximum Tolerable Intake*) untuk anak - anak berkisar 2,65 - >5,25 mg; 7,875 - >15,75 mg untuk wanita dewasa, dan 10,50 - >21 mg untuk pria dewasa. Sedangkan pada Periode 2, nilai MTI untuk anak-anak berkisar 2,14 - >5,25; 6,43 - >15,75 mg untuk wanita dewasa; dan 8,57 - >21 mg untuk pria dewasa (Tabel 6). Nilai MTI lebih rendah pada Periode 2 dibandingkan Periode 1

Tabel 6. Nilai *Maximum Weekly Intake* (MWI) dan *Maximum Tolerable Intake* (MTI) Kerang Hijau (*P. viridis*) Perairan Pantai Semarang pada Periode 1 dan 2. PTWI untuk logam Cd = 0,007 mg/kg berat badan.

Stasiun	Ukuran Kerang	Kategori	Berat Badan (kg)	Konsentrasi Cd pada Kerang Hijau (mg/kg)	MWI (mg/kg berat badan)	MTI (mg)
Periode 1: 18 September 2024						
Stasiun 1	-	Anak-anak	15	0,021	0,105	5
	-	Wanita	45	0,021	0,315	15
	-	Pria	60	0,021	0,42	20
Stasiun 2	-	Anak-anak	15	<0,020	0,105	>5,25
	-	Wanita	45	<0,020	0,315	>15,75
	-	Pria	60	<0,020	0,42	>21
Stasiun 3	-	Anak-anak	15	0,04	0,105	2,625
	-	Wanita	45	0,04	0,315	7,875
	-	Pria	60	0,04	0,42	10,500
Stasiun 4	-	Anak-anak	15	<0,020	0,105	>5,25
	-	Wanita	45	<0,020	0,315	>15,75
	-	Pria	60	<0,020	0,42	>21
Periode 2: 22 Oktober 2024						
Stasiun 1	Kecil	Anak-anak	15	<0,020	0,105	>5,25
		Wanita	45	<0,020	0,315	>15,75
		Pria	60	<0,020	0,42	>21
	Sedang	Anak-anak	15	<0,020	0,105	>5,25
		Wanita	45	<0,020	0,315	>15,75
		Pria	60	<0,020	0,42	>21
	Besar	Anak-anak	15	<0,020	0,105	>5,25
		Wanita	45	<0,020	0,315	>15,75
		Pria	60	<0,020	0,42	>21
Stasiun 2	Kecil	Anak-anak	15	0,030	0,105	3,5
		Wanita	45	0,030	0,315	10,5
		Pria	60	0,030	0,42	14
	Sedang	Anak-anak	15	0,028	0,105	3,75
		Wanita	45	0,028	0,315	11,25
		Pria	60	0,028	0,42	15
	Besar	Anak-anak	15	<0,020	0,105	>5,25
		Wanita	45	<0,020	0,315	>15,75
		Pria	60	<0,020	0,42	>21
Stasiun 3	Kecil	Anak-anak	15	0,049	0,105	2,14
		Wanita	45	0,049	0,315	6,43
		Pria	60	0,049	0,42	8,57
	Sedang	Anak-anak	15	0,037	0,105	2,84
		Wanita	45	0,037	0,315	8,51
		Pria	60	0,037	0,42	11,35
	Besar	Anak-anak	15	0,032	0,105	3,28
		Wanita	45	0,032	0,315	9,84
		Pria	60	0,032	0,42	13,13
Stasiun 4	Kecil	Anak-anak	15	<0,020	0,105	>5,25
		Wanita	45	<0,020	0,315	>15,75
		Pria	60	<0,020	0,42	>21
	Sedang	Anak-anak	15	<0,020	0,105	>5,25
		Wanita	45	<0,020	0,315	>15,75
		Pria	60	<0,020	0,42	>21
	Besar	Anak-anak	15	<0,020	0,105	>5,25
		Wanita	45	<0,020	0,315	>15,75
		Pria	60	<0,020	0,42	>21

disebabkan konsentrasi kadmium dalam jaringan lunak kerang hijau pada Periode 2 lebih tinggi dibanding Periode 1. Menurut Kusuma *et al.* (2022), perhitungan nilai MTI digunakan untuk mengetahui batas aman konsumsi kerang hijau agar tidak menyebabkan dampak negatif bagi manusia yang mengonsumsinya. Konsumsi kerang hijau akan menyebabkan keracunan apabila dikonsumsi melebihi nilai MTI (Caksana *et al.*, 2021).

KESIMPULAN

Konsentrasi logam berat kadmium pada 4 stasiun pengamatan Perairan Pantai Semarang di 2 periode pengamatan (18 September dan 22 Oktober 2024) menunjukkan pada kolom air masih berada dibawah baku mutu air laut untuk kehidupan biota laut berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, lampiran VIII, dan pada sedimen juga masih dibawah baku mutu menurut *Canadian Council of Ministers for the Environment*, demikian juga pada kerang hijau juga menunjukkan konsentrasi kadmium yang masih dibawah baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2017. Berdasarkan hasil analisis batas aman konsumsi kerang hijau menunjukkan jumlah maksimal asupan kerang hijau yang aman untuk dikonsumsi dari Perairan Pantai Semarang pada Periode 1 untuk anak – anak berkisar 2,65 - >5,25 mg; 7,875 - >15,75 mg untuk wanita dewasa, dan 10,50 - >21 mg untuk pria dewasa. Sedangkan untuk Periode 2, nilai MTI untuk anak-anak berkisar 2,14 - >5,25 mg; 6,43 - >15,75 mg untuk wanita dewasa; dan 8,57 - >21 mg untuk pria dewasa.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningtyas, L., Supriyanti, E., Widowati, I. & Saputri, M. 2023. Konsentrasi Fe dan Batas Aman Konsumsi Kerang Hijau (*Perna viridis*) dari Perairan Tambak Lorok. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(1): 78-86.
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WEF), 2022. Standard methods for the examination of water and wastewater (24th ed.). APHA Press.
- Aminin, A. & Farikhah, F. 2023. Analisis Biometri dan Laju Pertumbuhan Kerang Hijau (*Perna viridis*) yang Dibudidayakan Dalam Karamba Apung di Laut Jawa Desa Banyuurip Kecamatan Ujungpangkah. *Journal of Marine Research*, 12(2): 240-249.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM), 2018, Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 5 Tahun 2018 tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan Olahan
- Caksana, M.U., Aritonang, A.B., Risko, R., Muliadi, M. & Sofiana, M.S.J. 2021. Analisis kandungan logam berat Pb, Cd dan Hg pada Ikan di Pantai Samudra Indah Kabupaten Bengkayang. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 4(3): 109-118.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Cadmium. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- FAO/WHO. 2004. Summary of Evaluations Performed by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA1956-2003) ILSI Press International Life Sciences Institute, Washington
- 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): 3782. DOI: 10.3390/ijerph17113782.
- Maulina, D.R.A., Pringgenies, D. & Haryanti, D., 2024. Kandungan Logam Berat Pb dan Cd dalam Sedimen di Pantai Trimulyo dan Pantai Tirang, Semarang. *Journal of Marine Research*, 13(1): 20-28. DOI: 10.14710/jmr.v13i1.35038
- Neff, J.M. 2002. Chapter 5 - Cadmium in the Ocean, Editor(s): Jerry M. Neff. Bioaccumulation in Marine Organisms. Elsevier. Pages 89-102, DOI: 10.1016/B978-008043716-3/50006-3.
- Negara Republik Indonesia. 2021. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta: Sekretariat Negara

- Noviansyah, E., Lumban Batu, D.T.F., & Setyobudiandi, I. 2021. Kandungan Logam Kadmium (Cd) pada Air Laut, Sedimen, dan Kerang Hijau di Perairan Tambak Lorok dan Perairan Morosari. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 26(1): 128–135 DOI: 10.18343/jipi.26.1.128
- Nurhayati, D., & Putri, D.A., 2019. Bioakumulasi Logam Berat Pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Cirebon Berdasarkan Musim Yang Berbeda. *Jurnal Akuatika Indonesia*, 4(1):6-10
- Permatasani, P., 2024, Prakiraan Cuaca Maritim Jawa Timur Bulan Oktober 2024, Buletin Maritim, Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Perak Surabaya. BMKG
- Purba, C., Ridlo, A. & Suprijanto, J. 2014. Kandungan Logam berat Cd pada Air, Sedimen dan Daging Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Tanjung Mas Semarang Utara. *Journal of Marine Research*, 3(3): 285-293.
- Riani, E. 2009. Kerang Hijau (*Perna viridis*) ukuran kecil sebagai "Vacum Cleaner" limbah cair kawasan industri yang masuk ke dalam Perairan Teluk Jakarta. *Jurnal Alami*, 14(3): 24-30
- Riani, E., Johari, H.S. & Cordova, M. R. 2017. Bioakumulasi Logam Berat Kadmium dan Timbal pada Kerang Kapak-Kapak di Kepulauan Seribu. *Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(1): 131-142.
- 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.
- Silaban, R., Silubun, D.T. & Jamlean, A.A.R. 2021. Aspek Ekologi Dan Pertumbuhan Kerang Bulu (*Anadara antiquata*) Di Perairan Letman, Kabupaten Maluku Tenggara. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 14(2): 120-131.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 1998. SNI 01-2896-1998. Penentuan Cemar Logam dalam Makanan. Jakarta:Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Suryono, C.A., & Djunaedi, A., 2017. Logam berat Pb, Cr dan Cd dalam Perairan Pelabuhan Tanjung Mas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 20(1), 25-29. DOI: 10.14710/jkt.v20i1.1350
- Tambaru, R., Rasyid, A., & Faturahman. 2021. Fenomena Distribusi Zooplankton di Perairan Laut Makassar. *Jurnal Pengelolaan Perairan*, 1(2): 1-9
- U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), 2007. Method 3051A (SW-846): Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils (Revision 1). Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- Usman, S., Masriah, A. & Jamaluddin, R. 2022. Pengaruh Padat Tebar Terhadap Kelangsungan Hidup dan Pertumbuhan *Post* Larva Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) yang Dipelihara pada Wadah. *Fishiana: Journal of Marine and Fisheries*, 1(1): 21-32.
- Wardani, I., Ridlo, A., & Supriyanti, E. 2018. Kandungan Kadmium (Cd) dalam Air, Sedimen, dan Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Trimulyo Semarang. *Journal of Marine Research*, 7(2): 151-158.
- Widyaningsih, S.D., Abida, I.W., Pramithasari, F.A. & Afifa, F.H. 2022. Kajian Kandungan Logam Berat Kadmium pada Air, Sedimen, dan Ikan Bawal (*Pampus argenteus*) di Tempat Pelelangan Ikan Branta Kabupaten Pamekasan. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 3(4): 100-109.
- Yulianto, B., Radjasa, O.K. & Soegianto, A. 2020. Heavy Metals (Cd, Pb, Cu, Zn) in Green Mussel (*Perna viridis*) and Health Risk Analysis on Residents of Semarang Coastal Waters, Central Java, Indonesia. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 17(3): 71-76.
- Yuliardi, A.Y., Rachman, H.A., Sari, R.J., Rahmalia, D.A., Nugroho, A.T. & Prayogo, L.M. 2024. Analisis Variasi Musiman Suhu, Salinitas, dan Arus Permukaan di Perairan Madura. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(4): 292-305. DOI: 10.14710/ijoce.v6i4.24477