

Toksisitas Merkuri (Hg) pada struktur jaringan ikan

(Toxicity of mercury in fish tissue structure)

**Tamrin Ali Ibrahim, Muhammad Aris**

Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Kelautan,  
Universitas Khairun, Ternate, 97719.

Penulis Korespondensi: M. Aris, [amboasse100676@gmail.com](mailto:amboasse100676@gmail.com)

**Abstract**

The problem of pollution that occurs in the aquatic environment is getting out of control and causes the degradation of fishery resources which are important for humans. One of the pollutants from industrial activities is heavy metal. There are various kinds of heavy metals, mercury (Hg) is the most dangerous heavy metal. Mercury (Hg) enters directly into the waters through rainwater and leaching the soil and river flows which are then absorbed and metabolized by microorganisms. Mercury (Hg) is difficult to degrade from the body, because mercury (Hg) is actively involved in the food chain. Microorganisms feed molluscs, crustaceans and fish which are a source of protein for humans. Mercury (Hg) toxicity in fish can result in a stress response in fish which results in impaired growth, immune system, and changes in tissue structure. This brief review aimed to enrich the scientific repertoire of the toxicity of mercury (Hg) in fish and its effects on humans. This review was a non-experimental research by conducting research around the literature.

**Keywords:** merkuri (Hg); gold mining, histopathology, biomarker; Histopatologi; Biomarker

**PENDAHULUAN**

Masalah pencemaran yang terjadi di lingkungan perairan semakin tidak terkendali dan menyebabkan terdegradasinya sumber daya perikanan yang penting bagi manusia (Auta *et al.*, 2017; Paul *et al.*, 2019). Masalah ini mempengaruhi fungsi ekosistem perairan dan kematian organisme perairan. Salah satu bahan pencemar dari kegiatan industri adalah logam berat. Secara biologis, logam berat diperlukan oleh tubuh, namun dalam kondisi yang tinggi dapat bersifat toksik (Qu *et al.*, 2018; Wu *et al.*, 2020).

Berbagai macam logam berat yang ada, merkuri (Hg) merupakan logam berat paling berbahaya (Bjørklund *et al.*, 2017). Merkuri (Hg) berbentuk organik dan anorganik. Merkuri (Hg) anorganik yang berada di lingkungan akan diubah menjadi merkuri (Hg) organik dalam bentuk methylmerkuri dan

dimethylmerkuri yang sangat berbahaya bagi organisme sekitar termasuk ikan dan manusia (Okpala *et al.*, 2018). Merkuri (Hg) masuk secara langsung ke dalam perairan melalui air hujan dan pencucian tanah serta aliran sungai (Walters *et al.*, 2020).

Merkuri (Hg) sulit untuk terdegradasi dari tubuh dan memiliki daya ikat yang tinggi pada jaringan tubuh, terutama pada biota perairan (Duan *et al.*, 2020). Oleh karena merkuri (Hg) aktif terlibat dalam rantai makan. Merkuri (Hg) yang masuk ke perairan diabsorpsi dan dimetabolisme oleh mikroorganisme melalui proses metilasi dan menghasilkan methylmerkuri. Mikroorganisme menjadi makanan moluska, krustase dan ikan. Hal ini membahayakan manusia karena berperan sebagai konsumen tingkat akhir dari rantai makanan (Nogara *et al.*, 2019). Merkuri (Hg) baik dalam bentuk metil maupun dalam bentuk alkil yang masuk

ke dalam tubuh manusia secara terus menerus akan menyebabkan kerusakan permanen pada otak, hati dan ginjal (Clarkson *et al.*, 2003; Genchi *et al.*, 2017).

Toksisitas merkuri (Hg) pada ikan dapat mengakibatkan terjadinya respon stress pada ikan yang mengakibatkan gangguan pertumbuhan, sistem imun, hingga perubahan struktur jaringan (Morcillo *et al.*, 2016; Burke *et al.*, 2020). Ikan dapat digunakan sebagai biomarker dalam pemantauan pencemaran perairan. Penggunaan biomarker berdasarkan tanggapan biologis organisme atau bagian dari organisme tersebut yang menunjukkan penyimpangan dari kondisi normal, dan tidak dapat dideteksi pada organisme utuh (Luczynska *et al.*, 2018; Dane dan Şişman, 2020). Ulasan singkat ini bertujuan untuk mengulas pengaruh akumulasi merkuri (Hg) pada ikan dengan pendekatan kondisi jaringan.

### **Sumber Pencemaran Merkuri (Hg)**

Logam berat termasuk mineral yang sangat diperlukan oleh tubuh pada kisaran yang kecil. Logam berat dapat bersifat toksik apabila melewati kisaran baku mutu (Asare *et al.*, 2018; Dohaish, 2018). Peningkatan kisaran logam berat pada tubuh disebabkan karena sifat logam berat yang tidak dapat didegradasi sehingga perannya yang bermanfaat sebagai mineral yang dibutuhkan berubah menjadi toksik termasuk logam (Ali *et al.*, 2019; Kumar *et al.*, 2019).

Kehadiran logam berat merkuri (Hg) di lingkungan dapat terjadi secara alamiah dan akibat dari aktivitas manusia (Brož *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2019). Sumber pencemaran merkuri (Hg) berasal dari emulsi industri, pembakaran batu bara serta limbah ekstraksi mineral dalam pertambangan emas (Li *et al.*, 2018; Spiegel *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2018; Ma *et al.*, 2019). Kehadiran merkuri (Hg) juga bersumber dari pertambangan biji nikel (Asiah dan Prajanti, 2014).

### **Pertambangan Emas Sebagai Sumber Pencemaran Merkuri (Hg)**

Pertambangan emas umumnya menggunakan sianida dan merkuri (Hg) untuk memisahkan emas dari material lain dan pemurnian emas (Mallongi *et al.*, 2020; Tomiyasu *et al.*, 2020). Merkuri (Hg) banyak digunakan oleh pertambangan emas tanpa izin (PETI) atau disebut dengan pertambangan rakyat (Spiegel *et al.*, 2018). Merkuri (Hg) yang dihasilkan oleh kegiatan industri pertambangan emas terendap di dalam tanah dan masuk ke lingkungan perairan sekitar melalui aliran air (Gafur *et al.*, 2018; Gerson *et al.*, 2018).

Pertambangan emas di Halmahera Utara misalnya, diduga menyebabkan pencemaran merkuri (Hg) di air dan sedimen yang melebihi ambang batas baku mutu yang ditetapkan (Edward, 2008; Husen, 2016; Husen *et al.*, 2016). Dampak pertambangan emas ini juga menyebabkan menurunnya sumberdaya perikanan di Teluk Kao (Ahmad, 2014). Selain itu, pertambangan emas juga menyebabkan pencemaran merkuri (Hg) di Anggai Pulau Obi (Edward, 2008).

Pencemaran merkuri (Hg) yang tinggi sangat mengancam keamanan pangan, karena dapat membahayakan kesehatan manusia sebagai konsumen akhir (Alipour *et al.*, 2015; Harris *et al.*, 2017; Gyamfi *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2020). Seperti yang diungkapkan Simbolon *et al.*, (2010) bahwa sumberdaya ikan dan udang di Teluk Kao telah berada pada tingkat yang membahayakan untuk dikonsumsi.

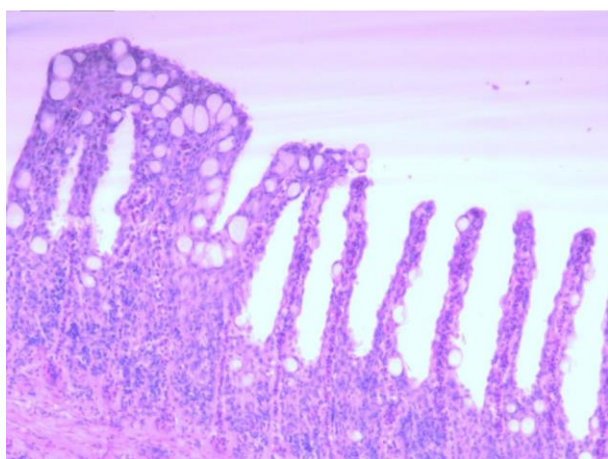
### **Pengaruh Merkuri (Hg) Pada Jaringan Ikan**

Logam berat di perairan merupakan suatu masalah yang sangat serius karena menyebabkan kerusakan struktur komunitas, gen, jaringan makanan, tingkah laku, dan fisiologi organisme perairan (Visha *et al.*, 2018; Hayati *et al.*, 2019). Selain itu, juga

membahayakan kesehatan masyarakat sebagai konsumen akhir (Eagles-Smith *et al.*, 2018; Lavoie *et al.*, 2018).

Paparan logam berat mengakibatkan respon pada tubuh sehingga ikan harus beradaptasi dan bahkan dapat menyebabkan kerusakan jaringan pada organ ikan seperti hati, otot, usus, dan lainnya (Dohaish, 2018; Mahboob *et al.*, 2020; Olladipo *et al.*, 2020; Salvaggio *et al.*, 2020). Insang merupakan organ yang sering mengalami kerusakan akibat pengaruh bahan toksik karena mengalami kontak langsung dengan lingkungan (Haque *et al.*, 2019; Sambo *et al.*, 2020).

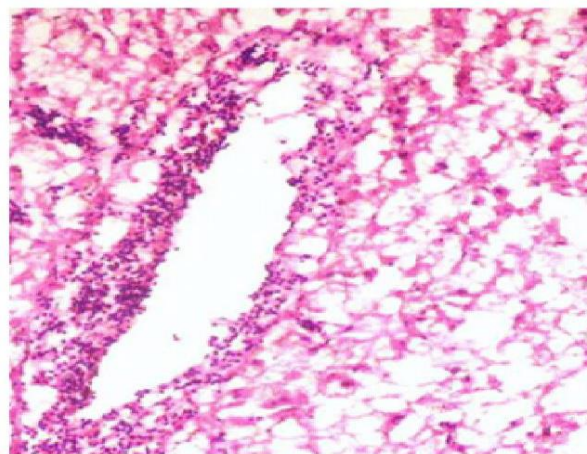
Selvanathan *et al.*, (2013) melaporkan toksisitas merkuri (Hg) pada insang menyebabkan degenerasi dan hiperplasia permukaan epitel, hipertrofi filamen insang, serta distrosi lamela sekunder. Adams dan Sonne (2013) menambahkan bahwa pengaruh merkuri (Hg) pada insang menyebabkan granuloma atau infiltrasi sel mononuklear lamela primer serta fusi dan edema lamela sekunder. Kerusakan pada insang, dapat menimbulkan kematian terhadap ikan yang disebabkan oleh proses anoxemia, yaitu terhambatnya fungsi pernapasan yakni sirkulasi dan ekskresi dari insang.



Gambar 1. Granuloma atau infiltrasi sel mononuklear lamela primer serta fusi dan edema lamela sekunder ikan akibat akumulasi merkuri (Hg) (Adams dan Sonne, 2013)

Hati sangat rentan terhadap pengaruh zat kimia dan menjadi organ sasaran utama dari zat beracun (Bakos *et al.*, 2019; Prysiazhniuk *et al.*, 2019; Sayed *et al.*, 2019; Mahmoud *et al.*, 2020). Hal ini terjadi karena sebagian besar racun atau zat toksik yang masuk ke dalam tubuh dan diserap oleh sel selanjutnya akan dibawa ke hati oleh vena porta hati, sehingga hati berpotensi mengalami kerusakan (Abdel-Warith *et al.*, 2011; Hegazi *et al.*, 2015). Deore dan Wagh (2012) mengungkapkan paparan merkuri (Hg) pada hati ikan menyebabkan vakuolisasi jaringan dan sitoplasma serta degenerasi inti sel.

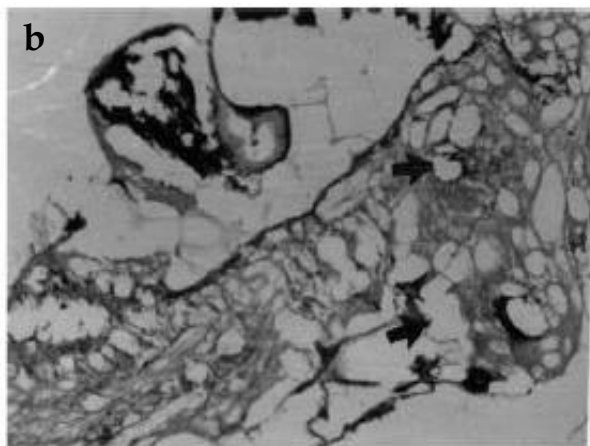
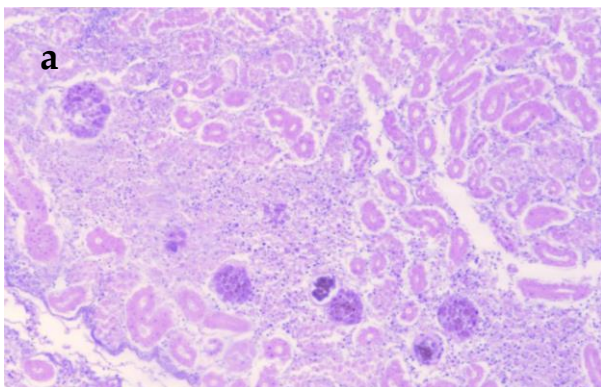
Vergilio *et al.*, (2012) menambahkan paparan merkuri (Hg) menyebabkan kongesti degenerasi inti sel. Akumulasi merkuri (Hg) mempengaruhi respon imun dari darah menuju jaringan sehingga terjadinya infiltration lymphocytes dan melanomakrofag (Adams dan Sonne, 2013). Pada tingkatan yang lebih parah, paparan merkuri (Hg) menyebabkan nekrosis atau kematian sel hati (Kaoud *et al.*, 2012; Jasim *et al.*, 2016).



Gambar 2. Nekrosis atau kematian sel hati ikan akibat akumulasi merkuri (Hg) (Kaoud *et al.*, 2012)

Ginjal dan usus adalah organ yang mudah terakumulasi logam berat karena berperan penting dalam proses pencernaan makanan (Kumar *et al.*, 2019; Idrees *et al.*,

2020). Bahan makanan yang terakumulasi logam berat dimakan oleh ikan dan mengalami proses pencernaan di ginjal dan penyerapan di usus, sehingga dapat menyebabkan perubahan struktur jaringan (Dohaish *et al.*, 2018). Merkuri (Hg) menyebabkan glomerulosklerosis, infiltrasi sel mononuklear, kerusakan struktur membran sel serta nekrosis tubular (Adams dan Sonne, 2013). Sementara pada usus, paparan merkuri (Hg) menyebabkan nekrosis atau terjadinya kematian sel (Krishnani *et al.*, 2003).



Gambar 3. Ginjal (a) dan usus (b) (Adams dan Sonne, 2013; Krishnani *et al.*, 2003)

Organ reproduksi ikan juga dapat terakumulasi toksisitas logam berat (Biswas dan Ghosh, 2016; Paschoalinea *et al.*, 2019). Hasil penelitian Aziz *et al.*, (2017) menunjukkan pengaruh akumulasi merkuri (Hg) pada gonad mengakibatkan lisis atau nekrosis. Nekrosis atau kematian sel pada ovary yang merupakan organ reproduksi pada ikan betina dapat

mengancam keberlanjutan populasi ikan karena pada dasarnya reproduksi merupakan faktor kunci dalam mempertahankan populasi ikan (Ojaveer *et al.*, 2015; Cao *et al.*, 2019).



Gambar 4. Nekrosis struktur jaringan gonad ikan akibat paparan merkuri (Hg) (Aziz *et al.*, 2017)

### Kontaminasi Pada Manusia

Kontaminasi merkuri pada kesehatan manusia dapat terpapar oleh merkuri melalui proses respirasi secara langsung maupun melalui proses rantai makanan jika memakan asupan seperti ikan dan biota perairan yang sudah tercemar merkuri (Yahyahzedeh *et al.*, 2017; Cortes *et al.*, 2018; Eagles-Smith *et al.*, 2018; Lavoie *et al.*, 2018). Paparan merkuri dalam tubuh manusia dapat menimbulkan masalah kesehatan yang serius, meskipun hanya dalam konsentrasi yang rendah (Clarkson *et al.*, 2003; Genchi *et al.*, 2017; Nogara *et al.*, 2019).

Keracunan oleh merkuri dapat mengakibatkan terganggunya fungsi ginjal dan hati (Choi *et al.*, 2017; Akkoyun *et al.*, 2018). Merkuri organik dapat memasuki plasenta dan merusak janin pada wanita hamil sehingga menyebabkan cacat bawaan, kerusakan DNA dan kromosom, mengganggu saluran darah ke otak serta menyebabkan kerusakan otak (Clarkson *et al.*, 2003; Genchi *et al.*, 2017; Martín-del-Campo *et al.*, 2019).



Pencemaran teluk Minamata Jepang, adalah salah satu tragedi besar pencemaran merkuri di lingkungan perairan dengan konsentrasi tinggi (Weiss, 2007). Tragedi ini merupakan yang menyebabkan Penyakit Minamata atau *Minamata Disease* dan terjadi antara tahun 1932-1968 (Hachiya *et al.*, 2006).

Teluk Minamata memiliki sumberdaya perikanan terutama ikan dan kerang yang melimpah. Sumberdaya perikanan ini menjadi sumber protein hewani masyarakat sekitar pesisir. Tetapi, peningkatan produksi industri membawa dampak bagi lingkungan perairan sekitar. Limbah industri yang mengandung merkuri di dimanfaatkan oleh ikan dan kerang serta organisme perairan lainnya. Masyarakat yang terkontaminasi merkuri dari makanan laut diidentifikasi terserang penyakit syaraf, lumpuh, kehilangan indera perasa, dan kematian (Eto, 2002; Ekino *et al.*, 2007; Semionov, 2018).

### KESIMPULAN

Akumulasi logam berat merkuri (Hg) pada organisme ikan harus dideteksi sebagai syarat keamanan pangan dan menentukan kondisi kesehatan perairan laut pada wilayah aktifitas ekstraksi sumberdaya mineral khususnya emas.

### DAFTAR PUSTAKA

Abdel-Warith AA, Younis EM, Al-Asgah NA, Wahbi OM. 2011. Effect of zinc toxicity on liver histology of Nile Tilapia *Oreochromis niloticus*. *Sci Res Essays*, 6: 3760–3769

Adams DH, Sonne C. 2013. Mercury and histopathology of the vulnerable goliath grouper, *Epinephelus itajara*, in U.S. waters: A multi-tissue approach. *Environmental Research*, 126: 254–263

Ahmad Z. 2014. Debit air di sungai terindikasi cemar desa beringin Maluku Utara. *Jurnal BIOêduKASI*, 2(2): 262-266

Akkoyun HT. 2018. Effect of boric acid on some elemental levels on rat's liver and kidney tissues during mercury chloride exposure. *CMB*, 64(13): 84-88

Ali H, Khan E, Ilahi I. 2019. Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, DOI: 10.1155/2019/6730305

Alipour H, Poukhabbaz A, Hassanpour M. 2015. Estimation of potential health risk for some metallic elements by consumption of fish. *Water Qual Expo Health*, 7(2):179–85.

Asare ML, Cobbina SJ, Akpabey FJ, Duwiejuah AB, Abuntori ZN. 2018. Heavy Metal Concentration in Water, Sediment and Fish Species in the Bontanga Reservoir, Ghana. *Toxicol. Environ. Health. Sci.*, 10(1): 49-58. DOI: 10.1007/s13530-018-0346-4

Asiah, Prajanti A. 2014. Pemantauan Kualitas Air Laut Akibat Tumpahan Pasir Nikel Di Perairan Teluk Buli, Halmahera. *Ecolab*, 8(2): 5–96

Auta HS, Emenike CU, Fauziah SH. 2017. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*, 102: 165–176

Aziz FZA, Zulkifli SZ, Mohamat-Yusuff F, Azmai MNA, Ismail A. 2017. A Histological Study on Mercury-Induced Gonadal Impairment in Javanese Medaka (*Oryzias javanicus*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 17: 621-627.

- Bakos K, Kovacs R, Balogh E, Sipos DK, Reining M, Gyomrei-Neuberger O, Balazs A, Kriszt B, Bencsik D, Csepeli A, Gazsi G, Hadzhiev Y, Urbanyi B, Mueller F, Kovacs B, Csenki Z. 2019. Estrogen sensitive liver transgenic zebrafish (*Danio rerio*) line (*Tg(vtg1:mCherry*)) suitable for the direct detection of estrogenicity in environmental samples, *Aquatic Toxicology*, DOI: [10.1016/j.aquatox.2019.01.008](https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.01.008)
- Bjørklund G, Dadar M, Mutter J, Aaseth J. 2017. The toxicology of mercury: Current research and emerging trends. *Environmental Research*, 159: 545–554
- Brož P, Cadek O, Wright J, Rothery DA. 2018. The Apparent Absence of Kilometer-Sized Pyroclastic Volcanoes on Mercury: Are We Looking Right?. *Geophysical Research Letters*, 45(22): 12171–12179
- Burke SM, Zimmerman CE, Laske SM, Koch JC, Derry AM, Guernon S, Branfireun BA, Swanson HK. 2020. Fish growth rates and lake sulphate explain variation in mercury levels in ninespine stickleback (*Pungitius pungitius*) on the Arctic Coastal Plain of Alaska. *Science of the Total Environment*, 743: 140564. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.140564](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140564)
- Cao J, Wang G, Wang T, Chen J, Wenjing G, Wu P, He X, Xie L. 2019. Copper caused reproductive endocrine disruption in zebrafish (*Danio rerio*). *Aquatic Toxicology*, 211: 124–136.
- Chen CY, Driscoll CT, Eagles-Smith CA, Eckley CS, Gay DA, Hsu-Kim H, Keane SE, Kirk JL, Mason RP, Obrist D, Selin H, Selin NE, Thompson MR. 2018. A Critical Time for Mercury Science to Inform Global Policy. *Environ. Sci. Technol.*, 52: 9556–9561
- Choi J, Bae S, Lim H, Lim J, Lee Y, Ha M, Kwon H. 2017. Mercury Exposure in Association With Decrease of Liver Function in Adults: A Longitudinal Study. *J Prev Med Public Health*, 50: 377-385
- Clarkson TW, Magos L, Myers GJ. 2003. The toxicology of mercury current exposures and clinical manifestations.
- Cortes J, Peralta J, Díaz-Navarro R. 2018. Acute respiratory syndrome following accidental inhalation of mercury vapor. *Clin Case Rep.*, 6:1535–1537
- Dane H, Şişman T. 2020. A morpho-histopathological study in the digestive tract of three fish species influenced with heavy metal pollution. *Chemosphere*, 242: 125212. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2019.125212](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125212)
- Deore SV, Wagh SB. 2012. Heavy metal induced histopathological alterations in liver of *Channa gachua* (Ham). *Journal of Experimental Sciences*, 3(3): 35-38
- Dohaish EJAB. 2018. Impact of some heavy metals present in the coastal area of Jeddah, Saudi Arabia on the gills, intestine and liver tissues of *Lutjanus monostigma*. *Journal of Environmental Biology*, 39: 253-260
- Duan P, Khan S, Ali N, Shereen MA, Siddique Y, Ali B, Iqbal HMN, Nabi G, Sajjad W, Bilal M. 2020. Biotransformation fate and sustainable mitigation of a potentially toxic element of mercury from environmental matrices. *Arabian Journal of Chemistry*, 13: 6949–6965
- Eagles-Smith CA, Silbergeld EK, Basu N, Bustamante P, Diaz-Barriga F, Hopkins WA, Kidd KA, Nyland JF. 2018. Modulators of mercury risk to wildlife and humans in the context of rapid global change. *Ambio*, 47: 170–197

- Edward. 2008. Pengamatan Kadar Merkuri (Hg) Di Perairan Teluk Kao (Halmahera) Dan Perairan Anggai (Pulau Obi) Maluku Utara. *Makara Sains*, 12(2): 97-101
- Ekino S, Susa M, Ninomiya T, Imamura K, Kitamura T. 2007. Minamata disease revisited: An update on the acute and chronic manifestations of methyl mercury poisoning. *Journal of the Neurological Sciences*, 262: 131–144
- Eto K. 2000. Minamata disease. *Neuropathology*, 20: 14-19. DOI: [10.1046/j.1440-1789.2000.00295.x](https://doi.org/10.1046/j.1440-1789.2000.00295.x)
- Gafur NA, Sakakibara M, Sano S, Sera K. 2018. A Case Study of Heavy Metal Pollution in Water of Bone River by Artisanal Small-Scale Gold Mine Activities in Eastern Part of Gorontalo, Indonesia. *Water*, 10(1507): 1-1. DOI: [10.3390/w10111507](https://doi.org/10.3390/w10111507)
- Genchi G, Sinicropi MS, Carocci A, Lauria G, Catalano A. 2017. Mercury Exposure and Heart Diseases. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14(74). DOI: [10.3390/ijerph14010074](https://doi.org/10.3390/ijerph14010074)
- Gerson JR, Driscoll CT, Hsu-Kim H, Bernhardt ES. 2018 Senegalese artisanal gold mining leads to elevated total mercury and methylmercury concentrations in soils, sediments, and rivers. *Elem Sci Anth*, 6(11). DOI: [10.1525/elementa.274](https://doi.org/10.1525/elementa.274)
- Gyamfi O, Sorenson PB, Darko G, Ansah E, Bak JL. 2020. Human health risk assessment of exposure to indoor mercury vapour in a Ghanaian artisanal small-scale gold mining community. *Chemosphere*, 241-125014.
- Hachiya N. 2006. The History and the Present of Minamata Disease- Entering the second half a century. *JMAJ*, 49(3): 112-118
- Harris MJ, Stinson J, Landis WG. 2017. A Bayesian Approach to Integrated Ecological and Human Health Risk Assessment for the South River, Virginia Mercury-Contaminated Site. *Risk Analysis*, 37(7): 1341-1357
- Haque MN, Eom H, Nam SE, Shin YK, Rhee J. 2019. Chlorothalonil induces oxidative stress and reduces enzymatic activities of Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>- ATPase and acetylcholinesterase in gill tissues of marine bivalves. *PLoS ONE* 14(4): e0214236.
- Hayati A, Wulansari E, Armando DS, Sofiyanti A, Amin MHF, Pramudya M. 2019. Effects of in vitro exposure of mercury on sperm quality and fertility of tropical fish *Cyprinus carpio* L. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 45: 189–195
- Hegazi MA, El Haleim SZA, Sirdah MM, Mwafy SN (2015) Oxidative stress in liver and white muscles of Nile Tilapia as responses to polluted area in the Nile river. *Egypt J Exp Biol Zool*, 11: 23–36
- Husen A (2016) Analisis kualitas air sungai yang bermuara di perairan teluk kao halmahera utara. *Jurnal Ilmiah agribisnis dan Perikanan (agribikan UMMU-Ternate)*, 9(1): 9-15
- Husen A, Herawati EY, Risjani Y (2016) Seasonal variation in meat and liver histopathology of white snapper (*Lates calcarifer*) from mercury-polluted Kao Gulf Waters, North Halmahera, Indonesia. *Aquatic Science & Management*, 4(1): 1-10
- Idrees N, Sarah R, Tabassum B, Abd\_Allah EF. 2020. Evaluation of some heavy metals toxicity in *Channa punctatus* and riverine water of Kosi in Rampur, Uttar Pradesh, India. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27: 1191–1194
- Jasim MA, Sofian-Azirun M, Yusoff, I, Rahman MM. 2016. Bioaccumulation and Histopathological Changes induced by Toxicity of Mercury

- (HgCl<sub>2</sub>) to Tilapia Fish *Oreochromis niloticus*. *Sains Malaysiana*, 45(1): 119–127
- Kaoud HA, Mahran KMA, Rezk A, Khalf MA. 2012. Bioremediation the toxic effect of mercury on liver histopathology, some hematological parameters and enzymatic activity in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Researcher*, 4(1): 60-69
- Kim J, Kim Y, Kumar V. 2019. Heavy metal toxicity: An update of chelating therapeutic strategies. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 54: 226–231
- Krishnani KK, Azad IA, Kailasam M, Thirunavukkarasu AR, Gupta BP, Joseph KO, Muralidhar M, Abraham M. 2003. Acute Toxicity of Some Heavy Metals to *Lates calcarifer* Fry with a Note on Its Histopathological Manifestations. *Journal Of Environmental Science And Health*, A38(4): 645–655
- Kumar M, Gupta N, Ratn A, Awasthi Y, Prasad R, Trivedi A, Trivedi SP. 2019. Biomonitoring of Heavy Metals in River Ganga Water, Sediments, Plant, and Fishes of Different Trophic Levels. *Biological Trace Element Research*, DOI:
- Lavoie RA, Bouffard A, Maranger R, Amyot M. 2018. Mercury transport and human exposure from global marine fisheries. *Scientific Reports*, 8:6705. DOI: 10.1038/s41598-018-24938-3
- Li Z, Jia P, Zhao F, Kang Y. 2018. The Development Path of the Lighting Industry in Mainland China: Execution of Energy Conservation and Management on Mercury Emission. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 15, 2883. DOI:10.3390/ijerph15122883
- Luczynska J, Paszczyk B, Luczynski MJ. 2018. Fish as a bioindicator of heavy metals pollution in aquatic ecosystem of Pluszne Lake, Poland, and risk assessment for consumer's health. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 153: 60–67.
- Ma Y, Mu B, Zhang X, Yuan D, Ma C, Xu H, Qu Z, Fang S. 2019. Graphene enhanced Mn-Ce binary metal oxides for catalytic oxidation and adsorption of elemental mercury from coal-fired flue gas. *Chemical Engineering Journal*, 358: 1499–1506
- Mahmoud AH, Darwish NM, Kim YO, Viayaraghavan P, Kwon J, Na SW, Lee JC, Kim H. 2020. Fenvalerate induced toxicity in Zebra fish, *Danio rerio* and analysis of biochemical changes and insights of digestive enzymes as important markers in risk assessment. *Journal of King Saud University – Science*, 32: 1569–1580
- Mallongi A, Limbong E, Naiem F, Ishak H, Basri S, Saleh M, Syam A, Asrul L. 2020. Health risk analysis of exposure to mercury (Hg) and cyanide (CN) in Kayeli village communities Teluk Kayeli district Buru regency. *Enferm Clin*, 30: 427-430
- Martí'n-del-Campo R, Ba'rcenas-Ibarra A, Lund G, Rodríguez-Ríos D, Yong-Villalobos L, García-Hernández J, García-Gasca A. 2019. Mercury Concentration, DNA Methylation, and Mitochondrial DNA Damage in Olive Ridley Sea Turtle Embryos With Schistosomus Reflexus Syndrome. *Veterinary Pathology*, 56(6): 940-949
- Morcillo P, Esteban MA, Cuesta A. 2017. Mercury and its toxic effects on fish. *AIMS Environmental Science*, 4(3): 386-402
- Nogara PA, Farina M, Aschner M, Rocha JBT. 2019. Mercury in Our Food. *Chem. Res. Toxicol.*, 32: 1459–1461



- Ojaveer H, Tomkiewicz J, Arula T, Klais R. 2015. Female ovarian abnormalities and reproductive failure of autumn-spawning herring (*Clupea harengus* Membras) in the Baltic Sea. *ICES J. Mar. Sci.*, 72: 2332-2340
- Okpala COR, Sardo G, Vitale S, Bono G, Arukwe A. 2018. Hazardous properties and toxicological update of mercury: From fish food to human health safety perspective. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(12): 1986-2001, DOI: 10.1080/10408398.2017.1291491
- Oladipo SO, Adeniyi TD, Anifowoshe AT. 2020. Histological and Hepatic Enzymes Response of *Oreochromis niloticus* and *Clarias anguillaris* to Pollution in Asa River, Ilorin. *Journal of life and bio-sciences research*, 1(1): 16-21
- Paul S, Mandal A, Bhattacharjee P, Chakraborty S, Paul R, Mukhopadhyay BK. 2019. Evaluation of water quality and toxicity after exposure of lead nitrate in fresh water fish, major source of water pollution. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 45: 345–351
- Prsyazhniuk N, Grynevych N, Slobodeniuk O, Kuzmenko O, Tarasenko L, Bezv O, Khomiak O, Horchanok A, Gutyj B, Kulyaba O, Sachuk R, Boiko O, Magrelo N. 2019. Monitoring of morphological parameters of Cyprinidae liver. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(3): 162-167
- Salvaggio A, Pecoraro R, Copat C, Ferrante M, Grasso A, Scalisi EM, Ignoto S, Bonaccorsi VS, Messina G, Lombardo BM, Tiralongo F, Brundo MV. 2020. Bioaccumulation of Metals/Metalloids and Histological and Immunohistochemical Changes in the Tissue of the European Hake, *Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758) (Pisces: Gadiformes: Merlucciidae), for Environmental Pollution Assessment. *J. Mar. Sci. Eng.*, 8, 0712: DOI: 10.3390/jmse8090712
- Sambo AB, Margaret D, Audu WI, Okechukwu AMN, Yusuf S, Wokton WJ. 2020. Toxicity effects of waste dry cell battery on the haematology and biochemistry of blood, gills and liver of *Clarias gariepinus* fingerlings. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 6(02): 072–082
- Sayed AH, Abd-Elkareem M, Khalil NSA. 2019. Immunotoxic effects of 4-nonylphenol on *Clarias gariepinus*: Cytopathological changes in hepatic melanomacrophages. *Aquatic Toxicology*, 207: 83–90
- Selvanathan J, Vincent S, Nirmala A. 2013. histopathology changes in fresh water fish *Clarias batrachus* (linn.) Exposed to mercury and cadmium. *International journal of life science & pharma research*, 3(2): 11-21
- Semionov A. 2018. Minamata Disease—Review. *World Journal of Neuroscience*, 8: 178-184
- Simbolon D, Simange SM, Wulandari SY. 2010. Kandungan Merkuri (Hg) dan Sianida pada Ikan yang Tertangkap dari Teluk Kao, Halmahera Utara. *Ilmu Kelautan*, 15(3): 126-134
- Spiegel SJ, Agrawal S, Mikha D, Vitamerry K, Billon PL, Veiga M, Konolius K, Paul B. 2018. Phasing Out Mercury? Ecological Economics and Indonesia's Small-Scale Gold Mining Sector. *Ecological Economics*, 144: 1–11
- Tomiyasu T, Baransano C, Hamada YK, Kodamatani H, Kanzaki R, Hidayati N, Rahajoe JS. 2020. Distribution of total and organic mercury in soils around an artisanal and small-scale gold mining

- area in West Java, Indonesia. *SN Applied Sciences*, 2:1213. DOI: [10.1007/s42452-020-3008-5](https://doi.org/10.1007/s42452-020-3008-5)
- Visha A, Gandhi N, Bhavsar SP, Arhonditsis GB. 2018. Assessing mercury contamination patterns of fish communities in the Laurentian Great Lakes: A Bayesian perspective. *Environmental Pollution*, 243: 777-789
- Vergilio CS, Carvalho CEV, Melo EJT. 2012. Accumulation and Histopathological Effects of Mercury Chloride after Acute Exposure in Tropical Fish *Gymnotus carapo*. *Journal of Chemical Health Risks*, 2(4): 01-08
- Walters DM, Cross WF, Kennedy TA, Baxter CV, Hall Jr. RO, Rosi EJ. Mercury (Hg) biomagnification in aquatic food webs is a global concern; yet, the ways species traits Food web controls on mercury fluxes and fate in the Colorado River, Grand Canyon. *Sci. Adv.*, 6: 1-9
- Weiss B. 2007. Toxicological Highlight: Why Methylmercury Remains a Conundrum 50 Years after Minamata. *Toxicological Sciences*, 97(2): 223–225
- Wu J, Lu J, Zhang C, Zhang Y, Lin Y, Xu J. 2019. Pollution, sources, and risks of heavy metals in coastal waters of China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, DOI: [10.1080/10807039.2019.1634466](https://doi.org/10.1080/10807039.2019.1634466)
- Xu W, Shao M, Yang Y, Liu R, Wu Y, Zhu T, Mercury emission from sintering process in the iron and steel industry of China. *Fuel Processing Technology*, 159: 340–344
- Xu X, Han J, Pang J, Wang X, Lin Y, Wang Y, Qiu G. 2020. Methylmercury and inorganic mercury in Chinese commercial rice: Implications for overestimated human exposure and health risk. *Environmental Pollution*, 258: 113706. DOI: [10.1016/j.envpol.2019.113706](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113706)
- Zhang H, Huo S, Yeager KM, Xi B, Zhang J, Wu F. 2019. A Historical Sedimentary Record of Mercury in a Shallow Eutrophic Lake: Impacts of Human Activities and Climate Change. *Engineering*, 5: 296–304
- Zhang S, Zhao Y, Yang J, Zhang J, Zheng C. 2018. Fe-modified MnOx/TiO<sub>2</sub> as the SCR catalyst for simultaneous removal of NO and mercury from coal combustion flue gas. *Chemical Engineering Journal*, 348: 618–629