KAJIAN RISIKO KESEHATAN MANUSIA TERKAIT KONSUMSI MAKANAN LAUT (*SEAFOOD*) YANG TERCEMAR LOGAM

Triyoni Purbonegoro^{1*}

¹Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Jl. Pasir Putih I, Ancol Timur, Jakarta Utara 14430

*Alamat email: triyoni.purbonegoro@lipi.go.id

ABSTRACT

Consuming contaminated seafood can be potentially harmful for human health, especially for coastal communities. For this reason, a health risk assessment is very important to determine the safe limit for consuming seafood. Several stages in this assessment are; (i) direct comparison with the standard/maximum limit of heavy metal concentration determined by each country or international organization, (ii) determination of the maximum amount of seafood that can be consumed by adults per week, (iii) determination of the Estimated Daily Intake (EDI), and (iv) determination of the Target Hazard Quotient (THQ) of each metal and the Total Hazard Index (HI) for the combined metals.

Keywords: pollution, metals, seafood, human health risk assessment.

PENDAHULUAN

Pencemaran laut tidak hanya memberikan dampak terhadap ekosistem itu sendiri, tetapi juga keamanan pangan dan kesehatan manusia. Makanan laut (*seafood*), seperti ikan, kerang, dan udang, selain memberikan berbagai manfaat gizi, tetapi juga dapat membahayakan kesehatan tubuh manusia apabila cemaran di dalamnya melewati batas konsentrasi tertentu (Vandermeersch et al., 2015). Logam berat seperti Fe, Cu, dan Zn merupakan unsur esensial bagi metabolisme, meskipun pada konsentrasi tinggi dapat menjadi cemaran yang berdampak merugikan. Sementara itu, beberapa jenis logam berat nonesensial lainnya, seperti Hg, Pb, dan Cd, tidak diketahui perannya dalam sistem biologi dan bersifat toksik, meskipun pada konsentrasi rendah. Salah satu kasus dampak buruk logam berat terhadap kesehatan manusia adalah tragedi

Minamata di Jepang pada tahun 1950an. Tragedi tersebut menimpa masyarakat nelayan yang mengonsumsi ikan dan kerang-kerangan tercemar metilmerkuri (MeHg) pada konsentrasi tinggi (Selin, 2009). Penyebabnya adalah limbah yang dikeluarkan oleh perusahaan penghasil bahan kimia (Chisso Corporation) yang mencemari Teluk Minamata, termasuk populasi ikan dan kekerangan di dalamnya (Sindermann, 2006).

Mengonsumsi makanan laut yang tercemar dapat berpotensi buruk bagi kesehatan manusia, terutama masyarakat pesisir. Untuk itu, kajian risiko kesehatan sangat penting dilakukan untuk menentukan jumlah batas aman dalam mengonsumsi makanan laut tersebut (Yap et al., 2016; Liu et al., 2019). Dalam rangka mengkaji keamanan pangan, JECFA (*Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*) dan JMPR (*Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues*) sebagai

lembaga internasional telah menetapkan konsentrasi maksimum cemaran yang boleh terdapat dalam suatu produk makanan, termasuk di dalamnya makanan laut (Herrman & Younes, 1999). Sementara itu, beberapa negara menetapkan baku mutu sendiri dengan tetap mengikuti rekomendasi FAO/WHO (Thapa et al., 2014).

Tulisan ini menjelaskan tahapan kajian risiko kesehatan terkait konsumsi makanan laut tercemar logam berat. Kajian ini berguna untuk memberi informasi mengenai konsentrasi logam berat serta batasan jumlah makanan laut yang boleh dikonsumsi agar tidak menimbulkan masalah kesehatan bagi manusia.

ANALISIS DATA UNTUK KAJIAN RISIKO KESEHATAN MANUSIA

Data konsentrasi logam dalam makanan laut hasil pengukuran pada umumnya berbasis berat kering (Cresson et al., 2017a). Dalam kajian risiko kesehatan manusia ini, data konsentrasi logam yang berdasarkan berat kering (bk) tersebut dikonversi menjadi berbasis berat basah (bb) dengan menggunakan faktor konversi (berdasarkan nilai kadar air) (Yap et al., 2016). Konversi ini dapat menggunakan rumus berdasarkan Cresson et al., (2017):

$$C_{ww} = C_{dw} \times \frac{(100 - \% H)}{100} \quad (1)$$

Keterangan: C_{ww} adalah konsentrasi logam berbasis berat basah (*wet weight* (ww)); C_{dw} adalah konsentrasi logam berbasis berat kering (*dry weight* (dw)), dan H adalah kadar air.

Beberapa tahapan dalam kajian risiko kesehatan manusia yang direkomendasikan oleh Yap et al., (2016) yaitu:

a) Perbandingan langsung dengan baku mutu/batas maksimum cemaran logam berat yang ditetapkan oleh masing-

masing negara atau organisasi internasional.

- b) Penetapan jumlah maksimum makanan laut yang dapat dikonsumsi oleh orang dewasa (berat badan 60 kg) per minggu agar tidak melebihi nilai PMTDI (harian), PTWI (mingguan), atau PTMI (bulanan) yang ditetapkan oleh JECFA.
- c) Penetapan *Estimated Daily Intake* (EDI) dari setiap logam.
- d) Penetapan *Target Hazard Quotient* (THQ) dari setiap logam dan *Total Hazard Index* (HI) untuk gabungan logam.

PERBANDINGAN LANGSUNG DENGAN BAKU MUTU/BATAS MAKSIMUM CEMARAN LOGAM BERAT

Setiap negara atau organisasi internasional telah menetapkan nilai batas maksimum cemaran logam berat dalam produk perikanan. Indonesia telah menetapkan nilai tersebut dalam Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 5 Tahun 2018 tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan Olahan. Sementara itu, menurut Yap et al. (2016), negara atau organisasi lain menetapkan nilai tersebut dalam beberapa peraturan, seperti Malaysia dalam *Malaysian Food Regulations* (MRF) (1985); negara-negara Eropa dalam *European Commission-Commission Regulation* (EC) (2006); Selandia Baru, Inggris, dan Australia dalam *Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products-FAO Fisheries Circular 764* (1983); dan Amerika Serikat dalam *US Food and Drug Administration-National Shellfish Sanitation Program. Guide for the Control of Molluscan Shellfish* (2007).

Tabel 1. Konsentrasi Logam dalam Beberapa Jenis Makanan Laut dari Beberapa Lokasi

Jenis makanan laut, lokasi	Konsentrasi logam (mg/kg bb)					
	Cd	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
Kerang Simping (<i>Amusium pleuronectes</i>) ^a , Demak, Indonesia	5,92- 8,01	8,98- 9,46	-	-	Ttd	-
Baku mutu (Peraturan BPOM No. 5 2018)	0,1	-	-	-	0,2	-
Ikan Bandeng (<i>Chanos chanos</i>) ^b , Pantai Utara Jawa Tengah, Indonesia	<0,01	0,26- 0,60	-	-	<0,1- 0,14	3,70- 10,22
Baku mutu (Peraturan BPOM No. 5 2018)	0,1	-	-	-	0,2	-
Ikan Tongkol (<i>Euthynnus sp.</i>) ^c , Pantai Utara Jawa, Indonesia	0,156	-	-	-	0,2760	-
Baku mutu (Peraturan BPOM No. 5 2018)	0,1	-	-	-	0,2	-
Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>) ^d , Malaysia	0,06- 0,53	0,48- 17,5	17,9- 302	0,33- 19,31	0,27- 10,4	8,67- 23,5
Baku Mutu (<i>Malaysian Food Regulations/MRF 1985</i>)	1,0	30	-	-	2	100
Kerang Kepah (<i>Polymesoda erosa</i>) ^e , Malaysia	0,25- 0,45	7,5- 15,2	-	10,25- 12,20	2,30- 4,25	160,50- 435,01
Baku Mutu (<i>Malaysian Food Regulations/MRF 1985</i>)	1,0	30	-	-	2	100
Rajungan (<i>Portunus pelagicus</i>) ^e , Malaysia	0,6	33,5- 85,7	-	2,4-3,1	4-4,1	319- 394
Baku Mutu (<i>Malaysian Food Regulations/MRF 1985</i>)	1,0	30	-	-	2	100

^aAzhar et al., (2012)^bSuyanto et al., (2010)^cAnandkumar et al., (2019)^cHananingtyas (2017)^dYap et al., (2016)

Sebagai contoh, pada Tabel 1 dapat dilihat konsentrasi logam dalam beberapa jenis makanan laut dari beberapa lokasi. Beberapa penelitian di Indonesia

menunjukkan beberapa jenis makanan laut memiliki konsentrasi logam berat yang melampaui baku mutu yang ditetapkan (BPOM, 2018). Azhar et al. (2012)

menunjukkan konsentrasi Cd dalam Kerang Simpson (*Amusium pleuronectes*) dari perairan Demak telah melebihi baku mutu. Hananingtyas (2017) menjumpai konsentrasi Cd dan Pb dalam Ikan Tongkol (*Euthynnus sp.*) dari Pantai Utara Jawa telah melewati baku mutu tersebut. Selanjutnya, Suyanto et al. (2010) menunjukkan konsentrasi Pb dalam Ikan Bandeng (*Chanos-chanos*) dari beberapa tambak di Pantai Utara Jawa Tengah mendekati baku mutu tersebut. Sementara itu, konsentrasi Pb dalam Kerang Hijau (*Perna viridis*), Kerang Kepah (*Polymesoda erosa*), dan Rajungan (*Portunus pelagicus*) di Malaysia telah melebihi baku mutu (MRF 1985) yang diterapkan di negara tersebut (Yap et al., 2016; Anandkumar et al., 2019).

Konsentrasi logam dalam makanan laut yang belum melewati baku mutu mengindikasikan makanan laut tersebut masih aman untuk dikonsumsi. Sebaliknya, apabila telah melampaui baku mutu, perlu ada perhatian lebih lanjut berkaitan dengan konsumsi makanan laut tersebut. Untuk itu, diperlukan tahapan selanjutnya seperti penetapan jumlah maksimum makanan laut yang dapat dikonsumsi oleh masyarakat serta tahapan-tahapan lainnya.

PENETAPAN JUMLAH MAKSIMUM MAKANAN LAUT YANG DAPAT DIKONSUMSI

Ada beberapa acuan yang dapat digunakan untuk panduan konsumsi, antara lain PMTDI (*Provisional Maximum Tolerable Daily Intake*), PTMI (*Provisional Tolerable Monthly Intake*), dan PTWI (*Provisional Tolerable Weekly Intake*). Jumlah maksimum makanan laut

yang dapat dikonsumsi per minggu diusahakan tidak melebihi nilai yang ditetapkan oleh JECFA (Tabel 2). Kategori tersebut pada umumnya didasarkan pada sifat, perilaku, dan dampak logam tersebut di dalam tubuh manusia. PMTDI ditujukan untuk cemaran logam yang umumnya bersifat kelumit (*trace metals*), yang bersifat esensial, dan tidak terhindarkan berada dalam makanan, contohnya Cu, Fe, dan Zn (Herrman & Younes, 1999), sedangkan khusus untuk logam Cd, nilai PTMI digunakan untuk nilai asupan bulanan. Sementara itu, PTWI didefinisikan sebagai jumlah perkiraan suatu substansi/cemaran dalam makanan atau minuman yang dapat dikonsumsi mingguan selama seumur hidup tanpa menimbulkan gangguan atau risiko kesehatan. Semua nilai rujukan tersebut umumnya berdasarkan kategori berat badan (*body weight*) untuk dewasa, yaitu 60 kg. Nilai PTWI ditujukan bagi asupan cemaran yang tidak cepat/mudah hilang dari tubuh manusia. Penggunaan istilah mingguan (*weekly*) dimaksudkan sebagai penekanan pentingnya membatasi frekuensi mengonsumsi makanan laut yang diduga tercemar kontaminan tertentu tidak melebihi jumlah tertentu dalam satu minggu (Herrman & Younes, 1999). Beberapa logam tidak memiliki nilai PTWI, misalnya nilai untuk As dan Pb dievaluasi dan ditarik oleh JECFA pada 2011. Nilai PTWI sebelumnya untuk As dan Pb masing-masing sebesar 15 µg/kg berat badan dan 25 µg/kg berat badan dianggap tidak relevan lagi dengan upaya perlindungan kesehatan manusia. Nilai tersebut terbukti terlalu tinggi dan mampu menyebabkan efek buruk bagi kesehatan (Yap et al., 2016).

Tabel 2. Nilai Asupan Maksimal Beberapa Logam dalam Makanan (JECFA)

Unsur	Kategori	Nilai/status
Al (Aluminium)	PTWI	2 mg/ kg berat badan/ minggu
As (Arsen)	PTWI	Ditarik oleh JECFA
Cd (Kadmium)	PTMI	25 µg/ kg berat badan/ bulan
Cu (Tembaga)	PMTDI	0,5 mg/ kg berat badan/ hari
Fe (Besi)	PMTDI	0,8 mg/ kg berat badan/ hari
Hg (Merkuri anorganik)	PTWI	4 µg/ kg berat badan/ minggu
MeHg (Metil Merkuri)	PTWI	1,6 µg/kg berat badan/minggu
Pb (Timbal)	PTWI	Ditarik oleh JECFA
Sn (Tin)	PTWI	14 mg/ kg berat badan/ minggu
Zn (Zink)	PMTDI	0,3-1 mg/ kg berat badan/ hari

Selanjutnya jumlah maksimum makanan laut yang dapat dikonsumsi setiap minggu (dalam kg) dihitung menggunakan formula *Maximum Tolerable Intake* (MTI), seperti dijelaskan oleh Azhar et al., (2012) dan Afandi et al., (2019), yaitu:

$$MTI = \frac{PTWI \times Bw}{Mc} \quad (2)$$

keterangan:

- *Bw (body weight)* = berat badan manusia (tergantung kategori) (dewasa, 60 kg)
- *Mc (metal concentration)* = konsentrasi logam dalam makanan laut (mg/kg berat basah)

Dalam perhitungan MTI selanjutnya, nilai PTWI dapat diganti dengan PTMI atau PTMDI, bergantung pada jenis logam. Sebagai contoh, Yap et al., (2016) dalam penelitiannya menjumpai konsentrasi Cd dalam Kerang Hijau dari Malaysia berkisar antara 0,06-0,53 mg/kg berat basah, dan jumlah (kg) kerang yang dapat dikonsumsi oleh orang dewasa agar tidak melebihi baku mutu JECFA berkisar antara 0,79-7,13 kg/bulan (baku mutu JECFA untuk Cd adalah berbasis bulan atau PTMI). Hal ini berarti jika Kerang Hijau mengandung konsentrasi Cd mencapai 0,53 mg/kg berat

basah maka seorang dewasa dengan berat 60 kg maksimal hanya boleh mengonsumsi kerang tersebut sebanyak 0,79 kg/bulan agar tidak mengganggu kesehatannya akibat pengaruh Cd.

PENETAPAN *ESTIMATED DAILY INTAKE* (EDI)

Estimated Daily Intake (EDI) adalah perkiraan asupan suatu cemaran dalam tubuh manusia melalui konsumsi makanan setiap harinya. Nilai EDI didasarkan pada tingkat konsumsi (g/hari) makanan laut dan konsentrasi cemaran dalam makanan tersebut. Nilai tersebut bervariasi bergantung pada berat badan manusia. Perhitungan nilai EDI menurut Song et al., 2009; Giri & Singh, 2015 dapat dilakukan dengan rumus:

$$EDI = \frac{(Mc \times Cr)}{Bw} \quad (3)$$

keterangan:

- *EDI (Estimated Daily Intake)* = perkiraan asupan suatu cemaran dalam tubuh manusia melalui konsumsi makanan setiap harinya (µg/kg berat basah/hari)
- *Mc (metal concentration)* =

konsentrasi logam dalam makanan laut (mg/kg berat basah)

- *Cr (consumption rate)* = tingkat konsumsi makanan laut per hari (g/hari)
- *Bw (body weight)* = berat badan manusia (dewasa; 60 kg)

Nilai EDI tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai PTMDI yang ditetapkan oleh JECFA (Tabel 2) atau nilai *Oral Reference Dose* (RfD) (Tabel 3) yang ditetapkan US EPA (Song et al., 2009). RfD adalah nilai perkiraan maksimum harian bahan kimia tertentu yang tidak menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia. Umumnya nilai ini digunakan pada kajian risiko cemaran non-karsinogen (Yap et al., 2016). RfD untuk Pb tidak ditetapkan oleh US EPA karena belum cukup data untuk menentukan nilai ambang batas yang tidak menyebabkan efek buruk bagi kesehatan manusia (Yap et al., 2016).

Tabel 3. Nilai RfD Beberapa Logam yang Ditetapkan oleh US EPA (Song et al., 2009; Cheng & Yap, 2015; Yap et al., 2016).

No.	Logam	RfD (µg/kg per hari)
1	Fe	700
2	Mn	14
3	Zn	300
4	Cu	40
5	Ni	20
6	Cd	1
7	Pb	-
8	As	0,3
9	Cr	3
10	Hg	0,5

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai EDI setiap logam tersebut lebih rendah dibandingkan nilai RfD (Tabel 3). Hal tersebut mengindikasikan bahwa

masyarakat yang mengonsumsi Kerang Hijau yang tercemar logam berat tersebut tidak berpotensi mengalami risiko kesehatan yang buruk (Yap et al., 2016).

PENETAPAN *TARGET HAZARD QUOTIENT* (THQ) DAN *TOTAL HAZARD INDEX* (HI)

Kajian *Target Hazard Quotient* (THQ) dikembangkan oleh US EPA bertujuan mengevaluasi kemungkinan dampak buruk yang ditimbulkan oleh suatu jenis logam akibat mengonsumsi makanan laut yang tercemar (Yap et al., 2016). Nilai THQ ditentukan dengan rumus:

$$THQ = \frac{(EF \times ED \times Cr \times Mc)}{(RfD \times Bw \times AET)} \times 10^{-3} \quad (4)$$

keterangan:

- *EF (exposure time)* = waktu paparan, disetarakan 365 hari (satu tahun)
- *ED (exposure duration)* = durasi paparan, disetarakan rata-rata umur manusia (70 tahun)
- *Cr (consumption rate)* = tingkat atau laju konsumsi makanan laut per hari (g/hari)
- *Mc (metal concentration)* = konsentrasi logam dalam makanan laut (mg/kg berat basah)
- *RfD (oral reference dose)* = nilai perkiraan maksimum harian bahan kimia tertentu yang tidak menimbulkan resiko kesehatan bagi populasi manusia (µg/kg/hari)
- *Bw (body weight)* = berat badan manusia (dewasa; 60 kg)
- *ET (averaging exposure time for non-carcinogens)* = rata-rata waktu paparan (365 hari/tahun × *ED*)
- 10^{-3} = faktor konversi

Tabel 4. Contoh nilai *Estimated Daily Intake* (EDI) dari beberapa jenis logam dalam Kerang Hijau (*Perna viridis*) berdasarkan penelitian yang dilakukan Yap et al., (2016).

EDI (µg/kg berat basah/hari)	Cd	Pb	Fe	Ni	Cu	Zn
Minimal	0,02	-	5,32	0,10	0,14	2,58
Maksimal	0,16	-	89,9	5,75	5,21	6,98
Rata-rata	0,07	-	29,3	0,95	0,65	4,66
Deviasi Standard	0,03	-	18,8	1,59	0,81	1,23
RfD	1	-	700	20	40	300

Menurut Cheng & Yap (2015) dan Yap et al. (2016), THQ merupakan rasio antara EDI dan RfD, maka persamaan (4) dapat disederhanakan menjadi :

$$THQ = \frac{EDI}{RfD} \quad (5)$$

Apabila nilai THQ >1, maka tingkat paparan logam melebihi nilai RfD yang ditetapkan. Dengan demikian, masyarakat yang mengonsumsi makanan laut tersebut berpotensi mengalami dampak buruk dari cemaran suatu jenis logam (Yap et al., 2016).

Sementara itu, *Total Hazard Index* (HI) bertujuan untuk mengevaluasi kemungkinan dampak buruk yang ditimbulkan oleh gabungan beberapa jenis logam akibat mengonsumsi makan laut yang tercemar (Yap et al., 2016). HI merupakan gabungan nilai THQ dari masing-masing logam. Dengan demikian, nilai tersebut ditentukan dengan rumus:

$$HI = \sum_{i=1}^n THQ_i \quad (6)$$

Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa nilai THQ dan HI bernilai <1. Hal tersebut mengindikasikan bahwa masyarakat yang mengonsumsi Kerang Hijau yang tercemar logam berat tersebut tidak berpotensi mengalami risiko kesehatan yang buruk (Yap et al., 2016).

PENUTUP

Potensi tercemarnya makanan laut oleh logam berat semakin besar akibat peningkatan kegiatan antropogenik yang menghasilkan limbah ke lingkungan pesisir. Untuk itu, kajian risiko kesehatan terkait konsumsi makanan laut penting dilakukan untuk mencegah dampak buruk bagi kesehatan manusia. Pemerintah Indonesia telah menetapkan nilai batas maksimum cemaran logam berat dalam produk perikanan berdasarkan Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 5 Tahun 2018, demikian pula negara-negara dan badan internasional lainnya. Untuk menentukan jumlah maksimum kekerangan laut (atau makanan laut lainnya) yang aman dikonsumsi manusia, dapat dilakukan analisis *Maximum Tolerable Intake* (MTI), sedangkan untuk menentukan tingkat potensi risiko kesehatan akibat mengonsumsi makanan laut yang tercemar satu jenis atau beberapa jenis logam dapat dilakukan analisis THQ dan HI.

Tabel 5. Contoh nilai THQ dan HI dari beberapa jenis logam dalam Kerang Hijau (*Perna viridis*) berdasarkan penelitian yang dilakukan Yap et al., (2016).

THQ	Cd	Fe	Ni	Cu	Zn	HI
Min	0,02	0,01	0	0	0,01	0.04
Maks	0,16	0,13	0,29	0,13	0,02	0.73
Rata-rata	0,07	0,04	0,05	0,02	0,02	0.2
SD	0,03	0,03	0,08	0,02	0	0.16

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, M. F., Widowati, I., & Ambariyanto, A. (2019). Zinc content in water, sediment, and soft tissue of green mussel *Perna viridis* in Demak, Indonesia. *AACL Bioflux*, 12(1): 201–208.
- Anandkumar, A., R. Nagarajan, K. Prabakaran, Chua Han Bing, R. Rajaram, Jian Li, Daolin Du. (2019). Bioaccumulation of trace metals in the coastal Borneo (Malaysia) and health risk assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 145(January): 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.002>.
- Azhar, H., Widowati, I., Suprijanto J. (2012). Studi Kandungan Logam Berat Pb, Cu, Cd, Cr pada Kerang Simpson (*Amusium pleuronectes*), Air dan Sedimen di Perairan Wedung, Demak serta Analisis Maximum Tolerable Intake Pada Manusia. *Journal of Marine Research*, 1(2): 35–44.
- BPOM. (2018). Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 5 tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan Olahan, Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia. Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia.
- Cheng, W. H., & Yap, C. K. (2015). Chemosphere potential human health risks from toxic metals via mangrove snail consumption and their ecological risk assessments in the habitat sediment from Peninsular Malaysia Malacca. *Chemosphere*, 135: 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.04.013>.
- Cresson, P., Travers-Trolet, M., Rouquette, M., Timmerman, C., Giraldo, C., Lefebvre, S., Ernande, B. (2017). Underestimation of chemical contamination in marine fish muscle tissue can be reduced by considering variable wet: Dry weight ratios. *Marine Pollution Bulletin*, 123(1): 279–285. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.046>.
- Giri, S., & Singh, A. K. (2015). Metals in some edible fish and shrimp species collected in dry season from Subarnarekha River, India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 95(2): 226–233. <https://doi.org/10.1007/s00128-015-1573-x>.
- Hananingtyas, I. (2017). Studi pencemaran kandungan logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada ikan tongkol (*Euthynnus* sp.) di Pantai Utara Jawa. *BIOTROPIC, The Journal of Tropical Biology*, 1(2): 41–50. <https://doi.org/10.29080/biotropic.2017.1.2.41-50>.
- Herrman, J. L., & Younes, M. (1999). Background to the ADI/TDI/PTWI. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 30(2): 109–113. <https://doi.org/10.1006/rtph.1999.1335>.
- JECFA. 2020. List of chemicals in functional category food contaminant. Diakses pada 10 Februari 2020. dari <https://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/search.aspx?fcc=2>.

- Liu, Q., Xu, X., Zeng, J., Shi, X., Liao, Y., Du, P., Tang, Y., Huang, W., Chen, Q., Shou, L. (2019). Heavy metal concentrations in commercial marine organisms from Xiangshan Bay, China, and the potential health risks. *Marine Pollution Bulletin*, 141(36): 215–226. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.058>.
- MFR (Malaysian Food Regulations). (1985). Malaysian law on food and drugs. Malaysian Law, Kuala Lumpur.
- Selin, N. E. (2009). Global biogeochemical cycling of mercury: A review. *Annual Review of Environment and Resources*, 34(1): 43–63. <https://doi.org/10.1146/annurev.enviro.051308.084314>.
- Sindermann, C. J. (2006). Coastal pollution: Effects on living resources and humans. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Song, B., Lei, M., Chen, T., Zheng, Y., Xie, Y., Li, X., Gao, D. (2009). Assessing the health risk of heavy metals in vegetables to the general population in Beijing, China. *Journal of Environmental Sciences*. The Research Centre for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, 21(12): 1702–1709. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62476-6](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62476-6).
- Suyanto, A., Kusmiyati, S., & Retnaningsih, C. (2010). Residu logam berat ikan dari perairan tercemar di Pantai Utara Jawa Tengah. *Jurnal Pangan dan Gizi*, 01(2): 34–38. Diakses pada 10 Februari 2020 dari <http://jurnal.unimus.ac.id/index.php/JPDG/article/view/786>.
- Thapa, D. S., Sharma, C.M., Kang, S., Silanpa, M. (2014). The risk of mercury exposure to the people consuming fish from Lake Phewa, Nepal. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11: 6771–6779. <https://doi.org/10.3390/ijerph110706771>.
- Vandermeersch, G., Lourenco, H. M., Alvarez, M., Cunha, S., Diogene, J., Cano, G., Sloth, J. J., Kwadijk, C., Barcelo, D., Allegaert, W., Bekaert, K., Fernandez, J. O., Marques, A., Robbens, J. (2015). Environmental contaminants of emerging concern in seafood-European database on contaminant levels. *Environmental Research*, 143: 29–45. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.06.011>.
- Yap, C. K., Cheng, W. H., Karami, A., Ismail, A. (2016). Health risk assessments of heavy metal exposure via consumption of marine mussels collected from anthropogenic sites. *Science of the Total Environment*, 553: 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.092>.