

PENCEMARAN LOGAM BERAT JENIS KADMIUM (CD) DI PERAIRAN DAN DAMPAK TERHADAP IKAN (REVIEW)

THOY BATUN CITRA RAHMADANI¹⁾, DAMAI DINIARIWISAN²⁾

Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Pertanian Universitas Mataram

¹⁾citra@unram.ac.id, ²⁾damaidiniari@unram.ac.id

ABSTRAK

Logam berat merupakan masalah yang cukup serius dalam perairan baik itu perairan tawar maupun laut, sebab memiliki dampak yang negatif pada ikan hingga manusia. Salah satu jenis logam berat yang berbahaya adalah kadmium (Cd) karena menyebabkan beberapa penyakit seperti kerusakan tulang maupun masalah reproduksi pada manusia. Sumber Cd di perairan dapat berasal dari alam seperti pelapukan batu maupun gunung berapi, namun saat ini aktivitas manusia merupakan penyumbang terbesar Cd. Aktivitas terbesar manusia adalah kegiatan industri seperti industri plastik, pelapisan logam, dan elektronik. Industri-industri ini menggunakan Cd sebagai bahan baku dan umumnya membuang Cd ke perairan yang merupakan sumber air bagi kehidupan ikan. Cd dalam perairan dapat terakumulasi dalam tubuh ikan dan membuat kerusakan, seperti pada insang, ginjal maupun hati. Masalah ini pada akhirnya akan berdampak juga pada manusia yang sebagian besar mengkonsumsi ikan sebagai pangan utama.

Kata kunci: ikan, cadmium, logam berat, manusia

ABSTRACT

Heavy metals are one of the problems in aquatic environment, both fresh and marine waters, because it has negative impact on aquatic organism like a fish and even humans. One type of dangerous heavy metal is Cadmium (Cd). It can cause several diseases such as bone disease (osteoporosis) and reproductive problems in humans. Source of Cd in waters can come from nature like weathering of rocks or volcanoes, but currently human activity is the biggest contributor. The biggest human activity as contributor is from industrial sector (e.g plastics, metal plating and electronics). It uses Cd as a raw material and generally disposes Cd waste into waters which are fish habitats. Cd in waters can accumulate in fish body and damage the gills, kidneys and liver. In the end, this problem will affect humans who consume fish contaminated with Cd on a large scale.

Keyword: fish, cadmium, heavy metal, human

PENDAHULUAN

Logam berat merupakan salah satu masalah dalam suatu perairan. Logam berat berasal dari limbah-limbah industri maupun rumah tangga (Wadhani *et al.* 2011). Akibat dari logam berat dapat menghambat pertumbuhan dan juga mematikan ikan. Logam berat yang cukup berbahaya diantaranya timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) (Jaishankar *et al.* 2104). Salah satu area yang telah tercemar adalah Waduk Cirata, Jawa Barat. Jenis logam berat yang jumlahnya melebihi ambang batas adalah Cd. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 ambang batas Cd yang ditetapkan untuk kegiatan budidaya adalah $10 \mu\text{g L}^{-1}$, namun hasil penelitian Priyanto *et al.* (2008) menunjukkan bahwa Cd di perairan Cirata berada dikisaran $1,37-20,43 \mu\text{g L}^{-1}$. Kandungan Cd tertinggi berada pada bulan Mei dengan kisaran $10,11-20,43 \mu\text{g L}^{-1}$, di bulan Agustus sebesar $6,48-13,42 \mu\text{g L}^{-1}$, dan di bulan November sebesar $1,37-4,72 \mu\text{g L}^{-1}$.

Selain Waduk Cirata, di Waduk Saguling juga telah tercemar oleh Cd. Menurut Wardhani *et al.* (2016), konsentrasi Cd adalah $0,00-139 \mu\text{g L}^{-1}$. Danau Batur yang juga merupakan daerah budidaya memiliki konsentrasi Cd sebesar $1-40 \mu\text{g L}^{-1}$ (Handayani *et al.* 2011). Perairan yang digunakan untuk budidaya tidak hanya waduk, tetapi kolong bekas penambangan dapat juga digunakan. Kolong merupakan badan air yang terbentuk akibat dari kegiatan penambangan (Henny 2011). Menurut Henny dan Susanti (2009), kolong yang digunakan untuk budidaya

ikan di Bangka Belitung telah tercemar oleh Pb sebesar 80-310 $\mu\text{g L}^{-1}$. Hal ini menunjukkan bahwa banyak perairan yang digunakan untuk budidaya telah tercemar oleh logam berat.

Ikan di tempat budidaya juga telah terkontaminasi oleh logam berat. Menurut Priyanto *et al* (2008) Cd ikan nila di waduk Cirata pada bulan Agustus adalah 12 $\mu\text{g L}^{-1}$ dan bulan November sebesar 3 $\mu\text{g L}^{-1}$. Walaupun jumlah kandungan Cd pada ikan nila masih dalam ambang batas yang ditetapkan, namun tetap saja bisa terakumulasi dan membuat masyarakat menjadi khawatir.

Pencemaran logam berat jenis Cd tidak hanya terdapat di lingkungan budidaya perairan tawar tetapi telah mengkontaminasi perairan laut. Menurut Nurhidayati *et al* (2021) Cd di perairan sekitar pelabuhan Lembar, Nusa Tenggara Barat berada dikisaran 0,0086-0,0105, sedangkan ambang batas yang ditetapkan oleh Kepmen LKH No 51 Tahun 2004 yaitu 0,01 mg L^{-1} . Adanya pencemaran Cd di laut menyebabkan organisme di sekitaran juga ikut tercemar. Hasil penelitian dari (Younis *et al.* 2021) menunjukkan bahwa otot ikan brownspotted grouper dan black pomfret telah mengandung Cd dengan masing-masing sebesar 4,10 dan 5,10 mg kg^{-1} . Cd dalam otot tersebut sudah masuk dalam kategori tinggi, sebab telah melewati ambang batas yang ditetapkan oleh FAO (1983) sebesar 0,5 mg kg^{-1} .

Rumusan Masalah

Logam berat jenis Cd termasuk salah satu logam berat yang sampai saat ini diketahui bahwa tidak memiliki fungsi dalam tubuh ikan, bahkan cenderung merugikan. Cd saat ini telah mencemari baik itu perairan tawar maupun laut yang menjadi habitat ataupun tempat budidaya ikan, yang bersumber dari limbah-limbah industri seperti industri pembuatan baterai dan plastik yang membuang limbahnya ke perairan. Cd dalam perairan dapat terakumulasi didalam tubuh ikan, akibatnya adalah manusia dapat juga terpapar oleh Cd dari ikan tersebut dan berdampak buruk bagi kesehatan.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari studi literatur ini adalah untuk memberikan informasi terkait pencemaran logam berat jenis Cd yang ada di perairan, baik itu perairan budidaya tawar maupun perairan laut. Selain itu juga memberikan hasil-hasil penelitian dari beberapa studi literatur mengenai ikan yang telah tercemar Cd serta informasi tentang bahaya Cd ketika dikonsumsi oleh ikan dan manusia.

METODE PENELITIAN

Artikel ini menggunakan metode studi literatur dari beberapa jurnal-jurnal nasional maupun internasional. Studi literatur merupakan kegiatan yang mengumpulkan data dengan cara membaca, mencatat serta mengelola bahan yang telah dikumpul dan diolah. Literatur pada artikel ini diambil dari jurnal maupun buku yang berkaitan dengan pencemaran Cd di perairan serta bagaimana dampak terhadap ikan dan manusia. Setelah semua literatur dikumpulkan dan dibaca kemudian dilakukan pemilihan bagian-bagian yang saling berhubungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadmium (Cd)

Cd adalah logam berat yang masuk dalam kategori non-esensial. Senyawa Cd ini cenderung larut dalam air. Cd bernomor atom 48 dan termasuk dalam mineral yang berikatan dengan unsur-unsur yang lain seperti oksigen, sulfur maupun klorin. Selain itu Cd biasanya berbentuk logam lunak yang mempunyai warna putih perak dan tidak berasa serta tidak memiliki aroma spesifik (Jaishankar, *et al.*, 2014).

Penggunaan Kadmium (Cd)

Cd merupakan bahan yang digunakan pada beberap industry-industri. Produksi kadmium secara global hampir dua kali lipat dari tahun 1950 hingga 1990. Sampai tahun 1996 produksi Cd di Eropa, Amerika dan Asia cenderung tetap, namun sejak tahun 1997 produksi di Asia semakin meningkat, sedangkan di Eropa mengalami penurunan. Secara global Cd digunakan sebagai komponen dalam berbagai produk. Peningkatan Cd disebabkan olahan seperti baterai NiCd juga semakin meningkat. Kegunaan lain dari Cd adalah pigmen untuk plastic, keramik serta perpaduan dari timbal, tembaga dan timah (UNEP, 2010).

Sumber Kadmium (Cd) di Perairan

Cd adalah salah satu jenis logam berat yang sangat beracun ketika dibuang ke lingkungan, khususnya perairan. Sumber dari pelepasan Cd kedalam perairan secara alamiah terjadi akibat pelapukan batuan yang melepaskan Cd ke tanah dan masuk ke perairan. Pada tahun 1983 diperkirakan terdapat 1.200-13.400 ton Cd yang

dilepaskan ke perairan (UNEP, 2010). Sumber utama berasal dari pabrik besi dan kimia, selain itu menurut Khan *et al.*, (2022) beberapa sumbernya adalah industri pertambangan, metalurgi, stabilitas plastik dan pembuatan baterai. Pembuangan Cd khususnya di negara berkembang biasanya tidak dipisahkan dengan bahan lain, sehingga Cd akan berakhir di tempat pembuangan sampah ataupun di buang ke perairan secara langsung (UNEP, 2010).

Mekanisme Kadmium (Cd) Masuk Kedalam Tubuh Ikan

Cd dapat terakumulasi di hampir semua jaringan dan organ ikan, seperti hati, ginjal, dan insang dengan tingkat akumulasi yang tinggi sedangkan pada jaringan otot akumulasi Cd cenderung lebih sedikit. Mekanisme Cd masuk dalam tubuh organisme dapat terjadi melalui dua cara, yaitu secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung dapat melalui ion bebas Cd^{2+} yang masuk ke insang dan secara tidak langsung masuk ke usus melalui rantai makanan. Insang merupakan kunci utama masuknya Cd dalam tubuh, sebab insang menyerap ion-ion terlarut dari perairan. Cd masuk ke insang melalui proses difusi pasif maupun jalur masuk Ca^{2+} (Perera *et al.* 2015).

Cd dari insang kemudian masuk ke dalam hati dan berikatan dengan metallothionein (MT). Mt adalah protein yang susunannya banyak terdiri atas asam amino jenis sistein dan berperan penting untuk mencegah akumulasi Cd dalam hati, namun beberapa ikatan antara MT dan Cd dapat masuk ke ginjal dan terakumulasi di renal proximal tubula. Ikatan MT-Cd dapat didegradasi oleh lisosom sehingga Cd kembali bebas. Hal ini menyebabkan akumulasi Cd dalam ginjal menjadi tinggi (Zhang 2016).

Tabel 1. Konsentrasi Cd yang Masuk di dalam Tubuh Ikan

Jenis Ikan	Organ	Konsentrasi Cd ($mg\ kg^{-1}$)	Referensi
<i>Oreochromis niloticus</i>	- Jaringan otot	0,004	Ishak, <i>et al.</i> , 2020
	- Insang	0,083	
	- Tulang	1,750	
<i>E. suratensis</i>	- Insang	0,030-0,056	Perera <i>et al.</i> , 2016
	- Ginjal	0,080-0,110	
	- Hati	0,065-0,087	
<i>Tilapia zillii</i>	- Daging/otot	0,002	Atobatele & Olutona 2015
	- Insang	0,002	
	- Ginjal	0,063	

Kerusakan Organ Ikan Akibat Kadmium (Cd)

Cd yang masuk kedalam tubuh ikan menyebabkan terjadinya kerusakan-kerusakan organ. Ada beberapa organ yang terkena dampak langsung akibat paparan Cd. Insang merupakan organ pertama yang akan terserang sebab insang merupakan tempat penyerapan ion-ion. Menurut Adam, *et al.*, (2019) insang mosquito fish (*Gambusia affinis*) yang diberi Cd menyebabkan kerusakan morfologi pada insang dan terdapat peningkatan jumlah dan bentuk sel klorida

Menurut Guardiola *et al* (2013) terjadi perubahan histologi hati pada ikan Seabram akibat Cd, yang menyebabkan vakuolisasi meningkat, nekrosis, penurunan ukuran nuklei dan nukleolus, penyusutan sel-sel imun, dan penghambatan pembuluh darah. Cd juga menyebabkan penurunan jumlah total protein, albumin dan globulin didalam darah yang mengindikasikan bahwa hati sudah tidak bekerja dengan baik (Oman *et al* 2009). Selain itu, laju pertumbuhan ikan dapat terhambat, sebab Cd dapat menghambat proses transkripsi dan translasi *Growth Hormone* pada ikan rainbow trout (Jones *et al* 2001).

Cd juga dapat menyebabkan terjadinya peningkatan *Reactive Oxygen Species* (ROS). ROS merupakan suatu proses sel yang sangat diperlukan. Produk ROS yaitu superoksida (O_2^-), hydrogen peroksida (H_2O_2) dan radikal hidroksil merupakan hasil dari produk sampingan selama proses metabolisme. ROS dapat dihilangkan atau didegradasi melalui beberapa mekanisme dalam kondisi normal, tetapi dalam kondisi tertentu seperti kehadiran logam berat jenis Cd dapat memicu peningkatan ROS dan menyebabkan stress oksidatif didalam sel. Stress oksidatif ini yang kemudian memicu terjadinya kerusakan organ-organ dan jaringan didalam tubuh (Lushchak, 2011). Ada beberapa enzim yang biasa diperiksa untuk mengukur kerusakan yang terjadi akibat ROS, seperti *superoxide dismutase* (SOD) dan glutathione-S-transferase GTH. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Su *et al.*, (2022), induk ikan rare minnow (*Gobiocypris rarus*) yang diinjeksi oleh logam berat jenis Cd sebesar 5 dan 10 $\mu g\ L^{-1}$ menghasilkan larva ikan dengan jumlah enzim SOD yang lebih rendah dibandingkan dengan yang tidak diinjeksi oleh Cd. Selain itu, terjadi juga kerusakan sel yang dapat dilihat dari nilai malonaldehyde (MDA). Pada induk ikan rare minnow (*Gobiocypris rarus*) dengan injeksi 10 $\mu g\ L^{-1}$ menghasilkan nilai MDA yang cukup tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa efek dari Cd yang diberikan kepada induk ikan dapat menurunkan enzim antioksidan dan merusak sel dari larva yang dihasilkan.

Tabel 2. Aktivitas enzim SOD pada ikan yang terpapar Cd

Jenis Ikan	Organ yang Diperiksa	Konsentrasi Cd	Aktivitas Enzim SOD pada Ikan yang Diberi Cd	Aktivitas Enzim SOD pada Ikan Kontrol (Tanpa Penambahan Cd)	Referensi
<i>Carassius gibelio</i>	Hepatopankreas	0,4 mg L ⁻¹	35,74 U L ⁻¹	40,77 U L ⁻¹	Drag-Kozak <i>et al.</i> , 2019
<i>Oreochromis niloticus</i>	Insang	132 mg L ⁻¹	49,81 U mg ⁻¹ protein	74,34 U mg ⁻¹ protein	Abd-Allah <i>et al.</i> , 2019
<i>Salmo turtta fario</i> Linnaeus, 1792	Jaringan Otot	2 mg L ⁻¹	0,83 U mg ⁻¹ protein	2,16 U mg ⁻¹ protein	Alak <i>et al.</i> , 2103

Tabel 3. Nilai malonaldehyde (MDA) pada ikan yang terpapar Cd

Jenis Ikan	Organ yang Diperiksa	Konsentrasi Cd	Nilai MDA pada Ikan yang Terpapar Cd	Nilai MDA pada Ikan Kontrol (Tidak Terpapar Cd)	Referensi
<i>Acipenser persicus</i>	Hati	200 µg L ⁻¹	13,5 nmol g ⁻¹	6,4 nmol g ⁻¹	Safari, 2015
<i>Clarias lazara</i>	Hati	0,078 mg L ⁻¹	354,80 nmol g ⁻¹	265,40 nmol g ⁻¹	Shaheen <i>et al.</i> , 2016

Efek Kadmium (Cd) Terhadap Manusia

Cd merupakan logam non esensial untuk manusia dan telah diklasifikasikan sebagai bahan yang dapat menyebabkan karsinogenik. Sekitar 90% manusia yang tidak merokok terpapar Cd berasal dari makanan, khususnya yang mengkonsumsi kekerangan maupun daging dari hewan laut (UNEP, 2010). Ikan yang telah terpapar Cd akan berbahaya saat dikonsumsi oleh manusia, sebab Cd yang terakumulasi dalam tubuh ikan masuk ke dalam tubuh manusia dan menyebabkan beberapa penyakit. Menurut Nordberg *et al* (2003) manusia yang terpapar Cd dengan dosis lebih dari 20 µg g⁻¹ dapat menyebabkan kepadatan mineral tulang menjadi berkurang. Idrees *et al* (2018) juga menyatakan bahwa paparan jangka panjang Cd pada manusia mengakibatkan kerusakan ginjal, kanker prostat, dan kanker paru-paru.

Umumnya Cd tersimpan didalam hati dan ginjal serta akan semakin meningkat seiring bertambahnya usia. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendeteksi paparan Cd didalam tubuh adalah dengan mengukur Cd dalam urin (UNEP, 2010). Menurut WHO (2011) rata-rata paparan Cd untuk orang dewasa berada dikisaran 2,2-12 mikrogram kg⁻¹ berat badan per bulan. Paparan yang cukup tinggi berasal dari Eropa, Libanon dan USA.

PENUTUP

Simpulan

Logam berat jenis Cd saat ini telah banyak mencemari perairan baik air tawar maupun air laut. Pencemaran ini menyebabkan organisme-organisme yang ada didalam perairan ikut terkontaminasi. Ikan yang terkontaminasi oleh Cd akan berdampak buruk pada manusia yang mengkonsumsi.

Saran

Saran yang diberikan adalah diperlukan studi lebih lanjut mengenai pencemaran logam berat khususnya jenis Cd di perairan-perairan Indonesia dan pada ikan konsumsi, sebab tidak ada tanda khusus pada ikan yang terkontaminasi Cd. Selain itu diperlukan juga pengawasan yang ketat agar konsentrasi Cd di perairan tidak meningkat secara terus-menerus.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd-Allah, M.M., Ramadan, A.A., Said, N.M., Ibrahim, I.H., Abdel-Karim, E.A. (2019). Effects of Cadmium Chloride and Glyphosate on Antioxidants as Biochemical Biomarkers in Nile Tilapia. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 10(1). <https://doi.org/10.4172/2155-9546.1000561>.
- Adam, M.A., Maftuch, M., Kilawati, Y., Risjani, Y. (2019). The effect of cadmium exposure on the cytoskeleton and morphology of the gill chloride cells in juvenile mosquito fish (*Gambusia affinis*). *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 45(4), 337-343. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2019.11.011>.
- Alak, G., Atamanalp, A., Topal, A., Arslan, H., Oruc, E., Altun, S. (2013). Histopathological and biochemical effects of humic acid against cadmium toxicity in brown trout gills and muscles. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 13, 315-320. DOI: 10.4194/1303-2712-v13_2_13.

- Atobatele, O.E., Olutona, G.O. (2015). Distribution of three non-essential trace metals (Cadmium, Mercury and Lead) in the organs of fish from Aiba Reservoir, Iwo, Nigeria. *Toxicology Reports*, 2, 896-903. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2015.06.003>.
- Drag-Kozak, E., Pawlica-Gosiewska, D., Gawlik, K., Socha, M., Gosiewski, G., Luszczyk-Trojnar, E., Solnica, B., Popek, W. (2019). Cadmium-induced oxidative stress in Prussian carp (*Carassius gibelio* Bloch) hepatopancreas: ameliorating effect of melatonin. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 12264-12279. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04595-3>.
- FAO. 1983. Compilation of legal limits for hazardous substance in fish and fishery products. FAO Fishery Circular, No. 464; Food and Agricultural Organization, Rome.
- Guardiola ,F.A., Cuesta A., Meseguer J., Martinez, S., Sanches M.J., Sirvent, C., Esteban, M.A. (2013). Accumulation, histopathology and immunotoxicological effects of waterborne cadmium on gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Fish & Shellfish Immunology*, 35(3), 792-800. doi: 10.1016/j.fsi.2013.06.011.
- Handayani, C.I.M, Arthana, I.W., Merit, I.N. (2011). Identifikasi sumber pencemar dan tingkat pencemaran di danau batur Kabupaten Bangli. *Ecotrophic*. 6(1), 37-43.
- Henny, C. (2011). Permasalahan kualitas air dan alternatif solusi untuk pemanfaatan. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. 37(1), 119-138.
- Henny, C, Susanti, E. (2009). Karakteristik limnologis kolong bekas tambang timah di Pulau Bangka. *LIMNOTEK*. 16(2), 119-131.
- Idrees, N., Tabassu, B., Abd E.F., Hashem, A., Sarah, R., Hashim, M. (2018). Groundwater contamination with cadmium concentrations in some West U.P. Regions, India. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(7), 1365-1368. doi: 10.1016/j.sjbs.2018.07.005
- Ishak, A.R., Zuhdi, M.S.M., Aziz, M.Y. (2020). Determination of lead and cadmium in tilapia fish (*Oreochromis niloticus*) from selected areas in Kuala Lumpur. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 46(3), 221-225. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2020.06.001>
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B.B, Beeregowda, K. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. Review Article. *Interdisciplinary Toxicology*. 7(2), 60-72. doi: [10.2478/intox-2014-0009](https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009)
- Jones, I., Kille, P., Sweeney, G. 2005. Cadmium delays growth hormone expression during rainbow trout development. *Journal of Fish Biology*, 59(4), 1015-1022. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2001.tb00168.x>
- Khan, Z., Elahi, A., Bukhari, D.A., Rehman, A. (2022). Cadmium sources, toxicity, resistance and removal by microorganisms- A potential strategy for cadmium eradication. *Journal of Saudi Chemical Society*, 26(6), 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2022.101569>.
- Luschchak, V.I. 2011. Adaptive response to oxidative stress: bacteria, fungi, plants and animals. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 153(2), 175-190. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2010.10.004>
- Nordberg, G.F, Lundstrom, N.G, Gunnarson, D., Svensson, M., Bernard, A., Buchet, J., Fierens, S., Dumont, X., Jin, T., Zeng, X. (2003). Cadmium and human health: a perspective based on recent studies in China. *The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine*, 16(4), 307-319. <https://doi.org/10.1002/jtra.10039>
- Nurhidayati, Didik, L.A., Zohdi, A. (2021). Identifikasi pencemaran logam berat di sekitar Pelabuhan Lembar menggunakan Analisa parameter fisika dan kimia. *Jurnal Fisika Flux*, 18(2), 139-146
- Oman H.A.M., Ibrahim, T.B., Ali, A.T., Derwa, H.I.M. (2009). Field application of humic acid against the effect of cadmium pollution on cultured tilapia *Oreochromis niloticus*. *World Applied Sciences Journal*. 6(11), 1569-1575.
- Perera, P.A.C.T., Kodithuwakku S.P., Sundarabharathy, T.V., Edirisinghe, U. (2015). Bioaccumulation of cadmium in freshwater fish: An environmental perspective. *Review Article. Insight Ecology*. 4(1), 1-12. DOI:10.5567/ECOLOGY-IK.2015.1.12
- Perera, P.C.T., Sundarabharathy, T.V., Sivananthawerl, T., Kodithuwakku, S.P., Edirisinghe, U. (2016). Arsenic and cadmium contamination in water, sediments and fish is a consequence of paddy cultivation: evidence of river pollution in Sri Lanka. *Achievements in the Life Sciences*, 10(2), 144-160. <https://doi.org/10.1016/j.als.2016.11.002>.
- Priyanto, N., Dwiwitno., Ariyani, F. (2008). Kandungan logam berat (Hg, Pb, Cd, dan Cu) pada ikan, air, dan sedimen di waduk cirata, Jawa Barat. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 3(1), 69-78.
- Safari, R. (2015). Toxic effects of cadmium on antioxidant defense systems and lipid peroxidation in *Acipenser persicus* (Borodin, 1897). *International Journal Aquatic Biology*, 3(6), 425-432.

- Shaheen, R.F., Taha, N.M., Mandour, A.A., Lebda, M.A., El-morshedy, A. (2016). Effect of heavy metal pollution on some antioxidant enzymes in catfish *Clarias lazara*. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*, 51(2), 245-249. 10.5455/ajvs.225305.
- Su, L., Li, H., Qiu, N., Zeng, Z., Wang, R., Jun, L., Wang, J. (2022). Parental cadmium exposure during the spawning period reduces cadmium sensitivity through the antioxidant system in rare minnow (*Gobiocypris rarus*) larvae. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 246. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114137>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2008). Draft final review of scientific information on cadmium.
- Wardhani, E., Roosmini, D., Notodarmojo, S. (2016). Pencemaran kadmuim di sedimen waduk saguling provinsi Jawa Barat. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 23(3), 285-294.
- World Health Organization (WHO). (2011). Safety evaluation of certain food additives and contaminants. WHO Food Additives Series: 64. Geneva
- Younis, E.M., Abdel-Warith, A.A., Al-Asgah, N.A., Elthebite, S.A., Rahman, M.M. (2021). Nutritional value and bioaccumulation of heavy metals in muscle tissues of five commercially important marine fish species from the Red Sea. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(3), 1860-1866. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.038>
- Zhang, Y., Yu, X., Sun, S., Li, Q., Xie, Y., Li, Q., Zhao, Y., Pei, J., Zhang, W., Xue, P., Zhou, Z., Zhang, Y. (2016). Cadmium modulates hematopoietic stem and progenitor cells and skews toward myelopoiesis in mice. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 313, 24-34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.taap.2016.10.016>