

KONTAMINASI LOGAM BERAT (Hg, Pb, DAN Cd) DAN BATAS AMAN KONSUMSI KERANG HIJAU (*Perna viridis*) DARI PERAIRAN TELUK JAKARTA DI MUSIM PENGHUJAN

Heavy Metals Contamination (Hg, Pb and Cd) and Safety Level for Consumption of Green Mussels (Perna viridis) at Jakarta Bay in Rainy Season

Giri Rohmad Barokah^{1*}, Dwiyoitno¹, dan Indrianto Nugroho²

¹Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan, Jl. KS.Tubun Petamburan VI, Slipi, Jakarta, Indonesia

²Program Studi Perikanan, Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Raya Jakarta Km 4, Pakupatan Kota Serang, Banten, Indonesia

*Korespondensi Penulis: girirohmadbarokah@gmail.com

Diterima: 17 Juli 2019 ; Direvisi: 8 November 2019; Disetujui: 17 Desember 2019

ABSTRAK

Cemaran logam berat dapat terakumulasi pada air laut, sedimen dan biota laut yang hidup di dalamnya. Biota laut seperti kerang hijau (*Perna viridis*) yang tercemar logam berat melebihi ambang batas yang diijinkan akan membahayakan kesehatan apabila dikonsumsi oleh manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat pada air, sedimen dan kerang hijau (*P. viridis*) di Teluk Jakarta. Pengambilan sampel dilakukan pada tiga sentra lokasi budidaya kerang hijau di Teluk Jakarta yaitu Cilincing, Kalibaru dan Kamal Muara pada musim penghujan bulan Oktober 2016. Hasil penelitian menunjukkan kandungan logam berat pada air laut di lokasi Cilincing, yaitu Pb 0,368 mg/L; Cd 0,007 mg/L; dan Hg 0,072 mg/L dan di lokasi Kalibaru, yaitu Pb 0,422 mg/L; Cd 0,005 mg/L; dan Hg 0,045 mg/L, sudah melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh Kepmen LH No.51/2004. Kandungan Hg pada sedimen perairan di lokasi Cilincing (0,85 mg/kg), Kalibaru (0,77 mg/kg) dan Kamal Muara (0,86 mg/kg) sudah melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh WAC 173-204-320. Namun demikian, kandungan Hg, Cd dan Pb pada kerang hijau budidaya di semua lokasi pengambilan sampel masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan oleh Peraturan Kepala BPOM No 8 Tahun 2018. Analisis batas aman konsumsi kerang hijau yang tercemar logam berat yang dilakukan pada penelitian ini menunjukkan bahwa kerang hijau baik di lokasi Cilincing, Kalibaru dan Kamal Muara masih aman dikonsumsi hingga 1 kg/minggu pada orang dewasa dengan berat badan rata-rata 60 kg.

KATA KUNCI : batas aman konsumsi, logam berat, *Perna viridis*, Teluk Jakarta

ABSTRACT

Contamination of heavy metals can be accumulated in marine water, sediment and organisms. Marine organisms such as green mussels (Perna viridis) that were contaminated by heavy metals could be harmful to human health. This research aimed to determine heavy metals concentration in marine water, sediment and green mussels (P. viridis) at Jakarta Bay. Sampling was conducted at three aquaculture stations i.e. Cilincing, Kalibaru and Kamal Muara in rainy season in October 2016. The study showed that concentrations of Pb, Cd and Hg in marine water from Cilincing (0.368 mg/L of Pb; 0.007 mg/L of Cd; and 0.072 mg/L of Hg) and Kalibaru (0.422 mg/L of Pb; 0.005 mg/L of Cd; and 0.045 mg/L of Hg) were exceeded the standard quality criteria as regulated by Decree of the Minister of Environment No. 51/2004. The concentration of Hg in marine sediment from all of the sampling stations, i.e. Cilincing (0.85 mg/kg), Kalibaru (0.77 mg/kg) and Kamal Muara (0.86 mg/kg) have exceeded the safety limit as regulated by WAC 173-204-320. However, the concentration of Hg, Cd and Pb in green mussels (P. viridis) from all of the sampling stations were still below the safety level set by the Regulation of Director Indonesia National Agency of Drug and Food Control No. 5, 2018. The tolerable weekly intake consumption that was calculated in this study showed that green mussels from Cilincing, Kalibaru and Kamal Muara aquaculture areas can be consumed up to 1 kg/week for adult with an average body weight of 60 kg.

KEYWORDS: safety level consumption, heavy metals, *Perna viridis*, Jakarta Bay

PENDAHULUAN

Teluk Jakarta merupakan wilayah perairan yang dimanfaatkan untuk berbagai kegiatan seperti transportasi, perikanan, wisata dan industri. Keterkaitan wilayah pesisir Teluk Jakarta dengan wilayah daratan melalui 13 daerah wilayah aliran sungai (DWAS) yang bermuara di Teluk Jakarta, menjadikan wilayah pesisir ini sebagai penangkap sedimen, nutrisi dan bahan pencemar yang berasal dari hulu (BPLHD, 2011). Aktivitas pemanfaatan berbagai kegiatan di wilayah pesisir Teluk Jakarta, menyebabkan limbah yang masuk ke perairan tersebut semakin tinggi dan mengakibatkan kualitas lingkungan perairan cenderung mengalami penurunan dari waktu ke waktu (Cordova, Zamani, & Yulianda, 2011). Salah satu limbah berbahaya yang masuk ke dalam badan perairan Teluk Jakarta adalah cemaran logam berat. Menurut Setiawan, Yulianto, dan Wijayanti (2013) logam berat pada suatu lokasi perairan lama kelamaan akan turun dan mengalami sedimentasi di dasar perairan. Hal ini mengakibatkan biota laut terutama yang hidup di dasar perairan seperti kekerangan akan memiliki risiko yang sangat besar untuk terkontaminasi logam berat tersebut.

Kerang hijau merupakan salah satu komoditi perikanan yang banyak dibudidayakan oleh masyarakat pesisir Teluk Jakarta dengan jumlah pembudidaya kerang hijau hingga tahun 2015 mencapai 349 orang dan telah menyerap tenaga kerja sebanyak 1.120 orang serta produksinya mencapai 28.160 ton per tahun (BPS, 2015). Akan tetapi, sebagai biota *filter feeder* kerang hijau dapat mengakumulasi cemaran logam berat lebih besar dibandingkan dengan hewan air lainnya sehingga sangat berisiko terhadap kesehatan manusia yang mengonsumsinya (Permanawati, Zaurida, & Ibrahim, 2013; Purba, Ridlo, & Supriyanto, 2014; Sijabat, Trinuraini, & Supriyantini, 2014; Suryono, 2013). Selain itu, kandungan logam berat yang terdapat dalam kerang hijau secara langsung dapat mengganggu proses metabolisme dalam tubuh kerang hijau dan mengakibatkan kerang hijau mengalami kehilangan berat tubuhnya sehingga secara ekonomi juga sangat merugikan (Irnidayanti, 2015).

Penelitian tentang kandungan logam berat di Teluk Jakarta sudah banyak dilakukan, setidaknya dari tahun 2008 hingga 2015 ada lima penelitian tentang kandungan logam berat baik pada air, sedimen maupun biota di Teluk Jakarta (Arifin & Fadhlina, 2009; Cordova et al., 2011; Jalius, Setiyanto, Sumantadinata, Riani, & Ernawati, 2008; Kusuma, Prariono, Atmadipoera, & Arifin, 2015; Siregar et al., 2016). Lestari dan Edward (2004) menyatakan bahwa logam berat yang sering ditemukan dan memiliki

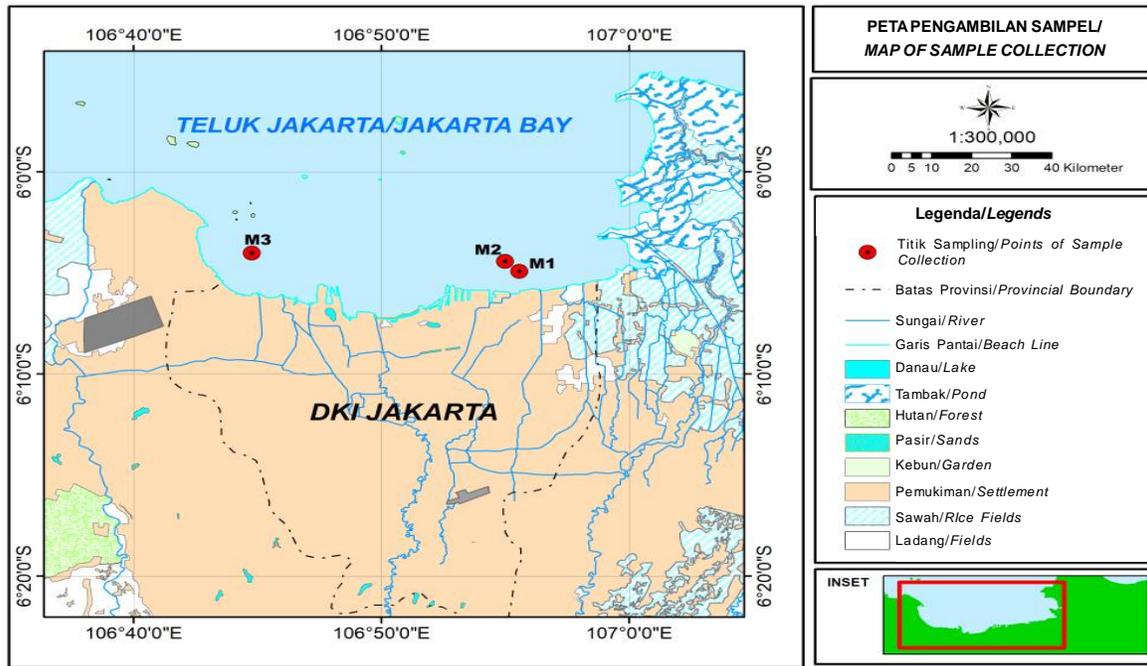
kecenderungan kandungan yang tinggi di perairan Teluk Jakarta adalah timbal (Pb), merkuri (Hg), tembaga (Cu) dan cadmium (Cd). Selanjutnya Bosch, O'Neill, Sigge, Kerwath, dan Hoffman (2015) menyatakan bahwa Hg dan Cd merupakan dua jenis logam berat yang memiliki toksisitas paling tinggi dibandingkan dengan logam berat yang lain. Selain itu, penelitian terbaru menunjukkan bahwa kandungan Pb terlarut di Teluk Jakarta berkisar antara 0,006-0,016 mg/kg dan Pb terendapkan sebesar 24,86-59,32 mg/kg. Sedangkan kandungan Cd terlarut berkisar antara 0,001-0,003 ppm dan Cd terendapkan sebesar 0,32-3,49 mg/kg (Kusuma et al., 2015). Selanjutnya kandungan Hg terlarut berkisar antara 0,0002-0,0015 mg/kg (Nurhidayah, 2017). Dari hasil penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa kandungan logam berat di Teluk Jakarta sangat bervariasi, baik secara temporal maupun spasial, dan mengalami spesiasi membentuk senyawa yang kompleks di perairan.

Oleh karena itu, penelitian tentang kandungan logam berat di air, sedimen dan biota serta batas aman konsumsi kerang hijau di Teluk Jakarta yang terpapar logam berat masih sangat penting untuk dilakukan karena perubahan musim dan input bahan pencemar dapat berpengaruh terhadap kandungan logam berat yang berada pada pada tubuh kerang hijau. Pemilihan logam Cd, Hg dan Pb sebagai logam yang dianalisa pada penelitian ini didasarkan pada tingginya input cemaran serta sifat toksisitas dari ketiga jenis logam tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat pada air, sedimen dan kerang hijau yang sudah memasuki masa panen dan siap konsumsi serta batas maksimum konsumsi daging kerang hijau yang tercemar logam berat di sekitar area budidaya kerang hijau di Teluk Jakarta. Hasil penelitian diharapkan dapat dijadikan dasar kebijakan untuk pengelolaan cemaran bahan berbahaya salah satunya logam berat di sekitar perairan Teluk Jakarta dan budidaya perikanan di kawasan tersebut.

BAHAN DAN METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di tiga lokasi area budidaya kerang hijau di tiga kecamatan yang berbeda, yaitu Kecamatan Cilincing (M1) dengan koordinat lokasi 6,0614°LS dan 106,9261°BT, Kecamatan Kalibaru (M2) dengan koordinat lokasi 6,0737°LS dan 106,9164°BT serta Kecamatan Kamal Muara (M3) dengan koordinat lokasi 6,0669°LS dan 106,7461°BT yang ditentukan dengan cara *purposive sampling* dengan pertimbangan di ketiga kawasan tersebut banyak terdapat lokasi budidaya kerang yang mengalami pergeseran setelah adanya dampak



Gambar 1. Lokasi penelitian dan titik pengambilan sampel di kecamatan Cilincing (M1), Kalibaru (M2), dan Kamal Muara (M3)

Figure 1. Research locations and points of sampling collection at Cilincing (M1), Kalibaru (M2), and Kamal Muara (M3)

pembangunan reklamasi di Teluk Jakarta (Gambar 1). Sampel yang diambil pada penelitian ini berupa air, sedimen dan daging kerang hijau (*P. viridis*). Pengambilan sampel dilakukan pada musim penghujan bulan Oktober 2016 dimana pada musim tersebut kerang hijau di ketiga wilayah tersebut sudah mulai memasuki musim panen dan siap untuk dikonsumsi dengan umur panen 6 bulan.

Bahan dan Alat

Sampel yang dianalisis dalam penelitian ini adalah sampel air laut, sedimen dan daging kerang hijau (*P. viridis*) yang diambil di tiga lokasi budidaya di Teluk Jakarta. Sedangkan bahan kimia yang digunakan dalam analisa kandungan logam berat adalah asam nitrat (HNO_3) (Merck, USA) untuk destruksi sampel air dan biota serta hidrogen fluorida (HF) (Merck, USA) untuk destruksi sampel sedimen (Siregar et al., 2016). Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini di antaranya *water sampler* (Nansen) untuk mengambil sampel air, *Van Veen Grab* untuk mengambil sampel sedimen dasar perairan, *global positioning system/GPS* (Garmin type 585) untuk menentukan titik lokasi pengambilan sampel, botol sampel berbahan *polyethylene* (PE) ukuran 1000 ml untuk sampel air dan ukuran 500 ml untuk sampel sedimen serta *polyethylene* (PE) yang digunakan untuk penyimpanan

sampel kerang hijau. Peralatan yang digunakan untuk analisa kandungan logam berat adalah *microwave digestion* (Berghof, Germany) untuk proses destruksi sampel serta *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry/ICP-MS* (Agilent 7700x, USA) yang digunakan dalam pembacaan kandungan logam berat pada sampel.

Metode Penelitian

Prosedur pengambilan sampel

Pengambilan sampel air laut dilakukan dengan mengacu pada metode yang digunakan oleh Hutagalung, Setiapermana, dan Riyono (1997). Sampel air sebanyak 1000 mL diambil menggunakan *water sampler* (Nansen) pada kedalaman 1 m di setiap titik tepat di atas tiang pancang budidaya kerang hijau. Hal tersebut dilakukan untuk melihat karakteristik kontaminan logam terlarut yang berada di area budidaya yang dapat mengontaminasi kerang hijau. Selanjutnya, sampel air ditempatkan ke dalam botol sampel dan disimpan pada suhu sekitar 4 °C di dalam *cool box* yang didinginkan menggunakan hancuran es. Pengambilan sampel sedimen laut mengacu pada metode standar APHA (2005) di mana sampel sedimen diambil menggunakan *Van Veen Grab sampler* dengan ukuran bukaan mulut 25 cm x 25 cm pada titik

budidaya kerang hijau. Sampel sedimen kemudian dikomposit hingga homogen, dan selanjutnya dimasukkan ke dalam botol *polyethylene* bersih. Sampel sedimen kemudian disimpan dalam *cool box* dengan suhu sekitar 4 °C selama transportasi menuju laboratorium. Setelah sampai di laboratorium, sampel sedimen kemudian diambil sebanyak 150 gr untuk dikeringkan dengan oven dan dilakukan analisa kandungan logam berat.

Kerang hijau dengan rata-rata usia panen 6 bulan diambil sebanyak ± 1 kg dan dimasukkan dalam kantong plastik yang telah diberi label berdasarkan lokasi penelitian. Selanjutnya sampel kerang hijau dimasukkan dalam *cool box* bersuhu sekitar 4°C dan dibawa ke laboratorium. Untuk analisa kandungan logam berat, sampel kerang dikupas, diambil dagingnya sebanyak 300 mg kemudian dicincang dan dikomposit menjadi satu untuk dibagi menjadi tiga ulangan.

Preparasi dan analisis kandungan logam berat

Preparasi sampel dilakukan dengan mengacu pada metode yang digunakan oleh Siregar et al. (2016). Destruksi sampel air laut dan daging kerang hijau dilakukan dengan menggunakan larutan HNO₃ 60%. Sedangkan destruksi sampel sedimen dilakukan dengan menggunakan kombinasi larutan HNO₃ 60% dan larutan HF 40%. Proses destruksi masing-masing sampel dilakukan dengan menggunakan *microwave digester*. Selanjutnya, analisis kandungan logam berat pada sampel dilakukan menggunakan ICP-MS 7700x (Siregar et al., 2016). Perhitungan kandungan logam berat pada sampel air, sedimen dan kerang hijau ditentukan melalui persamaan yang mengacu pada metode FSSAI (2015).

Penentuan faktor bioakumulasi dan batasan aman (safety level) konsumsi kerang hijau

Bioaccumulation Factor (BAF) pada kerang hijau dianalisis dengan menghitung rasio antara kandungan logam berat pada daging kerang hijau terhadap kandungan logam berat terlarut pada air laut (*bio water accumulation factor*), dan logam berat terendapkan pada sedimen (*bio sediment accumulation factor*) pada lokasi budidaya (Januar, Dwiytno, Hidayah, & Hermana, 2019; Ziyaadini, Yousefianpour, Ghasemzadeh, & Zahedi, 2016; Szefer et al., 1999). Berdasarkan nilai *bio sediment accumulation factor* (BSAF), organisme perairan diklasifikasikan menjadi 3 kelompok (Dallinger, 1993), yaitu :

1. Jika nilai BSAF > 2, maka organisme diklasifikasikan sebagai organisme *macro-concentrator*.

2. Jika nilai BSAF > 1 dan < 2 (1<BSAF<2), maka organisme dikelompokkan sebagai organisme *micro-concentrator*.
3. Jika nilai BSAF <1 maka organisme tersebut dikelompokkan sebagai organisme *de-concentrator*.

Nilai *safety level* atau batasan aman untuk konsumsi dijadikan acuan untuk menghindari dampak buruk yang dapat ditimbulkan logam berat jika masuk ke dalam tubuh. Batas aman untuk mengonsumsi kerang hijau yang sudah mengandung logam berat pada penelitian ini dihitung dengan menggunakan batasan toleransi jumlah kontaminan logam berat pada daging kerang yang dapat ditoleransi oleh tubuh manusia selama satu minggu (*provisional tolerable weekly intake-PTWI*). Persamaan perhitungan PTWI yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada metode FAO/WHO (2017).

MWI : Berat badan x PTWI.....(1)

MTI : MWI / Ct.....(2)

Keterangan :

MWI : Maksimum konsumsi perminggu (mg/minggu)

PTWI : Angka torelansi batas konsumsi maksimum perminggu (mg/kg bb/minggu)

MTI : Maksimum toleransi konsumsi(gr/hari)

Ct : Konsentrasi logam berat yang terkandung dalam daging (mg/kg)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan Hg, Cd dan Pb pada Air Laut, Sedimen dan Kerang Hijau

Kontaminasi logam berat pada suatu ekosistem perairan telah menjadi perhatian serius. Hal ini dikarenakan sifat logam berat yang *persistent* di lingkungan perairan dan efek paparan kontaminasi yang ditimbulkan baik pada organisme perairan maupun pada kesehatan manusia walaupun dalam jumlah yang sedikit (Gu, Ning, Ke, & Huang, 2018; Jitar, Teodosiu, Oros, Plavan, & Nicoara, 2015; Machado, Spencer, Kloas, Toffolon, & Zarf, 2016). Hasil penelitian ini menunjukkan kandungan logam berat Pb terlarut pada air laut di lokasi budidaya kerang hijau M1 (Cilincing) dan M2 (Kalibaru) serta kandungan logam berat Hg pada air laut di seluruh lokasi pengambilan sampel dan Cd pada kolom perairan di lokasi budidaya kerang hijau daerah M1 (Cilincing) telah melebihi ambang batas yang ditentukan oleh Kepmen LH No. 51 tahun 2004 (Gambar 2).

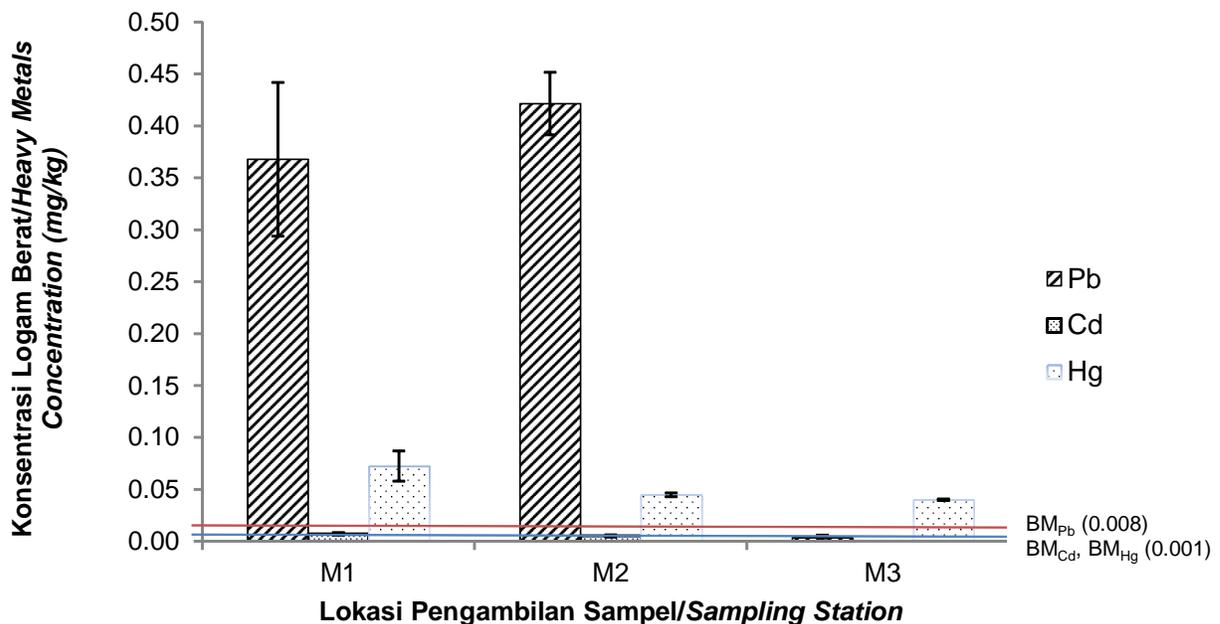
Selanjutnya, kandungan Hg pada sedimen di Cilincing, Kalibaru dan Kamal Muara sudah melebihi

ambang batas yang ditetapkan oleh WAC 173-204-320 *Marine Sediment Quality Standard* (WAC, 2013). Namun kandungan logam berat terendapkan Pb dan Cd pada sedimen di ketiga lokasi budidaya kerang hijau tersebut masih berada di bawah ambang batas yang sudah ditetapkan (Gambar 3). Sementara itu kandungan logam berat Pb pada daging kerang hijau di daerah Cilincing (M1) dan Kalibaru (M2) serta Cd pada daging kerang hijau pada lokasi budidaya Kalibaru (M2) sudah melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh regulasi pemerintah Indonesia yang dituangkan dalam peraturan kepala BPOM No. 5 tahun 2018 yaitu Pb 0,1 mg/kg dan 0,2 mg/kg untuk Cd (Gambar 4). Namun, kandungan Hg pada kerang hijau di ketiga lokasi budidaya masih berada di bawah ambang batas (0,5 mg/kg) yang ditetapkan dalam peraturan tersebut (BPOM, 2018).

Kandungan Hg, Cd dan Pb di kolom perairan lokasi budidaya kerang hijau di Teluk Jakarta telah melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh pemerintah. Nilai tersebut dapat menjadi indikasi adanya cemaran limbah (limbah rumah tangga dan industri) yang dibuang ke arah Teluk Jakarta melalui sungai Kalibaru, Blencong dan Cakung. Hal tersebut selaras dengan pernyataan Pangestu (2017) di mana daerah sekitar sungai di Kalibaru banyak didominasi oleh daerah

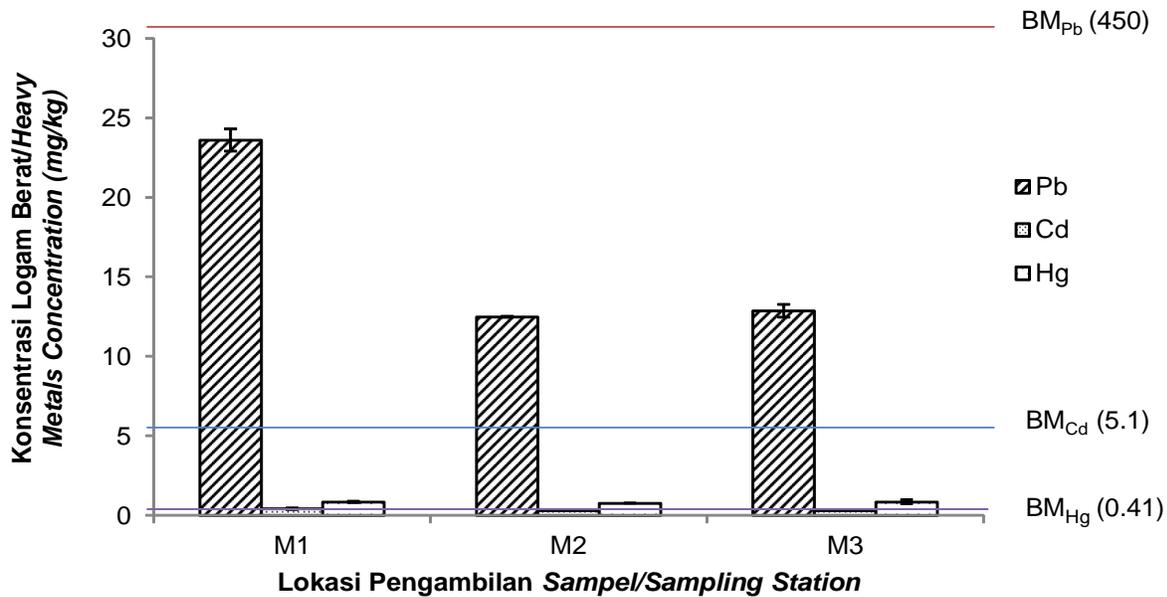
pemukiman penduduk, industri dan pasar. Keberadaan Pb pada perairan disebabkan adanya pemasukan Pb dari aktifitas masyarakat, pembuangan baterai bekas di badan perairan, pengelupasan cat pipa serta sisa pembakaran bahan dari perahu mesin yang digunakan sebagai alat transportasi (Cahyani, Batu, & Sulistiono, 2016; Eshmat, Mahasri, & Rahardja, 2014).

Kandungan Hg yang tinggi pada sedimen di lokasi budidaya kerang hijau di Teluk Jakarta (Gambar 3) diduga disebabkan karena adanya limbah yang mengandung Hg dari perumahan maupun industri yang dibuang melalui aliran sungai yang bermuara di perairan Teluk Jakarta dan dekat dengan lokasi budidaya kerang hijau. Menurut Purnawan, Sikanna dan Prismawiryanti (2013) serta Nuraini, Endrawati, dan Maulana (2017), keberadaan residu Hg pada suatu lingkungan perairan dapat berasal dari berbagai aktivitas manusia seperti limbah rumah tangga, industri *pulp* dan kertas serta pertanian yang menghasilkan limbah merkuri, sehingga kosentrasi Hg di lingkungan perairan dapat meningkat seiring kemajuan teknologi dan pertambahan jumlah penduduk. Selanjutnya Chen, Chen, dan Dong (2012) menyatakan bahwa jumlah Hg yang terkandung pada sedimen mencerminkan tingkat polusi bagi badan air. Dengan demikian tingginya kandungan Hg pada



Gambar 2. Kandungan Pb, Cd dan Hg pada air laut di lokasi budaya kerang hijau (*P. viridis*) (M1 : Cilincing, M2 : Kalibaru, M3 : Kamal Muara, BM: Batas maksimum Hg, Pb dan Cd (mg/kg) berdasarkan Keputusan Menteri LH No. 51 tahun 2004)

Figure 2. The concentration of Pb, Cd and Hg in marine water from green mussels (*P. viridis*) aquaculture area (M1 : Cilincing, M2 : Kalibaru, M3 : Kamal Muara BM: maximum tolerable concentration of Pb, Hg and Cd (mg/kg) in marine water based on the Minister of Environment Decree No. 51/2004)



Gambar 3. Kandungan Pb, Cd dan Hg pada sedimen di lokasi budaya kerang hijau (*P. viridis*) (M1 : Cilincing, M2 : Kalibaru, M3 : Kamal Muara BM: Batas maksimum konsentrasi Hg, Pb dan Cd (mg/kg) berdasarkan WAC 173-204-320 Marine Sediment Quality Standard (2013))

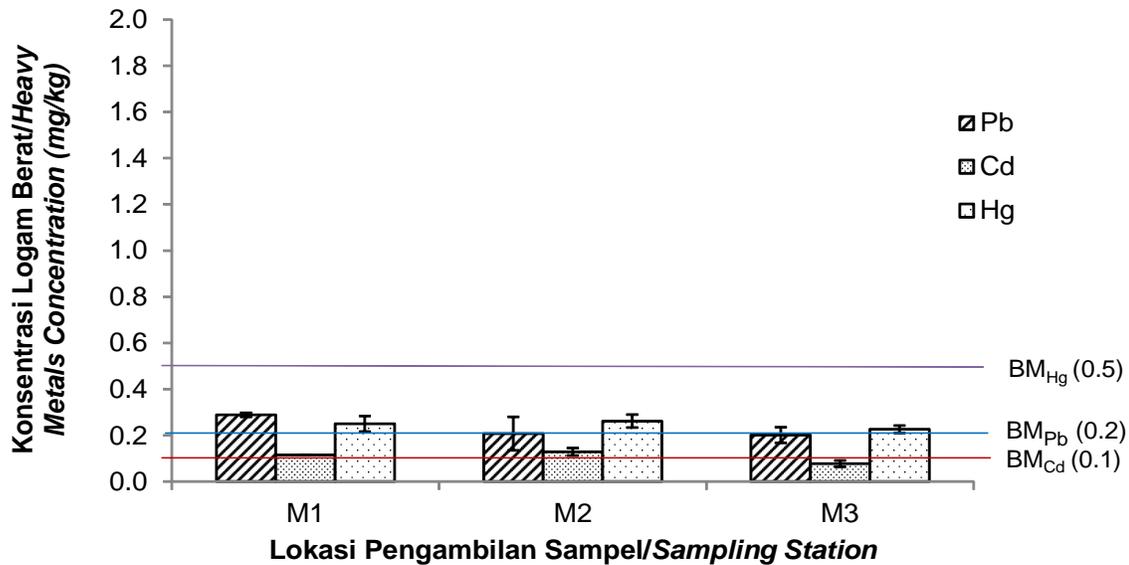
Figure 3. The concentration of Pb, Cd and Hg in marine sediment at green mussels (*P. viridis*) aquaculture area (M1 : Cilincing, M2 : Kalibaru, M3 : Kamal Muara BM: maximum tolerable concentration of Pb, Hg and Cd (mg/kg) in marine sediment based on WAC 173-204-320 Marine Sediment Quality Standard (2013))

sedimen di penelitian ini selaras dengan tingginya kandungan Hg di dalam air laut. Akumulasi logam berat yang terjadi pada sedimen laut disebabkan karena sifat logam berat yang selalu mengikat partikel lain dan bahan organik, yang kemudian mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen lainnya (Kaushik et al., 2009; Susantoro, Sunarjanto, & Andayani, 2015).

Kerang hijau merupakan biota yang dapat dijadikan sebagai salah satu bioindikator pencemaran logam berat di suatu perairan, karena sifatnya yang hidup di dasar perairan dan mencari makan secara *filter feeding* atau menyerap makanan dengan menyaring sedimen dan air laut (Nuraini et al., 2017 ; Santoso et al., 2012; Sijabat et al., 2014). Hal tersebut yang mengakibatkan logam berat dapat masuk ke dalam tubuh kerang hijau dan terakumulasi terus menerus di dalam tubuhnya. Kandungan logam berat daging kerang hijau budidaya dalam penelitian ini (Gambar 4) berbeda dengan hasil penelitian Cordova et al. (2011) yang menunjukkan bahwa kandungan Pb, Cd dan Hg pada kerang hijau budidaya di Teluk Jakarta sudah melebihi ambang batas yang telah ditetapkan. Kompilasi kandungan logam berat pada lingkungan perairan dan kekerangan Teluk Jakarta terlihat pada Tabel 1. Perbedaan kandungan logam berat tersebut dapat diakibatkan oleh perbedaan waktu dan musim

pengambilan sampel. Nur dan Karneli (2015) menyatakan bahwa pengamatan yang dilakukan pada waktu berbeda walaupun dalam suatu perairan yang sama dapat memberikan hasil yang berbeda. Pengambilan sampel kerang hijau pada penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober yang merupakan musim penghujan yang juga dapat menyebabkan kandungan logam berat pada daging kerang hijau rendah. Hal ini selaras dengan pernyataan Murtini dan Ariyani (2005) di mana kandungan logam berat pada kerang hijau di Pantai Dadap (Teluk Jakarta) yang diambil pada musim kemarau (bulan Juli) telah melebihi ambang batas yang ditetapkan, sedangkan kerang hijau yang diambil pada musim penghujan (bulan November) jauh menurun dan tidak melebihi ambang batas yang telah ditetapkan.

Penurunan kandungan logam berat pada daging kerang hijau yang terjadi pada penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Cordova et al., 2011) diakibatkan juga oleh perubahan letak posisi lokasi budidaya kerang hijau yang lebih ke tengah teluk akibat adanya pembangunan reklamasi. Di lokasi baru ini, kemungkinan belum terjadi pencemaran sebanyak di lokasi sebelumnya, sehingga akumulasi logam berat pada tubuh kerang hijau lebih rendah. Menurut Eshmat et al. (2014) tinggi rendahnya kandungan logam berat pada daging kerang hijau dipengaruhi oleh kualitas air dan kualitas



Gambar 4. Kandungan Pb, Cd dan Hg pada kerang hijau (*P. viridis*) (M1 : Cilincing, M2 : Kalibaru, M3 : Kamal Muara, BM: batas maksimum Hg, Pb dan Cd (mg/kg) di daging kerang hijau (*P. viridis*) berdasarkan Peraturan Kepala BPOM No 5 tahun 2018)

Figure 4. The concentration of Pb, Cd and Hg at green mussels (*P. viridis*) aquaculture area (M1 : Cilincing, M2 : Kalibaru, M3 : Kamal Muara BM: maximum tolerable concentration of Pb, Hg and Cd (mg/kg) in green mussels (*P. viridis*) based on Regulation of the Director of Indonesia National Agency of Drug and Food Control No. 5, 2018)

Tabel 1. Kandungan Hg, Pb dan Cd (mg/kg) di lingkungan perairan dan kerang hijau (*P. viridis*) budidaya di Teluk Jakarta dari beberapa hasil penelitian

Table 1. The concentration of Hg, Pb and Cd (mg/kg) in marine environment and green mussels (*P. viridis*) at Jakarta Bay from several studies

Logam Berat/ Heavy Metal	Contoh/Sample	Penelitian ini/ Current Study	Siregar et al. (2016)	Pernamawati, Zuraida & Ibrahim (2013)	Cordova et al. (2011)	Murtini & Ariyani (2005)
Hg (mg/kg)	Air laut/ Marine water	0.040-0.072	0-0.095	-	-	0.0010-0.0014
	Sedimen/ Sediment	0.774-0.855	0-9.000	-	-	0.009-0.380
	Kerang hijau/ Green mussels	0.227-0.262	-	-	3.542	-
Pb (mg/kg)	Air laut/ Marine water	0.003-0.422	0-0.492	0.005-0.011	-	-
	Sedimen/ Sediment	12.489-23.603	0-357.000	4.580-100.000	-	-
	Kerang hijau/ Green mussels	0.202-0.289	-	-	1.713	-
Cd (mg/kg)	Air laut/ Marine water	0-0.007	0-0.009	0.006-0.015	-	-
	Sedimen/ Sediment	0.312-0.425	0-13.000	0.012-0.750	-	-
	Kerang hijau/ Green mussels	0.078-0.116	-	-	0.07	-

sedimen perairan tempat hidupnya. Selain itu, kerang dapat mengalami proses reduksi logam berat dengan cara ekskresi lewat feses dan urin, sehingga hal tersebut dapat mengurangi kandungan logam berat di dalam tubuhnya walaupun pengurangannya tidak signifikan (Azhar, Widowati, & Suprijanto, 2012).

Kandungan Pb pada kerang hijau cukup rendah apabila dibandingkan dengan kandungan logam berat pada sedimen di lokasi budidayanya. Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh perbedaan kemampuan akumulasi dari tiap organ dan jaringan kerang hijau terhadap masing-masing logam berat. Menurut Al-Weher (2008) setiap organ tubuh kerang mempunyai peran yang berbeda baik dalam fungsi metabolisemenya atau fungsi fisiologisnya. Hal tersebut mempengaruhi distribusi logam dalam jaringan yang berbeda dari kerang, akibatnya proses detoksifikasi logam dalam tubuh kerang juga bisa berbeda. Selanjutnya dari penelitian Yap, Ismail, Tan dan Rahim (2007) dilaporkan bahwa kandungan Pb paling besar pada tubuh kerang hijau terdapat pada bagian cangkang. Pada penelitian ini analisa kandungan logam berat hanya dilakukan pada daging kerang, yang memungkinkan kandungan Pb pada daging kerang hijau dalam penelitian ini cukup rendah apabila dibandingkan dengan kandungan Pb yang terdapat pada air dan sedimen di lokasi budidayanya. Kandungan logam berat Hg yang terdeteksi pada daging kerang hijau di penelitian ini masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan, akan tetapi paparannya pada konsumen tetap perlu diwaspadai karena tetap dapat membahayakan kesehatan konsumen.

Faktor Bioakumulasi dan Batas Toleransi Konsumsi Kerang Hijau (*P. viridis*) yang Mengandung Hg, Pb dan Cd

Kerang hijau merupakan salah satu komoditas perikanan yang sering dikonsumsi oleh masyarakat. Akan tetapi cemaran logam berat pada kerang hijau dapat membahayakan kesehatan manusia yang mengonsumsinya seperti gangguan fisiologis tubuh hingga kematian. Sebagai contoh, paparan Hg dapat

menimbulkan efek bahaya kesehatan yang serius kepada manusia seperti kerusakan pada ginjal, paru-paru, jantung dan sistem fisiologis tubuh lainnya (Gu et al., 2018). Risiko yang ditimbulkan tersebut dapat diminimalkan dengan memberikan batasan toleransi konsumsi daging kerang hijau yang tercemar logam berat.

Hasil perhitungan faktor bioakumulasi (Tabel 2) menunjukkan bahwa kerang hijau yang dibudidayakan baik di Cilincing (M1), Kalibaru (M2) dan Kamal Muara (M3) dikategorikan sebagai organisme *de concentrator* (BSAF < 1) untuk Pb dan Hg serta diklasifikasikan ke dalam kelompok *macro concentrator* (BSAF > 2) untuk Cd. Akan tetapi menurut Dallinger (1993) dan Yap dan Al-Barwani (2012) estimasi perhitungan nilai BSAF tersebut hanya berlaku pada populasi sampel yang diambil pada saat penelitian dilakukan. Hal ini disebabkan kandungan logam berat sangat tergantung pada musim serta faktor lingkungan lainnya seperti DO dan pH perairan untuk terikat pada sedimen perairan dan kemudian terakumulasi ke dalam tubuh organisme yang hidup didalam.

Hasil perhitungan nilai BSAF pada kerang hijau menunjukkan bahwa tingkat akumulasi kerang hijau yang cukup tinggi dari logam terlarut Hg di seluruh lokasi pengambilan sampel. Hal ini selaras dengan nilai kandungan logam berat Hg terlarut di kolom perairan yang sudah melebihi ambang batas Kepmen LH No. 51 tahun 2014. Tingginya nilai tersebut menunjukkan bahwa potensi pencemaran Hg pada seluruh lokasi pengambilan sampel dan Pb di daerah Cilincing (M1) terhadap biota kerang hijau dari kolom perairan melalui saluran respirasi dan difusi dari kulit cukup tinggi. Menurut Cahyani et al. (2016) tingkat akumulasi biota perairan terhadap beberapa jenis logam berat dari kolom perairan lebih tinggi dibandingkan dari sedimen. Hal ini terbukti bahwa nilai BSAF pada jenis logam berat Pb dan Hg di penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan nilai BSAF nya. Akan tetapi hal ini sangat bergantung kepada kemampuan metabolisme serta habitat hidup dari biota perairan tersebut. Kerang hijau yang hidupnya berada di dasar perairan akan lebih banyak tercemar

Tabel 2. Nilai rata-rata faktor bioakumulasi logam berat pada kerang hijau (*P. viridis*)
 Table 2. Mean value of heavy metals accumulation factors in green mussels (*P. viridis*)

Lokasi Pengambilan Sampel/Sampling Station	BWAFF (Bio Water Accumulation Factor)			BSAF (Bio Sediment Accumulation Factor)		
	Pb	Cd	Hg	Pb	Cd	Hg
M1 (Cilincing)	0.780000	0.000036	3.486111	0.000024	2.002353	0.294947
M2 (Kalibaru)	0.490000	0.000062	5.822222	0.000033	2.381538	0.338501
M3 (Kamal Muara)	67.330000	0.000066	5.675000	0.000031	2.740385	0.265497

Tabel 3. Batas aman konsumsi kerang hijau (*P. viridis*) yang mengandung Hg, Pb dan Cd di Teluk Jakarta
 Table 3. The safety level of consumption of green mussels (*P. viridis*) contaminated with Hg, Pb and Cd at Jakarta Bay

Titik pengambilan sampel g/ Points of sample collection	Logam berat/ Heavy metal	Konsentrasi/ Concentration (mg/kg)	PTWI		
			(µg/kgBB/ minggu)* (µg/kgBW/ week)	MWI (mg/minggu)/ (mg/week)	MTI (kg/minggu) I(kg/week)
M1	Pb	0.289	25	1,5	5,2
M2		0.208	25	1,5	7,2
M3		0.202	25	1,5	7,4
M1	Cd	0.111	7	0,42	3,6
M2		0.13	7	0,42	3,2
M3		0.078	7	0,42	5,4
M1	Hg	0.251	4	0,24	1,0
M2		0.262	4	0,24	0,9
M3		0.227	4	0,24	1,1

Sumber/Source : *WHO (2017)

M1 : Cilincing

M2 : Kalibaru

M3 : Kamal Muara

PTWI : Angka torelansi batas konsumsi maksimum perminggu (µg/kg bb/minggu)/Provisional tolerable weekly intake (µg/kg bw/week)

MWI : Maksimum konsumsi perminggu/Maximum Weekly Intake

MTI : Maksimum toleransi konsumsi/Maximum Tolerable Intake

BB/BW : Berat badan/Body weight

logam berat yang terendapkan pada sedimen perairan dibandingkan dengan logam berat yang berasal dari kolom perairan

Konsumsi maksimum mingguan kerang hijau yang dibudidayakan di lokasi M1 (Cilincing), M2 (Kalibaru), dan M3 (Kamal Muara) telah dihitung dengan *Maximum Tolerable Intake* (MTI) per minggu untuk individu dewasa dengan asumsi berat badan rata-rata 60 kg per orang (Tabel 3). Batas maksimum konsentrasi dari bahan pangan terkontaminasi logam berat yang boleh dikonsumsi per minggu atau *Maximum Weekly Intake* (MWI) adalah sebesar 1,5 mg untuk Pb, Cd sebesar 0,42 mg, dan Hg sebesar 0,24 mg. Apabila logam berat yang masuk ke dalam tubuh individu dengan berat badan rata-rata 60 kg melebihi nilai MWI tersebut, maka logam Pb, Cd, dan Hg akan bersifat toksik dalam tubuh. Selanjutnya, berdasarkan hasil perhitungan MTI, dapat dilihat bahwa individu yang mempunyai berat badan rata-rata 60 kg hanya dapat mengonsumsi kerang hijau sebanyak ± 1 kg per minggu, yaitu sebagai nilai batas terkecil dari jenis residu logam berat. Hal tersebut dilakukan agar tidak terjadi akumulasi logam dalam tubuh yang dapat menyebabkan kematian pada manusia (Hidayah,

Purwanto & Soeprbowati, 2014; Irawati, Lumbanbatu & Sulistiono, 2018).

KESIMPULAN

Kandungan Hg, Cd dan Pb dalam sampel air laut yang diambil di musim penghujan di lokasi budidaya kerang hijau di Cilincing, Kalibaru dan Kamal Muara sudah melebihi ambang batas yang ditetapkan, sedangkan pada sampel sedimen hanya Hg yang konsentrasinya sudah melebihi ambang batas. Kandungan Hg, Cd dan Pb pada kerang hijau yang dibudidaya di Cilincing, Kalibaru dan Kamal Muara belum melewati ambang batas yang telah ditetapkan. Berdasarkan kandungan Hg, Cd dan Pb pada daging kerang, batas toleransi maksimum konsumsi daging kerang hijau yang dipanen pada musim penghujan dan berasal dari ketiga lokasi tersebut sebanyak kurang lebih 1 kg per minggu. Oleh karena itu, direkomendasikan bagi konsumen untuk menghindari konsumsi kerang hijau budidaya dari daerah tersebut pada musim penghujan secara berlebihan untuk menghindari efek bahaya kesehatan yang dapat ditimbulkan dari akumulasi logam berat tersebut dalam tubuh manusia.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dibiayai oleh DIPA Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan tahun 2016 dengan judul penelitian "Zonasi Cemar Logam Berat dan Biotoksin di Perairan Teluk Jakarta". Dalam penyusunan makalah penelitian ini Giri Rohmad Barokah bertindak sebagai kontributor utama. Penulis mengucapkan terimakasih kepada Sri Iswani, S.Si yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan analisis di Laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Weher, S. (2008). Levels of heavy metal Cd, Cu and Zn in three fish species collected from the Northern Jordan Valley, Jordan. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 1(1), 41-46.
- American Public Health Association (APHA). (2005). *Standard Method for the examination water and wastewater*. (15th Edition). American Public Health Association, Washington, D.C., pp. 1134
- Arifin, Z., & Fadhlina, D. (2009). Fraksinasi logam berat Pb, Cd, Cu dan Zn dalam sedimen dan bioavailabilitasnya bagi biota di Perairan Teluk Jakarta. *Ilmu Kelautan*, 14(1), 27-32.
- Azhar, H., Widowati, I., & Suprijanto, J. (2012). Studi kandungan logam berat Pb, Cu, Cd, Cr pada kerang kimping (*Amusium pleuronectes*), air dan sedimen di Perairan Wedung, Demak serta analisis *maximum tolerable intake* pada manusia. *Journal of Marine Research*, 1(2), 35-44.
- Badan Pusat Statistik Kota Administrasi Jakarta Utara (BPS). (2015). *Jakarta Utara dalam angka 2015*. Badan Pusat Statistik Kota Administrasi Jakarta Utara, Jakarta, pp. 353
- Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah (BPLHD). (2011). *Laporan status lingkungan hidup daerah provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Tahun 2011*. Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah, Jakarta, pp. 406.
- 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. Badan Pengawas Obat dan Makanan, Jakarta, pp. 3.
- Bosch, C. A., O'Neill, B., Sigge, G.O., Kerwath, S.E., & Hoffman, L. C. (2015). Heavy metals in marine fish meat and consumer health : a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96 (1), 32-48.
- Cahyani, N., Batu, D. T. F. L., & Sulistiono. (2016). Kandungan logam berat Pb, Hg, Cd dan Cu pada daging ikan rejung (*Sillago sihama*) di Estuari Sungai Donan, Cilacap, Jawa Tengah. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 19(3), 267-276.
- Chen, C. W., Chen, C. F., & Dong, C. D. (2012). Distribution and accumulation of mercury in sediments of Kaohsiung River Mouth, Taiwan. *APCBEE Procedia I*, 153-158.
- Cordova, M.R., Zamani, N. P., & Yulianda, F. (2011). Akumulasi logam berat pada kerang hijau (*Perna viridis*) di Perairan Teluk Jakarta. *Jurnal Moluska Indonesia*, 2(1), 1-8.
- Dallinger, R. (1993). *Strategies of metal detoxification in terrestrial invertebrates*. In: *ecotoxicology of metals in invertebrates*, edited by R. Dallinger, P.S. Rainbow. BocaRaton: Lewis Publisher, pp. 246-332.
- Eshmat, M. E., Mahasri, G., & Rahardja, B. (2014). Analisis kandungan logam berat timbal (Pb) dan campuran kadmium (Cd) pada kerang hijau (*Perna viridis* L.) di Perairan Ngemboh Kabupaten Gresik Jawa Timur. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 6(1), 101-108.
- World Health Organization (FAO/WHO). (2017). *Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA)*. [Diakses pada tanggal 13 Januari 2019]. <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID>
- Food Safety and Standards Authority of India (FSSAI). (2015). *Manual of methods of analysis of foods, metals*. Ministry of Health and Family Welfare, New Delhi, pp.72.
- Gu, Y. G., Ning, J. J., Ke, C. L., & Huang, H. H. (2018). Bioaccessibility and human health implications of heavy metals in different trophic level marine organism: A case study of South China Sea. *Exotoxicology and Environmental Safety*, 16, 551-557.
- Hidayah, A. M., Purwanto., & Soeprbowati, T. R. (2014). Biokonsentrasi logam berat Pb, Cd, Cr dan Cu pada ikan nila (*Oreochromis niloticus* Linn.) di Karamba Danau Rawa Pening. *BIOMA*, 16(1), 1-9.
- Hutagalung, H. P., Setiapermana, D., & Riyono, S.H. (1997). *Metode analisis air laut, sedimen dan biota*. Buku 2. Puslitbang Oseanologi, LIPI, Jakarta, pp. 182.
- Irawati, Y., Lumbanbatu, D. T. F., & Sulistiono. (2018). Logam berat kerang totok (*Geloina erosa*) di Timur Segara Anakan dan Barat Sungai Donan, Cilacap. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 21(2), 232-242.
- Irnidayanti, Y. (2015). Toxicity and traces of Hg, Pb and Cd in hepatopancreas, gills and muscles of *Perna viridis* from Jakarta Bay, Indonesia. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 18(2), 94-98.
- Jalius, Setiyanto, D. D., Sumantadinata, Riani, E., & Ernawati, Y. (2008). Akumulasi logam berat dan pengaruhnya terhadap spermatogenesis kerang hijau (*Perna viridis*). *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia*, 15(1), 77-83.
- Januar, H., Dwiytino, Hidayah, I., & Hermana, I. (2019). Seasonal heavy metals accumulation in the soft tissue of *Anadara granosa* mollusc from Tanjung Balai, Indonesia. *AIMS Environmental Science*, 6(5), 356-366.
- Jitar, O., Teodosiu, C., Oros, A., Plavan., & Nicoara, M. (2015). Bioaccumulation of heavy metals in marine organism from Romanian sector of the Black Sea, *New Biotechnology*, 32 (3), 369-378.
- Kaushik, A., Kansal, A., Santosh, Meena, Kumari, S., & Kaushik, C. P. (2009). Heavy metal contamination of river Yamuna, Haryana, India: Assessment by Metal Enrichment Factor of the Sediments. *Journal of*

- Hazardous Materials*, 164(1), 265–270. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.08.031>
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup (KEPMEN LH) . (2004). *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 tentang baku mutu air laut*. Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta, pp.10.
- Kusuma, A. H., Prartono, T, Atmadipoera, A.S, & Arifin, T. (2015). Sebaran logam berat terlarut dan terendapkan di Perairan Teluk Jakarta pada Bulan September 2014. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 6(1), 41-29.
- Lestari., & Edward. (2004). Dampak pencemaran logam berat terhadap kualitas air laut dan sumberdaya perikanan (studi kasus kematian massal ikan-ikan di Teluk Jakarta), *Makara Sains*, 8, 52-58.
- Machado, A. A. D. S., Spencer, K., Kloas, W., Toffolon, M., Zarfl, C. (2016). Metal fate and effects in estuaries: A review and conceptual model for better understanding of toxicity. *Science of The Total Environment*. 541:, 268-281.
- Murtini, J. T., & Ariyani, F. (2005). Kandungan logam berat kerang darah (*Anadara granosa*) dan kualitas Perairan di Tanjung Pasir, Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 11(8),1-7.
- Nur, F., & Karneli. (2015). Kandungan logam berat timbal (Pb) pada kerang kima sisik (*Tridacna squmosa*) di sekitar pelabuhan Feri Bira. *Prosiding Seminar Nasional Kesehatan dan Lingkungan*.188-192.
- Nuraini, R. A.T., Endrawati, H., & Maulana, I. R. (2017). Analisis kandungan logam berat kromium (Cr) pada air, sedimen, dan kerang hijau (*Perna viridis*) di Perairan Trimulyo Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 20(1), 48-55.
- Nurhidayah, I. (2017). Sebaran kandungan logam berat (Hg, Pb dan Cu) terlarut dalam Badan Air Perairan Teluk Jakarta. *Skripsi*. Bogor, Institut Pertanian Bogor
- Pangestu, R. (2017). Analisis daya tampung beban pencemaran Sungai Kalibaru Timur Provinsi DKI Jakarta, Indonesia. *Tesis*. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor, pp. 50.
- Permanawati, Y., Zauraida., & Ibrahim, H. (2013). Kandungan logam berat (Cu, Pb, Zn, Cd, dan Cr) dalam air dan sedimen di Perairan Teluk Jakarta. *Jurnal Geologi Kelautan*, 11(1), 9-16.
- 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.
- Purnawan, S., Sikanna, R., & Prismawiryanti. (2013). Distribusi logam merkuri pada sedimen laut di sekitar Muara Sungai Poboya. *Journal of Natural Science*,2(1),18-24.
- Santoso, I., Jameelah, M., Subiyandono, A., Utami, E., Ahmad, H., & Wadiastuti, T. (2012). Uji kadar logam berat pada sampel air dan kerang di Muara Cengkareng Drain. *JRSKT*, 2(2), 195-199.
- Setiawan, A., Yulianto, B., & Wijayanti, D. P. (2013). Pengaruh depurasi terhadap konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) dalam jaringan lunak kerang darah (*Anadara granosa*). *Journal of Marine Research*,2(4), 23-30.
- Sijabat, E., Trinuraini, R. A., & Supriyantini, E. (2014). Kandungan logam berat timbal (Pb) pada air, sedimen, dan kerang hijau (*Perna viridis*) di Perairan Tanjung Emas Semarang. *Journal of Marine Research*, 3(4), 475-482.
- Siregar, T. H., Priyanto, N, Putri, A. K., Rachmawati, N, Triwibowo, R., Dsikowitzky, L., & Schwarzbauer, J. (2016). Spatial distribution and seasonal variation of the trace hazardous element contamination in Jakarta Bay, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 110, 634-646.
- Suryono C. A. (2013). Filtrasi kerang Hijau (*Perna viridis*) terhadap microalgae pada media terkontaminasi logam berat. *Buletin Oseanografi Marina*, 2, 41-47.
- Susantoro, T. M., Sunarjanto, D., & Andayani, A. (2015). Distribusi logam berat pada sedimen di perairan muara dan laut Propinsi Jambi. *Jurnal Kelautan Nasional*,10(1),1-11.
- 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.
- Washington Administrative Code (WAC) . (2013). *Marine sediment quality standards WAC 173-204-320*. Washington: Washington Administrative Code, pp. 82
- Yap, C. K, Ismail, A , Tan, S, G & Rahim I. A. (2007). The distribution of heavy metals (Cu, Pb and Zn) in the soft and hard tissues of the green-lipped mussel *Perna viridis* (*Linnaeus*) Collected from Pasir Panjang, Peninsular Malaysia. *Journal Tropical Agriculture Science*, 30(1),1-10.
- Yap, C. K., & Al-Barwani, S. M. (2012). A Comparative study of condition indices and heavy metals in *Perna viridis* populations at Sebatu and Muar, Peninsular Malaysia. *Sains Malaysiana*, 41(9),1063-1069.
- Ziyaadini, M., Yousefiyanpour, Z., Ghasemzadeh, J., & Zahedi, M. M. (2016). Biota-sediment accumulation factor and concentration of heavy metals (Hg, Cd, As, Ni, Pb and Cu) in sediments and tissues of Chiton lamyi (*Mollusca : Polyplacophora : Chitonidae*) in Chabahar Bay, Iran. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 16(4),1123-1134.

