

Tersedia online di: <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/jra>

BIOAKUMULASI KADMIUM DAN MERKURI PADA KERANG HIJAU, SERTA ANALISIS MULTI MEDIUM RISIKO KESEHATAN DI KAWASAN PEMUKIMAN PESISIR

Anna Rejeki Simbolon[#]

Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Jl. Pasir Putih 1, Ancol Timur, Jakarta

(Naskah diterima: 24 Juni 2019; Revisi final: 2 September 2019; Disetujui publikasi: 3 September 2019)

ABSTRAK

Kadmium dan merkuri merupakan logam berat yang bersifat toksik dan umumnya terdapat dalam limbah antropogenik yang masuk ke perairan dan terakumulasi dalam air, sedimen, dan biota dasar. Kerang hijau (*Perna viridis*) merupakan jenis kerang yang menjadi salah satu bahan pangan bagi masyarakat. Kandungan kadmium dan merkuri dalam air dan sedimen akan terakumulasi pada kerang hijau dan menjadi sumber media paparan bagi manusia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bioakumulasi logam kadmium dan merkuri di kerang hijau dan risiko kesehatan bagi masyarakat di kawasan pemukiman pesisir. Penelitian dilakukan dengan metode survei di tiga titik lokasi pengambilan sampel di kawasan pemukiman pesisir DKI Jakarta. Nilai bioakumulasi dihitung dengan menggunakan rasio dari kadar logam di kerang hijau dan sedimen. Analisis multi medium risiko menggunakan analisis risiko yang dikembangkan oleh United States Environmental Protection Agency (US EPA). Total tingkat risiko nonkarsinogenik dinyatakan dalam hazard index (HI), dan risiko karsinogenik dinyatakan dalam cancer risk (CR). Hasil penelitian ini menunjukkan nilai bioakumulasi logam kadmium dan merkuri yang tidak berbeda secara signifikan, dan konsentrasi logam kadmium di kerang hijau berkorelasi positif dan berbeda nyata dengan konsentrasi logam kadmium di sedimen; hal ini menunjukkan kemampuan kerang hijau dalam mengakumulasi logam kadmium. Selain itu, analisis risiko kesehatan menunjukkan nilai $HI > 1$ dan $CR > 10^{-4}$. Penelitian ini menyimpulkan adanya bio-akumulasi logam kadmium dan merkuri pada kerang hijau dan adanya risiko kesehatan terhadap masyarakat di kawasan pemukiman baik efek karsinogenik maupun nonkarsinogenik dengan media jalur paparan yang paling dominan ialah bahan pangan (diet) kerang.

KATA KUNCI: bioakumulasi; kadmium; merkuri; multi medium risiko; kerang hijau

ABSTRACT: *Bioaccumulation of cadmium and mercury in asian green mussel and their multi-medium health risk assessments in coastal communities. By: Anna Rejeki Simbolon*

*Cadmium and mercury are toxic heavy metals, generally found in anthropogenic wastes, and accumulated in water, sediments, and benthic biota. Green mussels (**Perna viridis**) as one of the benthic biota is a popular delicacy not only in the Indonesian coastal community but also in the Southeast Asian countries. However, the green mussel is also well known as a bioaccumulator for heavy metals, including cadmium and mercury, and thus poses a great risk to human health. The purpose of this study was to determine the bioaccumulation level of metal cadmium and mercury in green mussels and their health risks to people in coastal residential areas. The study was carried out by a survey method in three sampling locations in coastal settlement area DKI Jakarta. The bioaccumulation value was calculated using the ratio of the metal content in green mussels and sediments. Risk analysis used the approach of Multi-medium Risk Analysis suggested by the United States Environmental Protection Agency (US EPA). The total level of non-carcinogenic risk was expressed in the hazard index (HI), and the carcinogenic risk was expressed in cancer risk (CR). The results of this study showed that the bioaccumulation of cadmium and mercury in green mussels did not differ significantly which cadmium concentration in green shells is positively correlated and significantly different from sediment; this shows the ability of green mussels to accumulate cadmium. Meanwhile, the health risk analysis shows $HI > 1$ and $CR >$*

[#] Korespondensi: Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jalan Pasir Putih 1, Ancol Timur, Jakarta, Indonesia.
Tel. + 62 21 64713850
E-mail: anna.rejeki.simbolon@lipi.go.id;
annarejekisimbolon@gmail.com

10⁴. This study concludes that cadmium and mercury metals are present in green mussels. This study also concludes that the two heavy metals pose health risks (carcinogenic and non-carcinogenic) to the residents of the nearby coastal areas through shellfish as the most dominant pathway.

KEYWORDS: bioaccumulation; cadmium; mercury; multi medium.risk, green mussels

PENDAHULUAN

Kerang hijau (*Perna viridis*) merupakan kelompok bivalvia yang hidup di dasar perairan (benthos) dan tersebar luas di daerah pesisir. Kemampuannya dalam mengakumulasi bahan pencemar menjadikan biota ini digunakan sebagai bioindikator berbagai bahan pencemar. Kemampuannya dalam mengakumulasi bahan pencemar menjadikan biota ini juga digunakan dalam memonitor proses pemindahan zat pencemar antar media di air (Won *et al.*, 2016). Kadmium dan merkuri merupakan salah satu jenis logam berat beracun dan stabil pada lingkungan perairan, sehingga berpotensi terakumulasi dalam kerang hijau dan termagnifikasi dalam rantai makanan (Valdes, 2014).

Sebagai organisme bentik, kerang hijau hidup dalam sedimen dan terutama memakan detritus organik, diatom bentik, dan zoobenthos sehingga logam berat yang terendap dalam sedimen akan menumpuk dalam tubuh kerang hijau (Li & Gao, 2014; Won *et al.*, 2016). Penelitian sebelumnya hanya berfokus pada konsentrasi logam di tubuh kerang hijau (Simbolon, 2018); padahal kekhawatiran tentang bioakumulasi logam berat pada biota bentik di pesisir dilaporkan telah meningkat (Zhao *et al.*, 2012; Velez *et al.*, 2015).

Sebagai bagian dari ibu kota negara, Jakarta Utara menjadi kawasan dengan aktivitas penduduk yang tinggi baik industri, pemukiman, hingga aktivitas pelabuhan. Jakarta Utara merupakan salah satu kawasan pesisir dengan tekanan lingkungan yang tinggi. Adanya pemukiman penduduk di sepanjang wilayah pesisir menjadikan kawasan ini mendapatkan tekanan lingkungan yang tinggi. Aktivitas kapal nelayan dan adanya Kawasan Berikat Nusantara yang merupakan pelabuhan kapal besar bongkar muat yang datang dari berbagai daerah dan negara menjadikan kawasan ini menjadi kawasan dengan pemukiman penduduk yang sangat padat. Limbah yang dihasilkan dikhawatirkan mengandung logam berat dan berdampak pada biota bentik. Kondisi ini juga berdampak terhadap kesehatan masyarakat yang berada di sepanjang kawasan pesisir.

Salah satu pendekatan yang digunakan untuk memperkirakan risiko kesehatan ialah analisis risiko kesehatan. Model analisis risiko kesehatan dikembangkan oleh tim dari *United States Environmental Protection Agency* (US EPA) dan telah diadopsi di seluruh dunia termasuk Indonesia. Saat ini, tidak ada

standar atau nilai ambang batas dari tingkat risiko karsinogenik dan nonkarsinogenik yang digunakan di Indonesia, sehingga penelitian ini menggunakan model dari US EPA, serta nilai ambangnya untuk memperkirakan potensi risiko kesehatan akibat paparan logam kadmium dan merkuri bagi manusia. Analisis risiko terdiri atas empat tahapan antara lain identifikasi bahaya, analisis dosis respons, analisis paparan, karakterisasi risiko (US EPA, 2004).

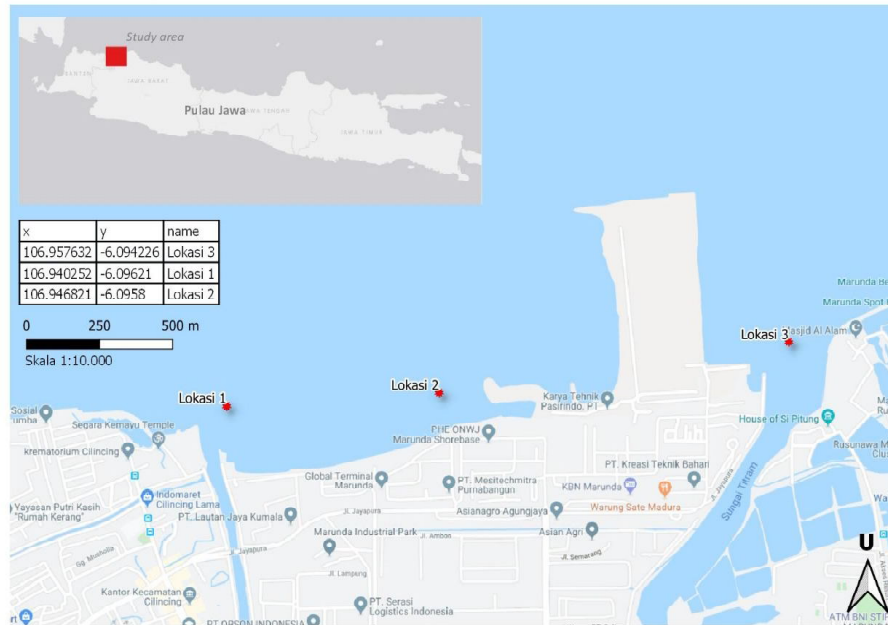
Identifikasi bahaya dilakukan dengan mengukur konsentrasi kadmium dan merkuri di air, sedimen, dan biota air. Analisis dosis respons merupakan tahapan yang diperlukan untuk mengetahui dosis dari bahan pencemar yang dapat diterima oleh tubuh manusia dan tidak menimbulkan efek merugikan atau biasa disebut juga sebagai dosis referensi. Dosis referensi untuk efek nonkarsinogenik dinyatakan *reference dose* (RfD), sedangkan *cancer slope factor* (CSF) untuk efek karsinogenik. Analisis paparan dilakukan untuk mengestimasi alur paparan pada media pencemar. Analisis berbagai medium yang menjadi media bahan pencemar dapat masuk ke tubuh manusia disebut sebagai multi medium analisis risiko (Liu *et al.*, 2013). Karakteristik risiko bertujuan untuk mengetahui potensi risiko paparan bahan pencemar yang dapat merugikan kesehatan. Potensi risiko nonkarsinogenik dinilai sebagai HQ (*hazard quotient*) dan CR (*cancer risk*) untuk potensi risiko karsinogenik.

Penelitian mengenai kandungan kadmium dan merkuri pada kerang hijau telah dilakukan namun nilai bioakumulasi logam tersebut dari sedimen ke tubuh biota, serta prakiraan risiko dari paparan logam tersebut belum dilakukan. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bioakumulasi logam kadmium dan merkuri pada kerang hijau dan memperkirakan risiko kesehatan yang terjadi di kawasan pemukiman pesisir.

BAHAN DAN METODE

Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan teknik survei dengan dengan metode *purposive random sampling* pada tiga lokasi pengambilan sampel yang berada di kawasan pesisir Jakarta Utara (Gambar 1). Penentuan titik pengambilan sampel berdasarkan perwakilan masing-masing kawasan, lokasi-1 mewakili kawasan nelayan, lokasi-



Gambar1. Lokasi pengambilan sampel (Simbolon, 2018).
Figure 1. Sampling location (Simbolon, 2018).

2 mewakili kawasan pemukiman, dan lokasi-3 mewakili kawasan industri. Pengambilan sampel kerang, air, dan sedimen dilakukan dengan tiga kali ulangan dengan interval waktu dua minggu. Analisis konsentrasi kadmium dan merkuri pada air, sedimen, dan kerang hijau dilakukan di Laboratorium Produktivitas Lingkungan Institut Pertanian Bogor. Data kandungan logam kadmium dan kerang hijau telah dipublikasikan (Simbolon, 2018).

Analisis Data

Bioakumulasi logam

Biota-sediment accumulation factor (BSAF) atau faktor akumulasi sedimen biota digunakan untuk mengevaluasi kapasitas bioakumulatif logam dalam kerang dari sedimen. BSAF ditentukan dengan persamaan (1), di mana Corg adalah konsentrasi logam dikerang hijau dan Csed adalah konsentrasi logam dalam sedimen (Liu *et al.*, 2017). Korelasi Pearson dilakukan untuk memeriksa korelasi konsentrasi logam dalam tubuh kerang dan sedimen.

$$BSAF = \frac{C \text{ organisme}}{C \text{ sedimen}} \dots\dots\dots (1)$$

Metode multi medium analisis risiko

Model analisis risiko multi medium digunakan untuk mengevaluasi bahaya paparan logam berat di pemukiman (US EPA, 2004). Masyarakat di kawasan pesisir dan pelabuhan dapat terpapar logam berat dengan empat jalur paparan antara lain: (1) menelan

langsung partikel sedimen, (2) kulit kontak dengan partikel sedimen, (3) diet melalui rantai makanan, dan (4) asupan kulit dari air. Perhitungan untuk dosis paparan kontaminan harian melalui berbagai jalur paparan dan penjelasan terperinci untuk semua parameter tercantum dalam Tabel 1 (US EPA, 2004; Liu *et al.*, 2013).

Efek risiko baik yang terdiri atas risiko efek karsinogenik dan nonkarsinogenik dianalisis melalui empat jalur paparan tersebut. Risiko karsinogenik (*cancer risk/CR*) dihitung berdasarkan persamaan (2), di mana risiko kanker mewakili probabilitas seumur hidup individu risiko kesehatan dari karsinogen; CDI adalah asupan harian kronis karsinogen (mg/kg/d) dan SF adalah *slope factor* (mg/kg/d). Nilai SF dari setiap agen pencemar berbeda-beda, nilai SF untuk Cd ialah 0,38; sedangkan nilai SF untuk Hg tidak diketahui sehingga risiko karsinogenik untuk logam Hg tidak dapat ditentukan. Risiko kanker kumulatif ditentukan berdasarkan persamaan (3), di mana CDIK adalah asupan harian kronis (mg/kg/d) zat k, SFk adalah faktor kemiringan untuk zat k (kg/d/mg). Nilai Total risiko yang bisa diterima atau risiko yang dapat ditoleransi untuk tujuan manajemen risiko berada dalam kisaran 10⁻⁶ hingga 10⁻⁴ (US EPA, 2004).

$$\text{Risiko karsinogenik} = CDI \times SF \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Total risiko karsinogenik} = \sum_{k=1}^n CDIK \times SFk \dots\dots\dots (3)$$

Risiko nonkarsinogenik dari masing-masing logam berat dapat dinyatakan sebagai risiko bahaya, HQ (*haz-*

Tabel 1. Penentuan persamaan asupan harian melalui berbagai jalur paparan (Liu *et al.*, 2013)
 Table 1. Determination of daily intake equations through various exposure pathways (Liu *et al.*, 2013)

Media Medium	Jalur paparan Exposure pathways	Formula kalkulasi (Calculation formula)
	Menelan Ingestion	$CDI \text{ sedimen tertelan (CDI ingest soil)} = \frac{CS \times IRS \times EF \times ED}{BW \times AT} \times CF$
Sedimen Sediment	Kulit Dermal contact	$CDI \text{ kulit sedimen (CDI dermal soil)} = \frac{CS \times SA \times AF \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT} \times CF$
	Makanan Diet	$CDI \text{ pangan kerang (CDI shells)} = \frac{C \text{ kerang (shells)} \times IR \text{ kerang (shell)} \times EF \times ED}{BW \times AT}$
Air Water	Asupan melalui kulit Dermal intake	$CDI \text{ melalui kulit (CDI dermal water)} = \frac{C_{\text{air (Water)}} \times EV \text{ mandi (shower)} \times EF \times ED \times SA \times AF \times ABS \times CF}{BW \times AT}$

Keterangan: CDI= asupan harian kronis; CS= konsentrasi titik paparan (mg/kg); cair= konsentrasi dalam air (mg/L); EF= frekuensi paparan (350 d/a); ED= durasi paparan (30a); ET= frekuensi paparan (24 jam/hari); AT= waktu rata-rata untuk nonkarsinogen (365 x EDd); AT= waktu rata-rata untuk karsinogen (365 x 70 d); BW= bobot badan (70 kg); SA= area kulit yang terpapar (5.700 cm²); AF= kepatuhan factor (0,07 mg/cm²); ABS= fraksi serapan kulit (0,001); PEF= faktor emisi partikel (1,36 x 10⁹ m³/kg); CF= unit faktor konversi (10⁻⁶ kg/mg); IRS= konsumsi tingkat (100 mg/d); IR pangan - tingkat tertelan (0,345 kg/d); EV shower= 1/hari (US EPA, 2004)

Note: CDI= chronic daily intake; CS= exposure-point concentration (mg/kg); C water= concentration in water (mg/L); EF= exposure frequency (350 d/a); ED= exposure duration (30 a); ET= exposure frequency (24 h/d); AT= averaging time for non-carcinogens (365 x EDd); AT= averaging time for carcinogens (365 x 70 d); BW= body weight (70 kg); SA= exposed skin area (5,700 cm²); AF= adherence factor (0.07 mg/cm²); ABS= dermal absorption fraction (0.001); PEF= particle emission factor (1.36 x 10⁹ m³/kg); CF= units conversion factor (10⁻⁶ kg/mg); IRS= ingestion rate: 100 mg/d; IR diet-ingestion rate (0.345 kg/d); EV shower= 1/day (US EPA, 2004)

ard quotient). Nilai tingkat risiko bahaya nonkarsinogenik merupakan rasio dari asupan harian kronis dengan dosis referensi dari zat pencemar (RfD) persamaan (4). Nilai RfD agen pencemar berbeda-beda, nilai RfD untuk logam Cd adalah 0,001 dan Hg adalah 0,0001 (mg/kg/d) (Liu *et al.*, 2017). Indeks bahaya atau hazard index (HI) adalah jumlah keseluruhan nilai risiko bahaya (HQ) atau tingkat risiko bahaya dari beberapa zat atau beberapa jalur paparan; persamaan (5), di mana CDIk adalah asupan harian dari logam berat (k) dan RfDk adalah dosis referensi untuk logam berat k. Nilai HI > 1 menunjukkan adanya risiko kesehatan nonkarsinogenik yang mungkin terjadi akibat paparan logam berat, sebaliknya apabila nilai HI < 1 menunjukkan bahwa paparan logam berat tidak berisiko terhadap efek nonkarsinogenik bagi masyarakat terdampak.

$$HQ = \frac{CDI}{RfD}$$

$$HI = \sum_{k=1}^n \frac{CDIk}{RfDk}$$

HASIL DAN BAHASAN

Konsentrasi Kadmium dan Merkuri pada Kerang Hijau, Air, dan Sedimen

Konsentrasi kadmium dan merkuri pada kerang hijau merupakan data yang telah dipublikasikan sebelumnya disajikan pada Tabel 2. Nilai konsentrasi ini masih sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan pemerintah dalam BPOM tahun 2009 untuk baku mutu cemaran kimia dibahan pangan kerang (Simbolon, 2018).

Konsentrasi logam pada air dan sedimen disajikan pada Tabel 3. Nilai ini masih sesuai dengan baku mutu lingkungan sesuai dengan Kepmen-LH (KLH) No. 51 Tahun 2004 tentang baku mutu air laut untuk biota laut yaitu sebesar 0,001 mg/L. Konsentrasi logam berat di air laut sangat dipengaruhi oleh perubahan faktor fisik dan kimia air yang berubah oleh waktu (Ouyang *et al.*, 2002). Kuat arus, gelombang, dan kondisi pasang surut akan memengaruhi konsentrasi logam di air. Pengambilan sampel pada waktu pasang akan memberikan efek pengenceran pada logam berat di air sehingga konsentrasinya cenderung kecil.

Tabel 2. Konsentrasi kadmium dan merkuri pada kerang hijau di lokasi pengambilan sampel (Simbolon, 2018)

Table 2. Concentrations of cadmium and mercury in green mussels at the sampling location (Simbolon, 2018)

Konsentrasi Concentration (mg/kg)	Kadmium (Cadmium) (Cd) (mg/kg)			Merkuri (Mercury) (Hg) (mg/kg)		
	LK 1	LK 2	LK 3	LK 1	LK 2	LK 3
Ulangan ke-1 (Repetition 1 th)	0.03	0.03	0.03	0.021	0.058	0.023
Ulangan ke-2 (Repetition 2 nd)	0.40	0.53	0.40	0.049	0.036	0.066
Ulangan ke-3 (Repetition 3 rd)	0.40	0.51	0.48	0.032	0.063	0.058
Rata-rata (Mean)	0.277	0.36	0.303	0.034	0.05	0.049

Tabel 3. Hasil pengukuran konsentrasi kadmium dan merkuri pada air dan sedimen di lokasi pengambilan sampel

Table 3. Results of measurement of concentrations of cadmium and mercury in water and sediment at sampling locations

Media Medium	Konsentrasi Concentration (mg/kg)	Kadmium (Cadmium) (Cd) (mg/kg)			Merkuri (Mercury) (Hg) (mg/kg)		
		Lokasi-1 Location-1	Lokasi-2 Location-2	Lokasi-3 Location-3	Lokasi-1 Location-1	Lokasi-2 Location-2	Lokasi-3 Location-3
Air Water (mg/L)	Ulangan ke-1 (Repetition 1 th)	0.001	0.001	0.001	0.0002	0.0004	0.0004
	Ulangan ke-2 (Repetition 2 nd)	0.001	0.001	0.001	0.0001	0.0001	0.0001
	Ulangan ke-3 (Repetition 3 rd)	0.001	0.001	0.001	0.0001	0.0001	0.0001
	Rata-rata (Mean)		0.001		0.0002		
Sedimen Sediment (mg/kg)	Ulangan ke-1 (Repetition 1 th)	0.10	0.13	0.120	0.120	0.169	0.165
	Ulangan ke-2 (Repetition 2 nd)	7.65	7.67	9.40	0.117	0.086	0.226
	Ulangan ke-3 (Repetition 3 rd)	7.40	6.71	7.58	0.113	0.094	1.231
	Rata-rata (Mean)		5.184		0.489		

Rata-rata konsentrasi untuk logam kadmium yaitu 5,184 mg/kg; sedangkan untuk logam merkuri 0,489 mg/kg. Indonesia belum memiliki standar batu mutu pada sedimen di laut, sehingga peneliti mengacu pada baku mutu yang ditetapkan *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*. Berdasarkan baku mutu tersebut, kisaran logam berat telah di atas baku mutu yang ditetapkan yaitu 0,7 mg/kg untuk logam Cd dan untuk 0,13 mg/kg untuk logam Hg (CCME, 2001). Konsentrasi logam kadmium di sedimen lebih tinggi dibandingkan di air dan berbeda nyata ($P < 0,05$). Logam berat dalam air akan berasosiasi dengan partikel tersuspensi dan terakumulasi ke dasar perairan, serta mengendap dalam sedimen. Akumulasi logam di sedimen dipengaruhi oleh pH, kemampuan ion, masukan antropogenik, tipe, dan konsentrasi ligan organik dan anorganik, serta ukuran dan distribusi partikel sedimen (Davies *et al.*, 1991).

Bioakumulasi Kadmium dan Merkuri di Kerang Hijau

Bioakumulasi logam ditentukan dengan persamaan menurut Szefer *et al.* (1999). Nilai BSAF yang didapat dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 4. Bioakumulasi logam merkuri lebih tinggi dibandingkan dengan bioakumulasi logam kadmium namun nilainya tidak berbeda nyata. Hal ini menunjukkan kemampuan kerang hijau mengakumulasi logam kadmium dan merkuri tidak berbeda. Penelitian Liu *et al.* (2017) dan Yang *et al.* (2018) menunjukkan bioakumulasi Cd lebih tinggi dibandingkan dengan merkuri, hal ini terkait dengan karakteristik fisik dan kimiawi sedimen dan jenis sampel yang berbeda (Yang *et al.*, 2018). Secara umum, kelompok bivalvia memiliki kemampuan interspesifik yang berbeda dalam mengakumulasi logam dari lingkungan. Faktor yang memengaruhi proses bioakumulasi ini tergantung dari pola makan,

Tabel 4. *Biota-sediment accumulation factors* (BSAF) logam kadmium dan merkuri pada kerang hijau (*Perna viridis*) saat penelitian

Table 4. *Biota-sediment accumulation factors* (BSAF) of cadmium and mercury metals in green mussels (*Perna viridis*)

Logam Metals	Lokasi-1 Location-1	Lokasi-2 Location-2	Lokasi-3 Location-3	Rata-rata Mean	p	Korelasi Pearson (kerang/sedimen) Pearson's corelation (shells/sediment)
Cd	0.3	0.25	0.230	0.126	0.389	r = 0.939
	0.052	0.069	0.042			p = 0.000
	0.054	0.076	0.063			
Hg	0.175	0.343	0.139	0.309		r = 0.314
	0.418	0.418	0.292			p = 0.410
	0.283	0.670	0.047			

kemampuan metabolisme, dan aktivitas fisiologis, serta konsentrasi logam di lingkungan dan makanan (Velez *et al.*, 2015).

Konsentrasi logam kadmium di kerang hijau berkorelasi positif dan berbeda nyata dengan konsentrasi logam kadmium di sedimen ($P=0,000$); hal ini menunjukkan kemampuan kerang hijau dalam mengakumulasi logam kadmium. Bioakumulasi logam dalam tubuh organisme terkait dengan proses metabolisme fisiokimiawi methalothionin (MT). MT merupakan protein penting dalam proses penghambatan dan detoksifikasi logam pada organisme. Kadmium memiliki kemampuan afinitas yang tinggi dengan MT yang dengan mudah diabsorpsi dari lingkungan luar dan terakumulasi dalam tubuh kerang. Sifat Cd yang terlarut dalam air semakin mempermudah logam ini untuk terabsorpsi dengan baik di tubuh kerang (Liu *et al.*, 2013).

Multi Medium Risiko Kesehatan

Analisis multi medium risiko kesehatan akibat paparan logam kadmium dan merkuri terdiri atas efek risiko nonkarsinogenik dan efek karsinogenik. Efek nonkarsinogenik akan terjadi apabila nilai *hazard index* lebih dari satu ($HI > 1$). Hasil perhitungan risiko nonkarsinogenik disajikan pada Tabel 5. Penelitian ini menunjukkan nilai HI 1,47 untuk logam kadmium dan 2,07 untuk logam merkuri dengan nilai HI keseluruhan 3,54. Hal ini menunjukkan bahwa masyarakat kawasan pemukiman pesisir Jakarta Utara berisiko terhadap efek nonkarsinogenik dari logam kadmium dan merkuri. Nilai HQ untuk jalur pangan kerang menunjukkan persentase yang paling tinggi (99,6%) dibandingkan jalur paparan yang lainnya. Hal ini berarti jalur paparan pangan menjadi media yang paling dominan dan berisiko bagi masyarakat kawasan pemukiman pesisir. Nilai HQ dari setiap jalur sedimen dan kulit masih di bawah satu, sehingga masyarakat

masih aman dari risiko nonkarsinogenik kadmium dan merkuri melalui jalur paparan sedimen dan kulit.

Efek risiko karsinogenik ditunjukkan dengan nilai CR (*cancer risk*) disajikan pada Tabel 6. Nilai CR diperoleh dengan mengkalikan nilai asupan dari masing-masing paparan dengan nilai *slope factor* (SF) dari logam terkait. Logam merkuri tidak diketahui nilai SF-nya sehingga efek karsinogeniknya tidak dapat ditentukan. Nilai CR dari logam Cd sebesar $2,10^{-4}$; hal tersebut menunjukkan paparan logam kadmium berisiko karsinogenik bagi masyarakat di kawasan pemukiman pesisir. Jalur pangan merupakan jalur dengan kontribusi tertinggi dibandingkan dengan jalur paparan lainnya. Penggunaan multi medium analisis risiko telah digunakan oleh peneliti lainnya (Liu *et al.*, 2013), yang menyebutkan bahwa diet dari pangan merupakan jalur dengan kontribusi paling dominan dalam analisis risiko di kawasan pemukiman. Sehingga konsentrasi logam berat pada pangan menjadi komponen penting dalam regulasi pengelolaan risiko kesehatan. Analisis risiko dari konsentrasi kerang-kerang di Peru menunjukkan nilai HI lebih dari satu sehingga kerang-kerang dari Peru juga kemungkinan berisiko terhadap efek kesehatan dari paparan logam berat (Barriga & Pariasca, 2018).

Merkuri merupakan logam berat yang bersifat toksik bagi tubuh manusia, efek merkuri terhadap kesehatan antara lain gangguan pada sistem saraf, kerusakan fungsi otak, kerusakan DNA, kerusakan kromosom, reaksi alergi, kelelahan, dan sakit kepala; efek negatif reproduksi seperti kerusakan sperma, cacat lahir, dan keguguran (Jan *et al.*, 2015). Sementara itu, dampak kadmium pada tubuh manusia antara lain kerusakan pada metabolisme kalsium komponen penyusun tulang, disfungsi ginjal, iritasi pada usus, diare, pada kondisi kronis akan menyebabkan gagal jantung hingga kelahiran *premature* bagi wanita hamil (Jaishankar *et al.*, 2014).

Tabel 5. Risiko nonkarsinogenik (HQ) dan *hazard index* (HI) melalui empat jalur paparan kadmium dan merkuri

Table 5. *Non-carcinogenic risks (HQ) and hazard index (HI) through four exposure pathways for cadmium and mercury*

Jalur paparan <i>Pathways exposure</i>		Sedimen tertelan <i>Ingestion sediment</i>	Kulit sedimen <i>Dermal contact</i>	Pangan kerang <i>Shells diet</i>	Kulit air <i>Dermal intake</i>	Tingkat bahaya <i>Hazard index (HI)</i>
Logam (Metals)						
Cd	HQ	7.10E-09	2.80E-05	1.47	2.20E-10	1.47
	Kontribusi <i>Contribution</i>	4.8E-07 (%)	0.0019 (%)	99.99 (%)	1.E-08 (%)	
Hg	HQ	6.60E-09	2.60E-05	2.075	2.69E-10	2.07
	Kontribusi <i>Contribution</i>	3.2E-07 (%)	0.0013 (%)	99.997	1.29E-08	
HI						3.54

Tabel 6. Risiko karsinogenik (CR) dan total risiko karsinogenik melalui empat jalur paparan kadmium

Table 6. *Risk of carcinogenic (CR) and total carcinogenic risk through four cadmium exposure pathways*

Jalur paparan <i>Pathways exposure</i>		Sedimen tertelan <i>Ingestion sediment</i>	Kulit sedimen <i>Dermal contact</i>	Pangan kerang <i>Shells diet</i>	Kulit air <i>Dermal intake</i>	Total CR
Logam (Metals)						
Cd	CR	1.10E-12	4.60E-09	0.00024	8.90E-13	2.10 ⁻⁴
	Kontribusi <i>Contribution</i>	4.8E-07 (%)	0.001 (%)	99.99 (%)	3.6E-07 (%)	

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa nilai bioakumulasi logam merkuri pada kerang hijau lebih tinggi dibandingkan dengan logam kadmium namun nilainya tidak berbeda nyata. Konsentrasi logam kadmium di kerang hijau dan sedimen berkorelasi positif, sehingga logam kadmium terakumulasi dengan baik di kerang hijau. Pemukiman pesisir berisiko terhadap paparan logam kadmium dan merkuri baik risiko efek karsinogenik maupun efek nonkarsinogenik dengan media jalur paparan yang paling dominan ialah jalur bahan pangan (diet) kerang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan tinggi yang telah mendanai penelitian ini melalui hibah penelitian. Ucapan terima kasih kepada Nippon Simbolon, Daniel Rezki Sitohang, M.Si., Faradiba, M.Sc., Ratna Sabina, S.Pd., Rosa Medina Girsang, S.Pd., dan Frans yang telah membantu dalam pengambilan sampel di lapangan. Terima kasih kepada anak Raphael Baharaja Sitohang yang menemani penulis selama kehamilan.

DAFTAR ACUAN

- Barriga, S.M. & Pariasca, D.A. (2018). Bioaccumulation of lead, cadmium and mercury in *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) and *Aulacomya ater* (Molina, 1782), commercial species from Peru, and risk assessment. *Ecologia Aplicada*, 17(1), 53-60.
- Davies, C.A., Tomlinson, K., & Stephenson, T. (1991). Heavy metals in river tees estuary sediments. *Environmental Technology*, 12, 961-972.
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B.B., & Beeregowda, K.N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60-72.
- Jan, A.T., Azam, M., Siddiqui, K., Ali, A., & Choi, I. (2015). Heavy metals and human health/ : Mechanistic insight into toxicity and counter defense system of antioxidants. *Internasional Journal Molecular Science*, 16, 29592-29630.
- Kementerian Lingkungan Hidup [KLH]. (2004). Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 Tentang baku mutu air laut (Lampiran III). Jakarta, hlm. 11-13.
- Li, P. & Gao, X. (2014). Ecotoxicology and environmental safety trace elements in major marketed

- marine bivalves from six northern coastal cities of China/ : Concentrations and risk assessment for human health. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 109, 1-9.
- Liu, J., Cao, L., & Dou, S. (2017). Bioaccumulation of heavy metals and health risk assessment in three benthic bivalves along the coast of Laizhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 08362, 1-13.
- Liu, X., Song, Q., Tang, Y., Li, W., Xu, J., Wu, J., & Charles, P. (2013). Science of the total environment human health risk assessment of heavy metals in soil vegetable system/ : A multi-medium analysis. *Science of the Total Environment*, 463-464, 530-540.
- Ouyang, Y., Higman, J., Thompson, J., Toole, T.O., & Campbell, D. (2002). Characterization and spatial distribution of heavy metals in sediment from Cedar and Ortega rivers subbasin. *Journal of Contaminat Hydrology*, 54, 19-35.
- Simbolon, A.R. (2018). Konsentrasi logam kadmium (Cd) dan merkuri (Hg) pada kerang hijau (*Perna viridis*) di perairan Cilincing pesisir DKI Jakarta. *Pro Life*, 5(2), 530-542.
- Szefer, P., Ali, A.A., Ba-Haroon, A.A., Rajeh, A.A., Geldon, J., & Nabrzyski, M. (1999). Distribution and relationships of selected trace metals in molluscs and associated sediments from the Gulf of Aden, Yemen. *Environmental. Pollution*, 106, 299-314.
- US EPA. (2004). Risk assessment guidance for superfund. Human health evaluation manual—part E, supplemental guidance for dermal risk assessment. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, Volume I, p. 5-1—5-7.
- Valdes, J., Guinez, M., Castillo, A., & Vega, S.E. (2014). Cu, Pb, and Zn content in sediments and benthic organisms from San Jorge Bay (Northern Chile): Accumulation and biotransference in subtidal coastal systems. *Ciencias Marinas*, 40(1), 45-58.
- Velez, C., Figueira, E., Soares, A., & Freitas, R. (2015). Spatial distribution and bioaccumulation patterns in three Veneridae clam populations from a low contaminated ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 155, 114-125.
- Won, E., Kim, K., & Choi, J. (2016). Target organs of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* for studying metal accumulation and biomarkers in pollution monitoring/ : Laboratory and in-situ transplantation experiments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188, 1-10.
- Yang, J., Ma, S., & Zhou, J. (2018). Heavy metal contamination in soils and vegetables and health risk assessment of inhabitants in Daye, China. *Journal of International Medical Research*, 46(8), 241-247.
- Zhao, L., Yang, F., & Yan, X. (2012). Heavy metal concentrations in surface sediments and manila clams (*Ruditapes philippinarum*) from the Dalian Coast, China after the dalian port oil spill. *Biological Trace Element Research*, 149, 241-247.