

Akumulasi Pb, Cd, Hg dalam Jaringan Histology dan Efeknya terhadap Jaringan Hati, Ginjal Ikan Sembilang (*Plotosus sp*)

*Accumulations of Pb, Cd, Hg in Histology Tissues and Effects on Liver, Kidney Tissues in Catfish (*Plotosus sp*)*

Edison Harteman

Departemen of Fisheries, Faculty of Agriculture, Palangka Raya University.
Jalan Yos Sudarso Tunjung Nyaho. Kompleks Campus Universitas Palangka Raya
Phone Mobile : 6285332991805. E-mail: edisasan@yahoo.com

Diterima : 30 Mei 2023. Disetujui : 28 Juni 2023

ABSTRACT

This research was conducted to evaluate the accumulation of Pb, Cd, Hg in histology of liver and kidney tissues of the Catfish (*Plotosus sp*) in the Kahayan-Katingan estuary area, Central Kalimantan, Indonesia. Activities of illegal gold mining in watersheds cause contamination of fish by heavy metals. Samples of liver and kidney were taken fresh and stored at 4°C., part of the liver and kidney were fixed with 10% formaldehyde. The concentration of heavy metals that have been extracted is known using the Shimadzu Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Detection of accumulation of Pb, Cd, Hg was carried out histologically using the Sodium Rhodizonate dye method. The effect of heavy metals accumulation on liver and kidney tissue cells was detected histologically with the dye Hematoxycline-Eosin. Concentration of Pb, Cd, Hg in liver > kidney. Liver and Kidney contain Pb > Cd > Hg. Accumulation of Pb, Cd, Hg in liver and kidney histological tissue and spreads in a clustered pattern, random and not evenly accumulated. The effect of accumulation of Pb, Cd, Hg in the liver causes necrosis, lysis atrophy of hepar cells; renal glomerulus and proximal tubules.

Keywords: Distribution, effect, Pb, Cd, Hg, Liver, Kidney, Tissue, Necrosis, lysis, atrophy

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi akumulasi Pb, Cd, Hg pada histologi jaringan hati, ginjal ikan Sembilang (*Plotosus sp*) di wilayah muara Sungai Kahayan dan Katingan, Kalimantan Tengah. Aktivitas pertambangan emas ilegal di daerah aliran sungai menyebabkan terpaparnya ikan oleh logam berat. Pengambilan contoh hati, ginjal ikan dalam kondisi segar dan disimpan pada suhu 4°C dan sebagian hati dan ginjal ikan difiksasi dengan formalin 10%. Konsentrasi logam berat yang sudah diekstrak diketahui menggunakan Shimadzu Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Deteksi sebaran akumulasi Pb, Cd, Hg dilakukan secara histologi dengan metode pewarna Natrium Rhodizonate. Efek akumulasi logam berat pada sel jaringan hati dan ginjal dideteksi secara histologi dengan perwarna Hematoksilin-Eosin. Konsentrasi Pb, Cd dan Hg dalam hati > ginjal. Hati dan ginjal mengandung Pb > Cd > Hg. Akumulasi Pb, Hg dan Cd dalam jaringan histologi hati, ginjal ikan menyebar dengan pola bergerombol, acak dan tidak merata. Efek akumulasi Pb, Hg dan Cd dalam sel-sel Jaringan hati menyebabkan nekrosis, lisis, atropi pada sel hepar; glomerulus ginjal dan tubulus proksimal.

Kata kunci: Sebaran, efek, Pb, Cd, Hg, Liver, Kidney, Jaringan, Necrosis, lisis, atropi

PENDAHULUAN

Aktivitas antropogenik dan alam di daerah aliran sungai Kahayan dan Katingan Kalimantan Tengah menyebabkan timbal (Pb), Merkuri (Hg) dan cadmium (Cd) dalam tanah, gambut, batuan dan sedimen sungai tererosi dan terangkut aliran air ke wilayah muara Sungai. Aktivitas manusia di daerah aliran sungai berpotensi menyebabkan

erosi sedimen, pencemaran, perubahan kualitas air dan pencemaran (Macias *et al.*, 2006; Shan-e *at al.*, 2023). Tanah bekas tailing mengandung Pb > Cd, Potensi Cd > Pb dalam mencemari lingkungan di sekitarnya, tingkat Kelarutan Cd > Pb (Galjak *et al.*, 2022).

Aliran air hujan mempercepat mobilisasi logam berat ke estuaria (Qygard dan Gjengedal, 2009). Hal menyebabkan air sungai dan biota

terpapar logam berat hingga ke muara di laut. Air sungai Kahayan terpapar Pb dan Hg (Hartoto dan Awalina, 2000) dan ikan (Global Mercury Project, 2005; Harteman dan Aunurafik, 2013); air sungai, sedimen dan ikan estuaria Pb, Cd, Hg (Harteman *et al.*, 2008). Tanah dan humus/gambut mengandung Pb, Hg dan Cd (Sposito, 2008; Badora, 2012). Limbah telling tambang emas mengandung Hg, Cd dan Pb (Bussinow *et al.*, 2012). Tailing hasil kegiatan tambang potensial mencemari lingkungan tanah dan air (Jumei *et al.*, 2023). Kelly *et al.* (2006) kebakaran hutan merupakan sumber Hg dalam air danau dan sungai. Curah hujan dan suhu tinggi di tropis mempercepat pelapukan logam berat pada tanah, gambut, batuan dan mobilisasi ke sungai dan estuaria (Herman, 2006; Magbool *et al.*, 2011).

Kondisi alam di wilayah daerah aliran Sungai di bagian hulu sudah banyak mengalami perubahan mendasar karena kegiatan pertambangan emas tanpa ijin dan perluasan perkebunan sawit. Kegiatan Pertambangan paling banyak merusak hutan, sedangkan rehabilitasi lahan dan reboisasi sangat sedikit dilakukan. Setiap hari luasan hutan terus menerus berkurang akibat kegiatan pertambangan dan perluasan kebun sawit dan pembukaan lahan hutan oleh masyarakat. Kondisi hutan alam yang berubah diikuti oleh pencemaran perairan dan terkontaminasi air, sedimen, ikan dan biota air lain oleh logam berat tersebut. Kontaminasi Pb, Cd dan Hg dalam air sungai hingga estuaria dapat menyebabkan ikan terkontaminasi logam berat beracun dan kerusakan jaringan tubuh ikan.

Kegiatan pertambangan emas ilegal, erosi tanah, kebakaran hutan, pemukiman di sepanjang aliran sungai menyebabkan sungai, estuaria dan ikan terkontaminasi Pb, Hg dan Cd. Ikan air tawar di wilayah aliran sungai Katingan terpapar 0.060-1.600 mg/l Hg (Global Mercury Project, 2005). Air Sungai Kahayan hulu terpapar 0.024-0.173 mg/l Pb dan sedimen 6.46-16.54 mg/kg Pb berat basah; air sungai terpapar 0.008-0.057 mg/l Hg dan sedimen 0.424-2.643 mg/kg Hg berat basah (Awalina dan Hartoto, 2000). Menurut Harteman *et al.* (2008) air, sedimen dan ikan di estuaria terpapar Pb, Hg dan Cd; Sedangkan permukaan Sedimen mengandung $Pb > Cd > Hg$ (Kutlu, 2023). Logam berat dalam air dan dibiomagnifikasi melalui rantai makanan predator-prey hingga level pemangsa tinggi (Akin dan Unlu, 2007;

Watras, 1992). Hg dan Cd sangat reaktif dengan gugus sulphidril (-SH), sedangkan Pb sangat reaktif dengan gugus amina (-NH) (Cowan, 1997). Akumulasi Lead (Pb), Mercury (Hg) dan Cadmium (Cd) dalam jaringan hati dan ginjal menyebabkan sel-sel jaringan keracunan dan mengalami perubahan (Kim *et al.*, 2004). Jaringan tubuh ikan yang terkontaminasi Pb, Hg dan Cd dapat menyebabkan perubahan, kerusakan jaringan organ tubuh ikan dan kematian. Hal ini terjadi karena Pb, Hg, Cd sangat reaktif dan toksik terhadap sel-sel jaringan tubuh ikan. Toksisitas Pb, Hg dan Cd dapat bersinergis dalam sel-sel jaringan tubuh ikan. Menurut Vinodhini dan Narayanan (2009) zat kimia toksik menyebabkan nekrosis, lisis, edema atau hiperplasia pada jaringan tubuh ikan. Paparan Methylmercury dalam makanan seperti ikan sangat beracun dan salah satu penyebab kanker (Espejo *et al.*, 2022). Paparan Pb, Cd dan Hg di lingkungan perairan dapat mengancam kelestarian dan keamanan pangan pada sektor perikanan. Tujuan penelitian adalah mengevaluasi konsentrasi dan sebaran akumulasi Pb, Hg, Cd serta efeknya dalam jaringan organ tubuh ikan.

METODE PENELITIAN

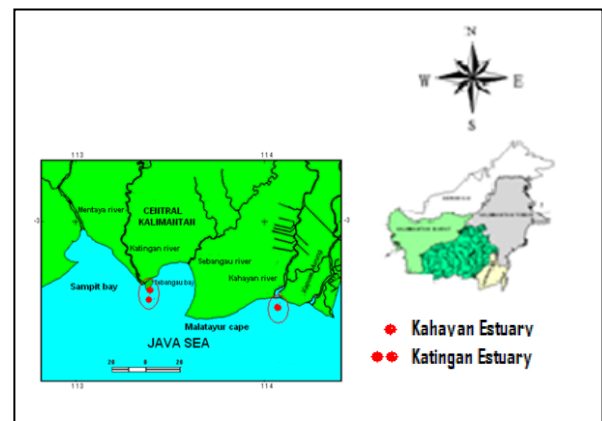
Lokasi penelitian di muara Sungai Kahayan dan Katingan Kalimantan Tengah (Indonesia) terletak di antara 114° 08' 33'' BT dan 03° 33' 32'' LS, 114° 07' 31'' BT dan 03° 35' 32'' LS; Lokasi di muara Sungai Katingan terletak di antara 113° 42' 45'' BT dan 03° 26' 32'' LS, 113° 40' 06'' BT dan 03° 28' 04'' LS (Gambar 1). Pengambilan sampel ikan dilakukan bulan Juni-Agustus 2018. Organ tubuh ikan yang diambil untuk mendeteksi Pb, Hg dan Cd adalah hati, ginjal ikan dilakukan 4 kali ulangan (*ekor ikan*) per bulan pada masing-masing wilayah muara sungai. Organ tubuh contoh ikan diambil dalam kondisi masih segar. Setiap contoh organ tubuh ikan dibagi dua bagian. Potongan bagian contoh organ pertama digunakan untuk mendeteksi konsentrasi Pb, Hg dan Cd, sedangkan bagian contoh kedua digunakan untuk mendeteksi sebaran akumulasi Pb, Hg dan Cd secara histologi. Contoh organ tubuh ikan untuk histologi difiksasi dengan formalin 10% (PA), sedangkan contoh organ tubuh untuk deteksi logam berat tersebut disimpan dalam kotak pendingin dengan es batu

pada suhu 4°C dan di laboratorium disimpan dalam freezer pada suhu -5°C (Fitzgerald dan Lyons, 1975).

Pengekstrakan Pb dan Cd dalam jaringan tubuh ikan dengan prosedur sebagai berikut: contoh jaringan ditimbang 2 gram dan dimasukkan dalam beker teplon dan dilarutkan dengan 1,5 ml HClO₃ dan 3,5 ml HNO₃ dan selanjutnya ditutup. Diinkubasi selama 24 jam. Selanjutnya dipanaskan dalam waterbath pada suhu 60-70°C selama 2-3 jam dan setelah itu dinginkan. Ditambah 1,0 ml HNO₃ pekat dan aduk, ditambah 9 ml aquadest selanjutnya dipindahkan dalam labo ukur hingga larutan 25 ml. Kalibrasi Spektrofotometer dilakukan dengan masing-masing larutan standard hingga grafik standard linier. Konsentrasi Cd dan Pb pada larutan sampel segera dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (Shimadzu AA 7000). Pengekstrakan Hg pada jaringan hati dan ginjal ikan sebagai berikut: sampel ditimbang dengan berat 5 gram dan dimasukkan dalam botol BOD, dimasukkan 10 ml HNO₃ pekat dan 30 ml H₂SO₄ pekat. Botol ditutup dan diinkubasi selama 24 jam, selanjutnya panaskan selama 2 jam dalam waterbath pada suhu 60°C, dinginkan pada suhu 40°C dan dimasukkan dalam tabung reduksi dan dinginkan dalam air yang diberi aerator, dituangkan 5 ml larutan SnCl₂. Segera ukur konsentrasi Hg menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS).

Preparasi contoh jaringan hati, ginjal ikan difiksasi menggunakan formalin 10% selama 24 hari. Sampel dihidrasi dengan xylul; ethyl alkohol 70%, 80%, 90%, 95% dan ethyl alkohol absolute masing-masing selama 12 jam. Sampel organ tubuh ikan yang sudah dihidrasi direndam dalam parafin panas selama 40 menit dan selanjutnya diblok dengan parafin. Blok parafin dipotong menggunakan mikrotome dengan ketebalan 5 µm. Hasil potongan blok parafin dimasukkan dalam air panas pada suhu 30°C dan ditempel pada slides. Kemudian dihidrasi lagi dengan xylene, ethanol seperti di atas dan slides contoh jaringan organ tubuh ikan tersebut direndam selama 1-2 jam dalam larutan pewarnaan Natrium Rhodizonat (C₆Na₂O₆). Cara pembuatan larutan: ditimbang Natrium Rhodizonat (C₆Na₂O₆) 0.2 gram dan dicampur dengan aquadest 99 ml dan asam asetat glacial 1 ml. Jaringan sudah menempel pada slides dibersihkan dengan aquadest bebas ion logam dan didehidrasi dengan cara dicelup 2-3 kali

dalam ethyl alkohol 95%, ethanol absolute dan xylene. Irisan sampel jaringan hati, ginjal pada slides diteteskan entalan 1-2 kali dan ditutup dengan cover glass. Setelah entelan kering, contoh jaringan diamati dengan mikroskop, difoto dan dianalisis. Cara mendeteksi sebaran akumulasi logam berat: warna merah muda, merah tua, warna coklat menunjukkan jaringan ikan mengakumulasi Pb; warna hitam menunjukkan jaringan ikan mengandung Hg dan Cd (Kiernan, 1990).



Gambar 1 Lokasi penelitian Pb, Cd, Hg di Muara Sungai Kahayan dan Katingan, Kalimantan Tengah

Pewarnaan slides yang sudah dihidrasi direndam dalam larutan Hematoxylin-Eosin (HE) selama 3-4 detik, dicuci dengan aquadest dan dengan cara dicelup 2 kali dalam ethyl alkohol 95%, ethanol absolute dan xylene. Contoh jaringan pada slides diteteskan entalan 1-2 kali dan ditutup dengan cover glass dan diamati dengan mikroskop, difoto dan dianalisis.

Data kandungan Pb, Hg dan Cd dalam hati, ginjal dan insang ikan dianalisis menggunakan statistik dan uji t pada taraf P<0.05 menggunakan statistik minitab versi 15 for window. Sebaran akumulasi logam berat serta pengaruhnya terhadap jaringan organ hati, ginjal dianalisis secara deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Pb, Cd, Hg dalam Hati dan Ginjal

Konsentrasi Pb, Cd dan Hg dalam lingkungan organ tubuh ikan Sembilang di wilayah muara Sungai Kahayan dan Katingan berbeda signifikan secara statistika (t-test)

antara Pb, Cd, Hg dalam hati, ginjal. Sebaran konsentrasi total logam dalam hati ikan pada Sungai Kahayan dengan urutan Pb > Cd > Hg; konsentrasi total Pb dalam ginjal > Cd > Hg; Konsentrasi total Pb dalam ginjal ikan > hati; konsentrasi Hg dan Cd dalam ginjal tidak beda nyata jika dibandingkan dengan di hati pada (p 0.05) (Tabel 1). Sebaran konsentrasi total logam berat dalam hati ikan di wilayah muara Sungai Katingan dengan urutan Pb > Cd ≥ Hg; konsentrasi total Pb dalam ginjal ikan > Hg > Cd pada p<0.05(Tabel 1). Nevado *et al.* (2012) ginjal mengakumulasi Hg lebih tinggi dibandingkan hati. Akumulasi Pb dan Cd berpengaruh terhadap fisiologis ikan (Mhadhbi *et al.*, 2012). Nevado *et al.* (2012) ginjal lebih tinggi dan berkaitan erat dengan yang terkandung di dalam hati. Kandungan Pb, Hg dan Cd dalam organ tubuh ikan berkaitan erat dengan yang terkandung di dalam air (Harteman *et al.*, 2008). Kandungan Pb, Hg dan Cd dalam organ tubuh ikan saling berkaitan (liang *et al.*, 20012). Ginjal ikan mengandung Pb dan Cd > hati > Otot (Orlowski *et al.* 2007), sedangkan Menurut Liang *et al.* (2012), hati mengakumulasi Cd paling tinggi yang diikuti ginjal. Hati ikan mengandung Pb dan Cd > ginjal (Mhadhbi *et al.*, 2012). Konovalov (1994), Cd dan Pb terikat dengan protein dalam sel-sel jaringan hati dan ginjal.

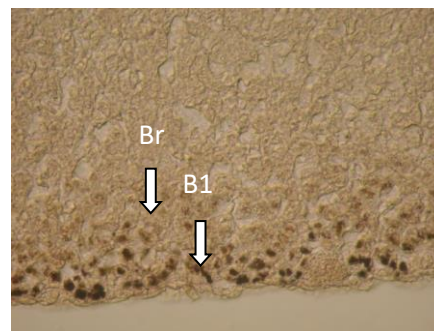
Tabel 1. Konsentrasi logam berat dalam Hati dan Ginjal Ikan Sembilang (*Plotosus sp*) di Wilayah Muara Sungai Kahayan dan Katingan, Kalimantan Tengah

Muara	N	Hati			Ginjal		
		Pb	Cd	Hg	Pb	Cd	Hg
Sungai Kahayan	12	0.281 ± 1.353	0.001 ± 0.017	0.006 ± 0.015	0.568 ± 2.111	0.003 ± 0.018	0.001 ± 0.015
Sungai Katingan	12	0.193 ± 1.147	0.001 ± 0.014	0.002 ± 0.016	0.062 ± 1.203	0.004 ± 0.015	0.003 ± 0.015

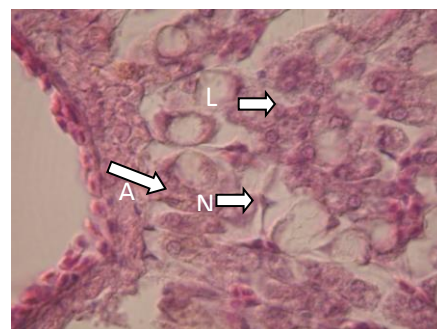
Sebaran akumulasi Pb, Cd, Hg dalam Jaringan Histologi Hati dan Ginjal.

Jaringan sel-sel hati, ginjal ikan Sembilang yang hidup di lingkungan muara Sungai Kahayan dan Katingan mengakumulasi Pb secara acak (random) dan bergerombol (agregat). Histologi sel-sel jaringan hati dan ginjal mengakumulasi Hg dan Cd acak. Bioakumulasi logam berat terjadi pada jaringan tubuh hewan air (Adjei-Boateng *et al.*, 2010). Sebaran akumulasi Pb dalam jaringan tubuh ikan terlihat dengan jelas dan lebih dominan dibandingkan Hg dan Cd (Gambar 2, 4).

Sel-sel jaringan hati mengakumulasi Pb dalam jaringan hati (hepar) kebanyakan bergerombol dibandingkan acak (Gambar 2-Br), sedangkan Hg dan Cd tersebar acak dalam jaringan sel-sel hepar (Gambar 2-B1). Hg dan Cd dapat membentuk kompleks organometals dengan Pb pada sel-sel jaringan permukaan hepar dengan warna coklat kehitaman. Kompleks organometals (Pb, Hg dan Cd) dalam sel-sel jaringan hepar menyebabkan nekrosis, lisis dan atrophy (Gambar 3-N, 3-L dan 3-A). Lisis dan atrophy adalah nekrosis pada sel-sel hepar. Nekrosis, Lisis, atrophy merusak seluruh jaringan dalam hepar ikan. Bekas nekrosis pada sel-sel hepar tidak terjadi pembentukan jaringan ikat dan tidak ada akumulasi logam berat tersebut.



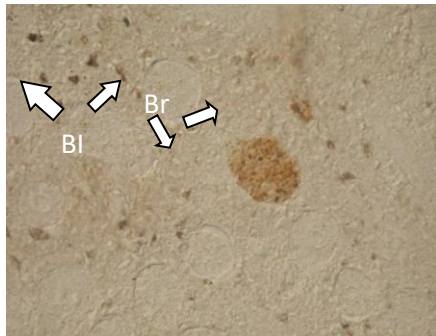
Gambar 2. Sebaran Akumulasi Pb dalam Jaringan Hati (Br) warna coklat; (B1) Hg dan Cd warna hitam. Na-Rhodizonate, x 20



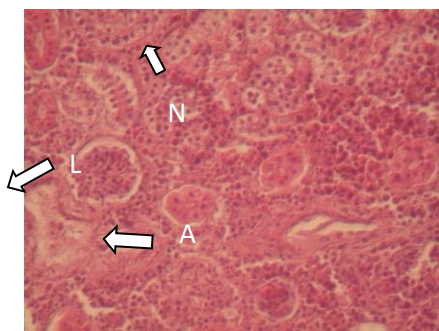
Gambar 3. Efek Akumulasi Pb, Hg dan Cd pada jaringan Hati: (N) Necrosis, (L) Lisis, (A) Atrophy, HE, 40

Sebaran akumulasi Pb dalam jaringan ginjal kebanyakan bergerombol dibandingkan acak (Gambar 3Br), sedangkan Hg dan Cd dalam ginjal tersebar acak di permukaan jaringan ginjal (Gambar 3B1), sedangkan sebaran di dalam jaringan proksimal tubulus dan glumerulus

tersebar acak. Hg dan Cd dapat membentuk kompleks organometals dengan Pb pada jaringan ginjal dan proksimal tubulus dan glomerulus dengan warna jaringan coklat kehitaman. Akumulasi Pb, Hg dan Cd dalam jaringan ginjal dan tubulus dan glomerulus menyebabkan nekrosis, lisis dan atrophy (Gambar 5-N, 5-L dan 5-A). Lisis dan atrophy merupakan gejala awal nekrosis pada sel jaringan ginjal ikan.



Gambar 4. Sebaran akumulasi (Br) Pb dalam Ginjal (warna kecoklatan); (Bl) Hg dan Cd (warna hitam), Na-Rhodizonate, x 20



Gambar 5. Efek akumulasi Pb, Hg dan Cd dalam ginjal, (N) Necrosis, (L) Lysis, (A) Atrophy, HE, x 20

Liang *et al.* (2012), mengemukakan bahwa Cd terikat pada sel jaringan hati, ginjal ikan yang sangat spesifik. Penelitian menunjukkan bahwa seluruh slides jaringan hati ikan mengandung Pb, Cd dan Hg. Akumulasi Pb, Hg dan Cd yang tersebar bergerombol dan acak. Hal ini dapat mengganggu kegiatan enzim alkalin phosphatase, acid phosphatase, xanthine oxidase, katalase, RNAase, aspartate aminotrans, glucose-6-PC>4 dehidrogenase, alanin aminotransferase, lactic dehydrogenase, Na/K-ATPase, Mg-ATPase, delta aminolevulinic acid dehydrase yang berperan

dalam metabolisme (Heath, 1987; Rajamanickam dan Muthuswamy, 2008). Terganggunya kegiatan enzim dalam jaringan organ tubuh ikan dapat menyebabkan kematian sel-sel hepatosid dan fungsi hati dalam penyimpanan glukosa, sintesis protein, produksi kolesterol, empedu dan detoksifikasi terganggu. Menurut Vinodhini dan Narayanan (2009), akumulasi logam berat pada jaringan hati, ginjal, insang berpotensi menyebabkan edema, nekrosis dan lesi/luka. Hal demikian berpotensi menyebabkan fungsi hati terganggu dan kematian ikan. Akumulasi Pb, Cd dan Hg dapat mengganggu fungsi glomerulus dan tubulus dalam menyaring dan mengekskresi sel-sel darah. Meningkatnya konsentrasi Hg, Cd dan Pb dalam ginjal ikan berkaitan dengan kondisi perairan yang mengandung Pb, Cd dan Hg tinggi dalam air (Harteman *et al.*, 2008). Akumulasi logam tersebut bersifat toksik pada sel jaringan ginjal dan hati (Nostbakken *et al.*, 2012). Kondisi demikian berpengaruh terhadap fungsi sel jaringan organ ginjal dan hati ikan.

KESIMPULAN

Hati dan ginjal di lingkungan muara Sungai Kahayan dan Katingan mengandung Pb lebih tinggi dibandingkan Cd maupun Hg. Kandungan Hg dalam hati dan ginjal cenderung lebih rendah dibandingkan Cd. Kandungan Hg dan Cd di dalam hati dan ginjal ikan di wilayah kedua tidak jauh berbeda. Sel-sel jaringan hati dan ginjal mengakumulasi Pb secara acak dan bergerombol. Sedangkan sel-sel jaringan hati dan ginjal mengakumulasi Cd dan Hg secara acak. Efek sel-sel jaringan hati dan ginjal menyebabkan nekrosis, lisis dan atropi. Sel-sel jaringan hati dan ginjal dapat membentuk kompleks Pb atau Hg dan Cd dan dapat mematikan sel-sel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya banyak dibantu oleh Bapak Salundik dan Bapak-bapak yang tidak dapat disebutkan di sini selama penangkapan dan pengambilan contoh organ tubuh ikan di muara Sungai Kahayan dan Katingan, di Kalimantan Tengah. Saya sangat berterima kasih atas bantuan Bapak ketika berada di wilayah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Akin, H.K., and Unlu, E. 2007. Heavy Metal Concentrations in Water, Sediment, Fish and Benthic Organism from Tigris River, Turkey. *J. Environ. Monit. Assess.* 131, 323-337.
- Adjei-Boateng, D., Obirikorang, K., and Amisah, S. 2010. Bioaccumulation of Heavy Metals in the Tissue of the Clam *Galatea paradoxa* and Sediments from the Volta Estuary, Ghana. *Int. J. Environ. Res.* Vol. 4 (3): 533-540.
- Awalina, dan Hartoto, D.I. 2000. Metals Bioconcentration of Freshwater Fishes in Central Kalimantan as an Evaluation Criteria for Management of Inland water Fishery Reserve. Jakarta. *J. Il. Ber. Biol.* Vol. 5 (3): 303-311.
- Badora, A. 2012. Influence of Zeolites, Humic Acids, and Selenates (VI) on Lead and Cadmium Immobilization and Selected Soil Properties. *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 21 (4): 813-820.
- Bussinow, M., Sarapatka, B., Dlapa, P. 2012. Chemical Degradation of Forests Soil as a Result Polymetallic or Mining Activities. *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 21 (6): 1551-1561.
- Cowan, J.A. 1993. *Inorganic Biochemistry an Introduction*. New York. VCH Publ. 349 p.
- Fitzgerald, W.F., and Lyons WB. 1975. Mercury Concentration in Open Ocean Waters: Sampling Procedure. *J. Limnol. Oceanogr.* Vol. 20 (3): 468-471.
- Global Mercury Project. 2005. Result of Environmental Assessment of Mercury (Hg) Contamination in Kalimantan. Makalah Seminar. 10 p.
- Harteman, E., Soedharma, D., Winarto, A., Sanusi, H.S. 2008. Deteksi Logam Berat pada Perairan, Sedimen dan Tulang Sirip Keras Ikan Badukang (*Arius caelatus* dan *A. maculatus*) di Muara Sungai Kahayan dan Katingan. *J. Berita Biologi.* Vol. 9 (3): 275-283.
- Harteman, E., and Aunurafik. 2012. Deteksi Kandungan Logam Berat pada Organ Tubuh Ikan Herbivora dan Karnivora yang dijual di Pasar Induk Kota Palangka Raya. Laporan Hasil Penelitian. 20 hal (Tidak dipublikasi).
- Herman, D.Z. 2006. Tinjauan Terhadap Tailing Mengandung Unsur Pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) dari Sisa Pengolahan Biji Logam. *J. Geol. Indonesia* . Vol. 1 (1): 31-36.
- Heath, A.G. 1987. *Water Pollution and Fish Physiology*. Boston. CRC. 245 p.
- Jumei, L., Wantong, S., Zhen, X., Runlian, T., Pan, N., Yu, F., Weishou, S. 2023. Risks to Human health of Exposure to Heavy Metals Through Wheat Consumption Near Tailings Dam in North China. *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 32(4), 3195-3207.
- Kiernan, J.A. 1990. *Histological & Histochemical Methods. Theory and Practice* 2nd Ed.. Oxford Pergamon. 433 p.
- Kelly, E.R., Schindler, D.W., Louis VLS., Donald, D.B., and Vladicka, K.E. 2006. Forest Fires Increase Accumulation by Fishes via Food Web Restructuring and Increased Mercury inputs. *J. PNAS.* Vol. 103 (51):19380-19385.
- Kim, S.G., Jee, J.H., Kang, J.C. 2004. Cadmium Accumulation and Elimination in Tissue of Juvenil Olive flounder, *Paralichthys olivaceus* after Sub-Chronic cadmium Exposure. *J. Environ. Pol.* Vol. 6: 117-123.
- Konovalov, Y.D. 1994. A Review of Binding of Cadmium and Mercury in Fish by Protein and Low-Molecular-Weight Thiols. *J. Hydrobio.* Vol. 30 (1): 47-56.
- Kutlu, B. 2023. Contamination and Ecological Risk Assessment of Heavy metal Surface Sediments of the Munzur Stream Turkey. *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 32(1), 587-597.
- Liang, C., Wei, H., Xiujuan, S., Zhenjiang, Y., and Shuozeng, D. 2012. Tissue-Specific Accumulations of Cadmium and its Effects on Antioxidative Response in Japanese Flounder Juveniles. *J. Environ. Toxicol. Pharmacol.* 33, 16-25.
- Macias, C.G., Schifter, I., Cota, D.B.L., Rodriguez, L.M., and Vazquez, S.H. 2006. Distribution, Enrichment and Accumulation of Heavy Metals in Coastal Sediments of Salina Cruz Bay, Mexico. *J. Environ. Monit. Assess.* 118: 211-230.
- Maqbool, F., Bhatti, Z., Malik, A.H., Pervez, A., and Mahmood, Q. 2011. Effect of Landfill Leachate on the Stream water

- Quality. *Int. J. Environ. Res.* Vol. 5 (2): 491-500.
- Mhadhbi, L., Palanca, A., Gharred, T., and Bounmaiza, M. 2012. Bioaccumulation of Metals in Tissue of *Solea vulgaris* from the Outer Coast and Ria de Vigo, NE Atlanti (Spain). *Int. J. Enviro. Res.* Vol. 6 (1):19-24.
- Nevado, J.J.B., Martin-Doimeadios, R.C.R., Mateo, R. 2012. Mercury Exposure and Mechanism of Response in Large Game Using the Almaden Mercury Mining Area (Spain) as a Case Study. *J. Enviro. Res.* Vol. 112: 58-66.
- Nostbakken, O.J., Goksoyr, A., Martin, S.A.M., Cash, P., and Torstensen, B.E. 2012. Marine n-3 Patty Acids Alter the Proteiomic Response to Methylmercury in Atlantic Salmon Kidney (ASK) Cell. *J. Aquatic Toxycol.* Vol. 106(10): 65-75.
- Orlowski, G., Polechonski, R., Dibicki, W., and Zawada, Z. 2007. Heavy Metal Concentration in the Tissues of the Black-Headed Gull *Larus ridibundus* L. Nesting in the Dam Reservoir in South-Western Poland. *Pol. J. Ecol. Vo.55* (4): 783-793.
- Qygaard, J.K, and Gjengedal, E. 2009. Uranium in Municipal Solid Waste Landfill Leachate. *Int. J. Environ. Res.* Vol.3 (1): 61-68.
- Rajamanickam, V.,and Muthuswamy, N. 2009. Heavy Metal Induced Histopathological Alteration in Selected Organs of the *Cyprinus carpio* L (Common Carp. *Mj. Int. J. Environ. Res.* Vol.3(1):95-100.
- Shan-e, H.S., Jian,G., Xiaotao, S., Senfan, K., Yinghai, L., Caihong,H., Zwain, H.M., Jiahui, G., Zhu, C., Ao,L.,Liu, S. 2023. Climate Change Critique on Dams and Anthropogenic Impact to Mediterranean Mountains for Freshwater Ecosystem a Review. *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 32(4), 2981-2992.
- Sposito, G. 2008. *The Chemistry of Soil.* 2ndOxford Univ. Press. 329 p
- Vinodhini, R., and Narayanan, M. 2009. Heavy Metal Induced Histopathological Alteration in Selected Organs of the *Cyprinus catpio* L (common Carp). *Int. J. Environ. Res.* Vol.3(1): 95-100.
- Watras, C.J. 1992. Mercury and Methylmercury in Individual Zooplankton. *J. Limnol. Ocea.*Vol. 37 (6): 1313-1318.