

Analisis Kadar Pb dan Cu pada Kerang Hijau Budidaya di Tambak Lorok serta Analisis Risiko Kesehatan Konsumsi untuk Manusia

Nada Salsabila, Jusup Suprijanto, Ali Ridlo*

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia
Corresponding author, e-mail : aliridlo26@gmail.com

ABSTRAK: Kota Semarang termasuk wilayah di Jawa Tengah yang memiliki aktivitas industri yang padat dan meningkat setiap tahun, aktivitas ini menyebabkan pencemaran oleh logam berat semakin meningkat. Tambak Lorok termasuk kedalam wilayah Kota Semarang yang dikelilingi oleh aktivitas industri dan sebagai wilayah untuk melakukan budidaya kerang hijau. Kerang hijau adalah komoditas makanan laut yang diminati oleh masyarakat karena mempunyai kandungan gizi serta bernilai ekonomis yang tinggi. Kerang hijau hasil budidaya dari Tambak Lorok diketahui mengandung logam berat dan tidak layak untuk dimakan oleh manusia. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bermaksud untuk mengetahui kadar timbal dan tembaga yang terakumulasi pada kerang hijau hasil panen budidaya dari Tambak Lorok dan mengetahui jumlah aman konsumsi kerang hijau berdasarkan analisis risiko kesehatan lingkungan. Metode yang dilakukan pada penelitian yaitu menggunakan metode ICP-OES dan perhitungan analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL). Logam berat yang terkandung dalam sampel yang diambil berdasarkan hasil penelitian yaitu untuk kadar logam berat timbal pada stasiun 1 dan 2 untuk kerang hijau yang berukuran kecil dan berukuran besar yaitu < 0,04 mg/kg sedangkan kadar tembaga stasiun 1 untuk kerang ukuran kecil yaitu 2,35 mg/kg, ukuran besar yaitu 2,85 mg/kg sementara stasiun 2 kerang ukuran kecil memiliki kadar 2,07 mg/kg, kerang ukuran besar yaitu 2,51 mg/kg. Jumlah aman konsumsi kerang berdasarkan perhitungan rata-rata berat badan orang dewasa 58 kg jumlah aman konsumsi kerang ukuran kecil yaitu 0,54 mg/kg/hari sedangkan kerang ukuran besar yaitu 0,45 mg/kg/hari.

Kata kunci: ARKL; kerang hijau; kesehatan; logam berat

Analysis of Pb and Cu Levels in Green Mussels Cultivated in Tambak Lorok and Risk Analysis for Human Health Consumption

ABSTRACT: Semarang City is a region in Central Java which has dense and increasing industrial activity every year, this activity causes pollution by heavy metals to increase. Tambak Lorok are the areas in Semarang City that are near and surrounded by industrial activities and as an area for cultivating green mussels. Green mussels are a seafood commodity that is in high demand by the public because of its health nutritional and high economic value. Green mussels cultivated from Tambak Lorok are known to contain heavy metals and are unhealthy for consumption. Therefore this study aims to know the contents of heavy metals found in green mussels cultivated from Tambak Lorok and determine the safe amount of green mussels consumption based on an analysis of environmental health risks. The method of this research is used the ICP-OES method and the calculation of Environmental Health Risk Analysis (ARKL). The research results showed that the heavy metal lead content at stations 1 and 2 for small and large green mussels was <0.04 mg/kg while the heavy metal content of copper at station 1 for small shells was 2.35 mg/kg, for large shells was 2.85 mg/kg and station 2 small shells is 2.07 mg/kg, large shells are 2.51 mg/kg. The safe amount of shellfish consumption is based on the calculation of an average adult body weight of 58 kg. The safe amount of small green mussels consumption is 0,54 mg/kg/day while that of large green mussels is 0,45 mg/kg/day.

Keywords: ARKL; green mussel; heavy metal; health

PENDAHULUAN

Tambak lorok termasuk wilayah Kota Semarang yang berada disekitar industri-industri dan dekat dengan Pelabuhan Tanjung Mas Semarang. Berdasarkan sampel perairan dari Tambak Lorok, bahwa perairan Tambak Lorok telah tercemar oleh logam berat dengan kadar 0,008 mg/L (Kusuma *et al.*, 2022) yang melebihi baku mutu. Logam berat termasuk bahan pencemar karena tidak dapat didegradasi mikroorganisme. Timbal dan tembaga termasuk kedalam logam berat yang berlimpah dalam limbah industri. Timbal ialah logam berat non esensial yang tidak dibutuhkan oleh tubuh sedangkan tembaga termasuk kedalam logam berat esensial yang dibutuhkan oleh tubuh (Zainudin & Kesumaningwati, 2022). Tembaga umumnya berasal dari kegiatan industri pelapisan logam, tekstil, cat dan penyamakan kulit (Dewi *et al.*, 2018a) sedangkan timbal berasal dari kegiatan industri kimia, industri cat, hasil buangan bahan bakar hingga industri percetakan (Kusuma *et al.*, 2022). Logam berat bersifat toksik dan berbahaya terhadap lingkungan perairan terutama bagi organisme perairan.

Tambak lorok banyak dijadikan sebagai tempat budidaya kerang hijau. Kerang hijau termasuk kedalam organisme yang mudah untuk dibudidayakan, berdasarkan data produksi dan nilai produksi perikanan laut kerang hijau hasil budidaya Kota Semarang dipanen hingga 963.834 kg/tahun (Dinas Perikanan Kota Semarang, 2020). Berdasarkan data sektoral jumlah konsumsi ikan Kota Semarang dari tahun 2021 hingga 2022 meningkat sebesar 1 %. Peningkatan laju konsumsi ini menjadikan banyak nelayan yang melakukan budidaya kerang hijau (Kusuma *et al.*, 2022). Kerang hijau diketahui memiliki kandungan protein, omega-3 EPA (Asam Eikosapentanoat) dan DHA (Asam dokosaheksaenoat) yang tinggi, rendah lemak serta mengandung vitamin B12, kalsium dan kandungan gizi yang lain (Kusumastanto *et al.*, 2016).

Kerang hijau adalah hewan penyaring makanan (*filter feeder non selective*), memiliki pergerakan yang sedikit serta hidup menempel pada substrat sehingga dapat menyerap logam berat dalam air dengan mudah sebagai makanannya. Berdasarkan penelitian (Kusuma *et al.*, (2022) dalam pengambilan sampel tahun 2021 di perairan Tambak Lorok kadar timbal di jaringan lunak kerang hijau memiliki kadar 3,24 – 13,44 mg/kg. Berdasarkan penelitian oleh (Siringoringo *et al.*, 2022) pada pengambilan sampel Juli 2020, kadar tembaga hasil uji analisis pada jaringan lunak kerang hijau memiliki rata-rata kadar tembaga sebesar 1,844 mg/kg.

Hasil panen budidaya kerang hijau di Tambak Lorok diketahui didistribusikan menuju TPI Tambak Lorok dan Pasar Kobong Kota Semarang untuk dijual dan dikonsumsi oleh manusia. Masyarakat yang mengkonsumsi kerang hijau terakumulasi logam berat dapat berpengaruh buruk untuk kesehatan. Logam berat yang terdapat dalam tubuh manusia diketahui dapat menyebabkan gagal ginjal, gangguan reproduksi, gagal hati, dll (Rai *et al.*, 2019). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) merupakan analisis untuk mengetahui bahaya yang berpotensi mengganggu kesehatan manusia dari masalah lingkungan yang menjadi agen risiko (Direktorat Jendral PP dan PL Kemenkes, 2012). Berdasarkan hal tersebut penelitian terhadap kandungan logam berat di kerang hijau budidaya di Tambak Lorok perlu dilakukan karena aktivitas industri yang meningkat menyebabkan pencemaran perairan oleh logam berat di wilayah Tambak Lorok juga meningkat. Analisis risiko kesehatan lingkungan dilakukan untuk mengetahui keamanan memakan kerang hijau yang terakumulasi logam berat.

MATERI DAN METODE

Materi penelitian adalah kerang hijau yang dipanen dari hasil budidaya di perairan Tambak Lorok, Kota Semarang. Pengambilan kerang hijau sebagai sampel yaitu pada 31 Januari 2023 dengan menggunakan metode *purposive sampling* (Kusuma *et al.*, 2022) dengan pertimbangan mencari kerang hijau yang banyak menempel pada bambu (Gambar 1). Parameter kualitas air yaitu DO, pH, salinitas, suhu diukur sebagai data pendukung penelitian.

Sampel kerang hijau yang diambil dari 2 stasiun yaitu sebanyak 43 ekor kerang besar, 89 ekor kerang kecil untuk stasiun 1 dan 48 ekor kerang besar, 78 ekor kerang kecil untuk stasiun 2 dimana untuk ukuran sampel kerang hijau ukuran kecil yaitu berkisar 2,9-2,9 cm sedangkan sampel kerang

hijau ukuran besar yaitu 6,1-7,3 cm. Sampel diambil langsung dengan teknik pengerukan menggunakan tangan. Daging sampel kerang kemudian langsung dibawa ke Laboratorium Balai Besar Standarisasi dan Pelayanan Jasa Pencegahan Pencemaran Industri (BBSPJPPI) Kota Semarang untuk dianalisis logam berat timbal dan tembaga dengan menggunakan metode *Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES).

Analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) berdasarkan (Direktorat Jendral PP dan PL Kemenkes, 2012) dianalisis untuk mengetahui potensi risiko dengan mendeskripsikan masalah lingkungan serta menetapkan risiko pada kesehatan terhadap manusia dari pencemaran lingkungan yang ada. Analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) dalam (Direktorat Jendral PP dan PL Kemenkes, 2012) terdapat 4 langkah yaitu pertama mengidentifikasi bahaya, kedua analisis dosis respon, ketiga analisis pajanan dan yang terakhir karakterisasi risiko. Identifikasi bahaya yaitu mengetahui spesifikasi agen risiko yang menyebabkan gangguan kesehatan, analisis dosis respon atau nilai dosis referensi (*Reference of Dose/RfD*) diketahui dari sumber literatur yaitu 0,0035 mg/kg/hari untuk timbal (Onyele & Anyanwu, 2018) dan 0,04 mg/kg/hari untuk tembaga (Valentina *et al.*, 2017). Analisis pajanan dan karakterisasi risiko dihitung untuk mengetahui asupan dari agen risiko dan menetapkan tingkat risiko keamanan dari agen risiko menggunakan rumus berdasarkan Departemen Kesehatan RI tahun 2012 (Direktorat Jendral PP dan PL Kemenkes, 2012):

$$I = \frac{C \times R \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}} \quad RQ = \frac{I(\text{intake})}{RfD}$$

Keterangan: I (*Intake*) = Analisa pajanan, C = konsentrasi agen risiko (mg/kg), R = laju konsumsi kerang (34,7 g/org/hari) (BPS,2018), f_E = paparan frekuensi (350 hari/tahun), D_t = lama waktu pajanan (30 tahun), W_b = rata-rata berat badan orang dewasa (58 kg) (Permenkes, 2019), t_{avg} = rata-rata hari untuk efek non karsinogenik (365 hari/tahun x D_t), Karakterisasi risiko = (*Risk Quotient/RQ*), *RfD* = *Reference of Dose*)

Nilai karakterisasi risiko (RQ) yang ≤ 1 atau intake \leq *RfD* dikatakan AMAN namun apabila nilai intake $>$ *Rf* atau $RQ > 1$ maka tingkat risiko dikatakan tidak aman. Karakterisasi risiko yang dinyatakan tidak aman kemudian dilakukan pengelolaan risiko untuk mengetahui konsentrasi aman agen risiko dan jumlah aman konsumsi agen risiko yang terpapar logam berat. Pengelolaan risiko ditentukan dengan cari menghitung estimasi asupan harian (*Estimated Daily Intake/EDI*) terlebih dahulu menggunakan rumus dari United States Environmental Protection Agency (2011).

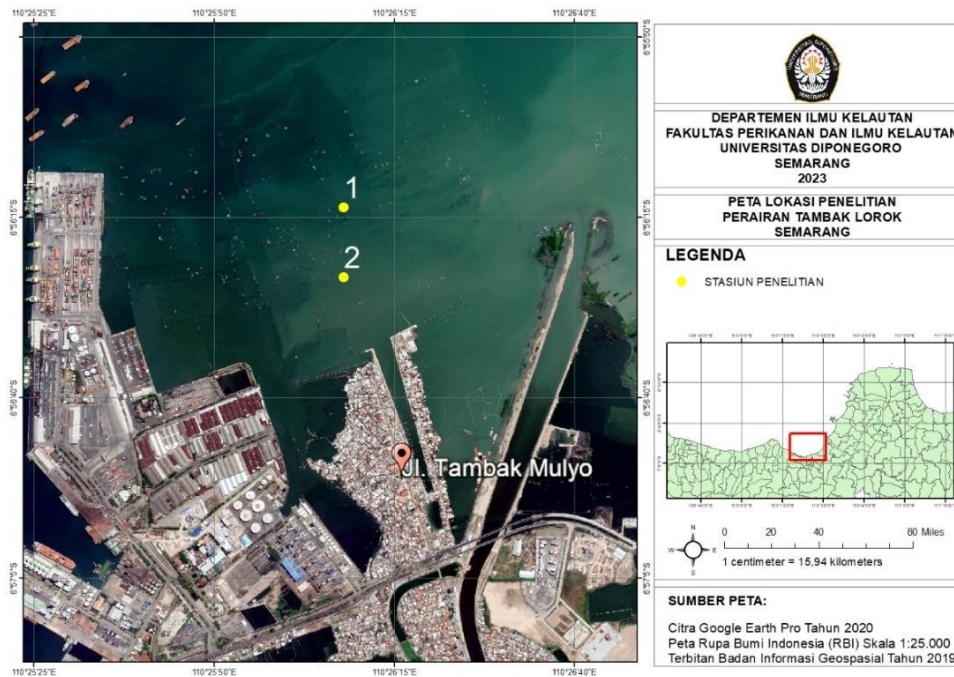
$$EDI = \frac{\mu g}{kg} = \frac{C \times FIR \ g}{W_b \ (kg)}$$

Keterangan: EDI = *Estimated Daily Intake* (Estimasi Asupan Harian), C = konsentrasi logam berat (mg/kg), R = laju konsumsi kerang (34,7 g/org/hari) (BPS,2018), W_b = rata-rata berat badan orang dewasa (58 kg) (Permenkes, 2019).

Pengelolaan risiko untuk konsentrasi aman agen risiko dan jumlah aman konsumsi dihitung dengan menggunakan rumus ((Direktorat Jendral PP dan PL Kemenkes, 2012)):

$$C_k = \frac{RfD \times W_b \times t_{avg}}{R \times f_E \times D_t} \quad Rnk \ (aman) = \frac{RfD \times W_b \times t_{avg}}{C_{total} \times f_E \times D_t}$$

Keterangan: C_k = konsentrasi aman, Rnk = jumlah aman konsumsi, R = estimasi asupan harian C_{total} = jumlah total konsentrasi kerang besar dan kerang kecil, f_E = paparan frekuensi (350 hari/tahun), D_t = lama waktu pajanan (30 tahun), W_b = rata-rata berat badan orang dewasa (58 kg) (Permenkes, 2019), t_{avg} = rata-rata hari untuk efek non karsinogenik (365 hari/tahun x D_t), Karakterisasi risiko = (*Risk Quotient/RQ*), *RfD* = *Reference of Dose*).



Gambar 1. Lokasi Penelitian Pengambilan Sampel

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa kadar tembaga dan timbal pada sampel jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*) menunjukkan bahwa kadar timbal pada setiap stasiun 1 dan 2 untuk kerang ukuran kecil dan ukuran besar memiliki kadar $< 0,040$ mg/kg, hal tersebut karena kadar timbal yang terkandung pada kerang hijau memiliki kadar yang sangat kecil sehingga konsentrasi tersebut tidak dapat terbaca oleh alat ICP-OES. Kadar tembaga pada stasiun 1 untuk kerang ukuran besar memiliki kadar 2,85 mg/kg dan kerang ukuran kecil memiliki kadar 2,35 mg/kg sedangkan untuk stasiun 2 kerang ukuran besar memiliki kadar tembaga 2,51 mg/kg dan kerang ukuran kecil memiliki kadar 2,07 mg/kg. Kadar tembaga pada stasiun 1 lebih tinggi dari kadar tembaga distasiun 2 hal ini karena stasiun 1 memiliki titik yang lebih dekat dengan rumah penduduk dan juga industri-industri sehingga pembuangan limbah lebih dekat dengan titik stasiun 1 dari pada stasiun 2 yang berjarak lebih jauh dekat dengan tengah laut. Berdasarkan SNI 7387:2009 mengenai baku mutu pencemaran logam berat untuk makanan sebesar 1,5 mg/kg maka kadar tembaga pada kerang hijau budidaya di Tambak Lorok telah melebihi baku mutu.

Parameter kualitas perairan untuk perairan budidaya kerang hijau Tambak Lorok memiliki kualitas perairan yang baik (Kusuma *et al.*, (2022). Kualitas perairan yang baik untuk kehidupan kerang hijau pada kedalaman 3 – 5 meter yaitu memiliki suhu perairan dengan kisaran 25 – 30 °C, salinitas dengan kisaran 30 -32 ‰, oksigen terlarut > 6 % dan pH yang lebih dari > 7 (Ubay *et al.*, (2021). Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan kualitas salinitas perairan pada stasiun 1 memiliki salinitas yang melebihi ambang batas yaitu berkisar 33 – 34 ‰. Kualitas perairan yang tidak sesuai dengan baku mutu diketahui dapat mempengaruhi metabolisme, reproduksi dan kehidupan kerang hijau. Berdasarkan perhitungan ARKL dalam analisis pajanan atau asupan agen risiko (*intake*) non karsinogenik kadar tembaga yaitu kerang ukuran besar dari stasiun 1 yaitu 1,63 mg/kg/hari, kerang ukuran kecil yaitu 1,34 mg/kg/hari sedangkan kerang ukuran besar dari stasiun 2 yaitu 1,43 mg/kg/hari, kerang ukuran kecil 1,18 mg/kg/hari. Hasil perhitungan karakterisasi risiko (*Risk Quotient/RQ*) kadar tembaga dari stasiun 1 kerang ukuran besar yaitu 40,75 dan untuk kerang ukuran kecil yaitu 33,5 serta kadar tembaga dari stasiun 2 kerang ukuran besar yaitu 35,75 dan untuk kerang ukuran kecil yaitu 29,5. Pengelolaan risiko dihitung dengan menggabungkan seluruh

stasiun 1 dan 2 dengan perbedaan yang dibuat yaitu antara ukuran kerang hijau kecil dan besar dimana hasil perhitungan pengelolaan risiko dari nilai estimasi asupan harian (*Estimated Daily Intake/EDI*), konsentrasi aman agen risiko dan jumlah aman konsumsi yaitu dalam tabel 3.

Kadar timbal sampel kerang hijau < 0,04 mg/kg mengartikan bahwa kadar timbal pada daging kerang hijau budidaya di perairan Tambak Lorok memiliki konsentrasi yang sangat kecil sehingga tidak terdeteksi oleh ICP-OES. Kadar tembaga pada hasil penelitian memiliki kadar yang lebih besar dari pada kadar timbal, pengambilan sampel penelitian dilakukan pada musim hujan yaitu bulan Januari dengan cuaca berawan. Curah hujan yang tinggi menyebabkan endapan logam berat pada sedimen teraduk hingga menyebabkan kadar logam berat di air dan akumulasi organisme meningkat. Musim hujan diketahui mempengaruhi konsisi lingkungan berupa proses fisik arus dan gelombang yang meningkat sehingga terjadinya pergesekan antara sedimen dan massa air (Kusuma *et al.*, 2022). Kadar tembaga pada sampel kerang hijau ukuran besar dan kecil memiliki perbedaan kadar 0,5 mg/kg. Perbedaan ini menunjukkan bahwa semakin besar ukuran cangkang kerang menandakan umur kerang lebih tua dan waktu akumulasi berlangsung lebih lama sehingga kandungan logam berat dalam tubuh semakin meningkat (Dewi *et al.*, 2018b; Ulfah *et al.*, 2019; Satriawan *et al.*, 2021) selain itu meningkatnya pertumbuhan kerang juga akan meningkatkan bioakumulasi logam berat dalam kerang hijau (Rahmawati *et al.*, 2015). Akumulasi kerang hijau terhadap logam berat diketahui akibat dari adanya konsentrasi polutan air dan sifat organisme (umur, jenis, ukuran, kapasitas volume internal kerang dan kondisi fisiologi kerang) (Triantoro *et al.*, 2017) dan (Haeruddin *et al.*, 2021). Perbedaan konsentrasi logam berat pada setiap ukuran kerang dimana ukuran besar mempunyai kadar yang lebih banyak dibandingkan kerang yang berukuran kecil, hal ini bertentangan dengan pernyataan penelitian oleh (Azizi *et al.*, 2018) dan (Handayani *et al.*, 2020) yang berpendapat tentang kerang hijau berukuran kecil mempunyai proses bioakumulasi yang lebih besar dari kerang hijau berukuran besar serta ukuran kerang yang semakin besar menandakan proses eliminasi kadar logam berat dalam tubuh semakin baik sehingga konsentrasi logam berat pada ukuran kerang kecil lebih banyak dari ukuran kerang besar.

Analisis pajanan merupakan langkah ARKL untuk mengetahui asupan dari agen risiko. Analisis pajanan yang telah dihitung kemudian akan dibagi dengan nilai RfD dari logam berat timbal dan tembaga melalui langkah keempat ARKL yaitu karakterisasi risiko untuk mengetahui keamanan dari sampel kerang hijau budidaya di Tambak Lorok. Nilai RfD (*Reference Dose*) yang digunakan yaitu bersumber dari literatur yang tersedia dimana untuk nilai RfD dari logam berat timbal yaitu 0,0035 mg/kg/hari (Onyele & Anyanwu, 2018) sedangkan nilai RfD untuk logam berat tembaga yaitu sebesar 0,04 mg/kg/hari (Valentina *et al.*, 2017). Nilai karakterisasi risiko yang telah dihitung

Tabel 1. Hasil Analisis Kadar Timbal dan Tembaga dalam Daging Kerang Hijau (mg/kg)

Keterangan	Stasiun 1		Stasiun 2	
	(Pb)	(Cu)	(Pb)	(Cu)
Ukuran Besar	< 0,040	2,85	< 0,040	2,51
Ukura Kecil	< 0,040	2,35	< 0,040	2,07

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kualitas Perairan Pengambilan Sampel

Parameter	Satuan	Stasiun 1			Stasiun 2		
		P1	P2	P3	P1	P2	P3
Salinitas	‰	33-34	33-34	33-34	30-31	30-31	30-31
Suhu	oC	28,9-29,1	28-29,2	28-29,2	29-29,6	29,6-30,6	29,7-30,5
DO	%	5,00-5,75	5,00-5,75	5,00-5,75	5,0-5,36	5-5,2	5,1-5,16
pH	-	7,60-7,77	7,70-7,73	7,70-7,73	7,6-,67	7,60-7,66	7,70-7,64

Tabel 3. Hasil Perhitungan Pengelolaan Risiko (mg/kg/hari)

Keterangan	Ukuran Kerang	Stasiun	
		Pb	Cu
EDI	Besar	0	1,6
	Kecil	0	1,31
Konsentrasi Aman	Besar	0	1,5
	Kecil	0	1,86
Jumlah Aman Konsumsi	Besar	0	0,45
	Kecil	0	0,54

menghasilkan nilai yang $RQ > 1$ Berdasarkan (Direktorat Jendral PP dan PL Kemenkes, 2012) bahwa nilai karakterisasi risiko (*Risk Quotient/RQ*) > 1 dikatakan tidak aman untuk dikonsumsi. Makanan atau minuman yang dinyatakan tidak aman selanjutnya dilakukan pengelolaan risiko atau penentuan batas aman. Analisis risiko Kesehatan lingkungan untuk kadar logam berat timbal tidak diperhitungkan hal ini dikarenakan nilai kadar timbal pada setiap stasiun serta ukuran tidak memiliki angka yang pasti yaitu $< 0,04$ mg/kg.

Pengelolaan risiko bukan merupakan langkah ARKL melainkan langkah untuk mengetahui nilai estimasi asupan harian (*Estimated Daily Intake/EDI*) konsentrasi dan jumlah konsumsi aman dari makanan dan minuman yang terpapar agen risiko. Nilai EDI pada logam berat tembaga dari hasil penelitian memiliki EDI $> 10x$ RfD untuk kerang ukuran besar memiliki nilai 1,6 mg/kg/hari dan kerang ukuran kecil memiliki nilai 1,31 mg/kg/hari (Palgunadi & Purnama, 2022). Berdasarkan nilai estimasi asupan harian maka konsentrasi aman untuk kadar tembaga kerang ukuran besar yaitu 1,5 mg/kg/hari dan ukuran besar yaitu 1,86 mg/kg/hari. Berdasarkan hasil analisis menggunakan rumus (Direktorat Jendral PP dan PL Kemenkes, 2012) bahwa kadar tembaga dari penelitian memiliki kadar yang tinggi dari konsentrasi aman konsentrasi karsinogenik untuk kadar tembaga. Jumlah konsumsi aman diketahui dengan mengkalikan nilai RfD dari setiap dari logam berat tembaga dengan berat badan orang dewasa di Indonesia pada umumnya dan rata-rata hari untuk efek non karsinogenik lalu dibagi dengan konsentrasi total tembaga pada stasiun 1 dan 2 dikali dengan frekuensi paparan dan lama waktu paparan. Hasil perhitungan berdasarkan (Direktorat Jendral PP dan PL Kemenkes, 2012) kerang hijau budidaya di Tambak Lorok dinyatakan tidak aman untuk dikonsumsi karena memiliki nilai $RQ > 1$, namun berdasarkan perhitungan ARKL jumlah aman konsumsi bagi orang dewasa dengan berat 58 kg untuk kerang hijau ukuran besar yaitu 0,45 mg/kg/hari dan kerang ukuran kecil yaitu 0,54 mg/kg/hari.

KESIMPULAN

Kerang hijau budidaya di Tambak Lorok telah tercemar oleh logam berat di stasiun 1 dan stasiun 2 kerang hijau ukuran kecil dan ukuran besar memiliki kadar timbal $< 0,04$ mg/kg, kadar tembaga stasiun 1 kerang ukuran kecil yaitu 2,35 mg/kg dan kerang ukuran besar 2,85 mg/kg, stasiun 2 kerang ukuran kecil yaitu 2,07 mg/kg dan ukuran besar 2,51 mg/kg. Hasil analisis risiko kesehatan lingkungan kerang hijau budidaya di perairan Tambak Lorok dinyatakan tidak aman untuk dikonsumsi oleh manusia karena memiliki nilai $RQ > 1$ namun berdasarkan perhitungan ARKL jumlah aman konsumsi bagi orang dewasa dengan berat 58 kg untuk mengkonsumsi kerang ukuran besar yaitu 0,45 mg/kg/hari dan kerang ukuran kecil yaitu 0,54 mg/kg/hari.

DAFTAR PUSTAKA

Azizi, G., Akodad, M., Baghour, M., Layachi, M., & Moumen, A. 2018. The use of *Mytilus* spp. mussels as bioindicators of heavy metal pollution in the coastal environment. A review. *Journal of Materials and Environmental Science*, 9(4): 1170–1181.

- Badan Standarisasi Nasional. 2009. Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan. SNI 7387:2009. 25 hlm.
- Badan Pusat Statistik. 2018. Rata-rata Laju Konsumsi Kerang Hijau Orang Indonesia. <https://www.bps.go.id/statictable/2021/08/10/2164/rata-rata-konsumsi-dan-pengeluaran-perkapita-seminggu-menurut-komoditi-makanan-dan-golongan-pengeluaran-per-kapita-seminggu-di-provinsi-banten-2018-2022.html>.
- Data Jumlah Konsumsi Ikan. 2020-2021. Kota Semarang. <https://data.semarangkota.go.id/data/list/8>.
- Dewi, M.A., Suprpto, D., & Rudiyanthi, S. 2018a. Kadar Logam Berat Tembaga (Cu), Kromium (Cr) Pada Sedimen Dan Jaringan Lunak *Anadara granosa* Di Perairan Tambak Lorok Semarang. *Management of Aquatic Resources Journal*, 6(3): 197–204. DOI: 10.14710/marj.v6i3.20575.
- Dewi, P.K., Hastuti, E.D., Budihastuti, R., Biologi, L., Tumbuhan, F., Biologi, D., Sains, F., & Diponegoro, U. 2018b. Kemampuan Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) Pada Akar Mangrove Jenis *Avicennia marina* (Forsk.) Dan *Rhizophora mucronata* (Lamk.) Di Lahan Tambak. *Jurnal Akademika Biologi*, 7(4): 14–19.
- Dinas Perikanan Kota Semarang. 2020. https://perikanan.semarangkota.go.id/po-content/uploads/Data_Perikanan_Tangkap_Laut.pdf.
- Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan. 2012. Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Jakarta. 55 hlm.
- Haeruddin, Widowati, I., Rahman, A., Rumanti, M., & Iryanthony, S.B. 2021. Bioconcentration of lead (Pb) and cadmium (cd) in green-lipped mussels (*Perna viridis*) in the coastal waters of semarang bay, indonesia. *AAFL Bioflux*, 14(3):1581–1595.
- Handayani, P., Kurniawan, K., & Adibrata, S., 2020. Kandungan Logam Berat Pb pada Air Laut, Sedimen dan Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Pantai Sampur Kabupaten Bangka Tengah. *Pelagicus*, 1(2):97-105. DOI: 10.15578/plgc.v1i2.8910.
- Kusumastanto, T., Damayanthi, E., Angka, S.L., Purba, M., Rahardjo, M.F., & Sunarti, E., 2016. Pengembangan Perikanan, Kelautan dan Maritim untuk Kesejahteraan Rakyat, 2. IPB Press, Bogor. 370 hlm.
- Kusuma, R.B., Supriyanti, E., & Munasik, M. 2022. Akumulasi logam Pb pada Air, Sedimen, dan Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Tambak Lorok serta Analisis Batas Aman Konsumsi untuk Manusia. *Journal of Marine Research*, 11(2):156–166. DOI: 10.14710/jmr.v11i2.31781.
- Onyele, O.G., & Anyanwu, E.D., 2018. Human Health Risk Assessment of Some Heavy Metals in a Rural Spring, Southeastern Nigeria. *African Journal of Environment and Natural Science Research*, 1(1):15–23.
- Palgunadi, N.P.G.S., & Purnama, I.G.H., 2022. Bioakumulasi dan Analisis Risiko Kesehatan Masyarakat Dari Pencemaran Logam Berat Pb Dan Cd Pada Ikan Yang Ditangkap di Tukad Badung, Denpasar. *Archive of Community Health*, 9(1):33. DOI: 10.24843/ach.2022.v09.i01.p03.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2019. Nomor 28 Tahun 2019 Tentang Angka Kecukupan Gizi Yang Dianjurkan Untuk Masyarakat Indonesia. 33 hlm.
- Priambodo, B.A., Arief, M., & Rahardja, B.S., 2021. Studi Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Wilayah Ngemboh, Gresik Dan Ppdi Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong, Lamongan, Jawa Timur. *Marinade*, 4(01):1–9. DOI: 10.31629/marinade.v4i1.3408.
- Rahmawati, Hamzah, B., & Nuryanti, S., 2015. Analisis Kadar Timbal (Pb) Dalam Daging Kerang Bakau (*Polymesoda erosa*) dan Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Perairan Salule Pasangkayu Sulawesi Barat. *Jurnal Akademika Kimia*, 4(2):78–83.
- Rai, P.K., Lee, S.S., Zhang, M., Tsang, Y.F., & Kim, K.H., 2019. Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. *Environment International*, 125: 365–385. DOI: 10.1016/j.envint.2019.01.067.
- Satriawan, E.F., Widowati, I., & Suprijanto, J. 2021. Pencemaran Logam Berat Kadmium (Cd) dalam Kerang Darah (*Anadara granosa*) yang didaratkan di Tambak Lorok Semarang. *Journal of Marine Research*, 10(3):437–445. DOI: 10.14710/jmr.v10i3.30155.

-
- Siringoringo, V.T., Pringgenies, D., & Ambariyanto, A., 2022. Kajian Kandungan Logam Berat Merkuri (Hg), Tembaga (Cu), dan Timbal (Pb) pada *Perna viridis* di Kota Semarang. *Journal of Marine Research*, 11(3):539–546. DOI: 10.14710/jmr.v11i3.33864.
- Triantoro, D.D., Suprpto, D., & Rudiyantri, S., 2017. Kadar Logam Berat Besi (Fe), Seng (Zn) pada Sedimen dan Jaringan Lunak Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Tambak Lorok Semarang. *Management of Aquatic Resources Journal*, 6(3):173–180. DOI: 10.14710/marj.v6i3.20573
- Ubay, J., Hartati, R., & Rejeki, S., 2021. Morfometri Dan Hubungan Panjang Berat Kerang Hijau (*Perna veridis*) dari Perairan Tambak Lorok, Semarang dan Morosari, Demak, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 10(4):535–544. DOI: 10.14710/jmr.v10i4.31737
- Ulfah, E.S., Rahardja, B.S., & Pursetyo, K.T., 2019. Studi Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) pada Berbagai Ukuran Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Perairan Pantai Bancaran Kabupaten Bangkalan, Madura. *Journal of Marine and Coastal Science*, 8(3):107–118. DOI:10.20473/jmcs.v8i3.21160
- United States Environmental Protection Agency., 2011. *Exposure Factors Handbook 2011 Edition (Final Report)*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC. WPA/600/R- 09/052F, 2011.
- Valentina, D., Nugraha, W.D., & Sarminingsih, A., 2017. Analisis Risiko Logam Berat Cd, Cr, dan Cu pada Das Gelis (Studi Kasus: Sungai Gelis, Kabupaten Kudus). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(2): 1–10.
- Wahdani, A., Yaqin, K., Rukminasari, N., Inaku, D.F., & Fachruddin, L., 2020. Konsentrasi Mikroplastik Pada Kerang Manila *Venerupis philippinarum* Di Perairan Maccini Baji, Kecamatan Labakkang, Kabupaten Pangkajene Kepulauan, Sulawesi Selatan. *Marine Science Research*, 12(2):1–14. DOI: 10.56064/maspari.v12i2.12809.
- Zainudin, Z., & Kesumaningwati, R. 2022. Pengaruh Eco Enzyme Terhadap Kandungan Logam Berat Lahan Bekas Tambang Batubara. *Ziraa'Ah Majalah Ilmiah Pertanian*, 47(2):154. DOI: 10.31602/zmip.v47i2.6551.