

JURNAL

KANDUNGAN LOGAM BERAT Pb DAN Cd PADA IKAN GURAME (*Osphronemus gouramy*) DAN TOMAN (*Channa micropeltes*) DI WADUK PLTA KOTO PANJANG, PROVINSI RIAU

OLEH

**SUHAILI AKBAR
1304112488**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN KELAUTAN
UNIVERSITAS RIAU
PEKANBARU
2020**

**Pb AND Cd CONTENT IN (*Osphronemus gouramy* and *Channa micropeltes*)
FROM THE KOTO PANJANG DAM, RIAU PROVINSI**

Suhaili Akbar¹, Budijono² dan M. Hasbi²

Faculty of Fisheries and Marine, University of Riau

¹Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Kelautan,
Universitas Riau

²Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Kelautan,
Universitas Riau

Corresponding author: akbar.sadgcsa9@gmail.com

ABSTRACT

Osphronemus gouramy and *Channa micropeltes* inhabit the the Koto Panjang Dam, Riau. The presence of anthropogenic activities may produce heavy metal that enter the water and thus accumulate in the organisms living in that area. A study aims to understand the heavy metal content in gill, muscle and kidney of *O. gouramy* and *C. micropeltes* living in that dam, as well as in the water and in the sediment has been conducted in April 2019. Samplings were conducted 2 times, once/ 2 weeks. Results shown that the heavy metal content in *O. gouramy* were as follows: Pb 0.0873 mg/kg and Cd 0.0426 mg/kg (gill), Pb 0.0684 mg/kg and Cd 0.0394 mg/kg (kidney), Pb 0.0376 mg/kg and Cd 0.0219 mg/kg (muscle). Water quality parameters were as follows: pH 6-6.7, temperature 28-33°C, DO 5.42-7.14, brightness 1.5-2.5 m and depth 22-55 m. Based on data obtained, it can be concluded that the heavy metals content in fish, in the water and sediment were relatively low.

Key words: Koto Panjang Reservoir, heavy metal, goramy fish

**KANDUNGAN LOGAM BERAT Pb DAN Cd PADA IKAN GURAME
(*Osphronemus gouramy*) DAN TOMAN (*Channamicropeltes*) DI WADUK PLTA
KOTO PANJANG, PROVINSI RIAU**

Suhaili Akbar¹, Budijono² dan M. Hasbi²

Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Riau

¹Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Kelautan,
Universitas Riau

²Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Kelautan,
Universitas Riau

Email: akbar.sadgcsa9@gmail.com

ABSTRAK

Ikan gurame (*Osphronemus gouramy*) dan toman (*Channa micropeltes*) yang ada di Waduk Koto Panjang, Provinsi Riau. Adanya kegiatan antropogenik dapat menghasilkan logam berat yang memasuki air dan dengan demikian terakumulasi dalam organisme yang hidup di daerah itu. Suatu penelitian bertujuan untuk memahami kandungan logam berat pada insang, otot dan ginjal ikan gurame dan toman. Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Oktober 2019. Sampling dilakukan dua kali pengulangan dalam interval waktu dua minggu. Hasil menunjukkan bahwa kandungan logam berat pada ikan gurame (*Osphronemus gouramy*) adalah sebagai berikut: Pb 0,0873 mg/kg dan Cd 0,0426 mg/kg, Pb 0,0684 mg/kg dan Cd 0,0394 mg/kg, Pb 0,0376 mg/kg dan Cd 0,0219 mg/kg (otot). Parameter kualitas air adalah sebagai berikut: pH 6-6,7, suhu 28-33°C do5,42-7,14, kecerahan 1.5 m dan kedalaman 22-55 m. Berdasarkan data yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa kandungan logam berat dalam ikan, dalam organ ikan relatif rendah.

Kata kunci: Waduk PLTA Koto Panjang, logam berat, ikan gurame dan toman

PENDAHULUAN

Waduk PLTA Koto Panjang terdapat di Provinsi Riau yang merupakan hasil bendungan beberapa sungai dengan luas genangan sekitar 12.400 ha dan mendapat pasokan air dari Sungai Kampar Kanan, Kapau, Tiwi, Takus, Gulamo, Mahat, Osang, Cunding, Arau Kecil, dan Arau Besar (Nastiti *et al.*, 2006). Waduk PLTA Koto Panjang memiliki banyak fungsi diantaranya sebagai pembangkit tenaga listrik, lokasi perikanan budidaya, pertanian, perkebunan, dan pemukiman. Beragamnya fungsi dari waduk ini telah menyebabkan penurunan kualitas perairan waduk (Tafangenyasa & Dzinomwa, 2005). Menurut Azhar *et al.* (2010) sumber kontaminan Pb dari buatan manusia adalah bensin beraditif timbal untuk bahan bakar kendaraan bermotor. Keberadaan zat pencemar dalam perairan akan mempengaruhi makhluk hidup yang ada didalamnya. Logam berat menjadi salah satu polutan anorganik yang diperkirakan terdapat diperairan Waduk PLTA Koto Panjang. Dari hasil monitoring BLH Provinsi Riau (2014) pada titik pantau hulu Sungai Kampar di Desa Siberuang memiliki kandungan Pb <0,024 mg/L, Cd <0,001 mg/L, Cu <0.008 mg/L.

Kekuatiran kondisi diatas telah terjadi di Waduk Saguling pada tahun 2003, dimana kandungan logam berat mencapai Hg 0.236 mg/L diatas baku mutu sebesar 0.002 mg/L yang berasal dari pakan ikan dan industri plastik. Hal serupa juga terjadi di Waduk Cirata yang menemukan 4 jenis logam berat dilokasi keramba jaring apung ikanmas dan nila, yaitu Pb 0,6 mg/m³, Cr 0,1 mg/m³ dan Hg 179,13 µg/m³ (SLHI, 2010) dan di lokasi yang sama, diperoleh Pb 0,036 mg/L, Cr 0,045 mg/L, Hg 0,011 mg/L dan 0,032 mg/L (Riani, 2014).

Ikan yang siklus hidupnya lebih lama dibanding organisme akuatik lainnya dan menempati peringkat teratas dalam rantai makanan akuatik (Farkas *et al.* dalam Aksari, 2016) dapat menjadi salah satu indikator pencemaran lingkungan dari logam berat.

Pada organ insang, penyerapan logam berat biasanya akan lebih besar karena insang berhubungan langsung dengan perairan dalam proses respirasi (Siregar, 2010). Demikian juga pada bagian organ dalam seperti seperti organ ginjal akan tercemar logam berat yang masuk biasanya akan lebih besar, walaupun persentasenya relatif kecil. Sedangkan pada otot ikan konsentrasi logam berat lebih kecil dibandingkan organ-organ lain. Namun ini akan menjadi berbahaya karena massa otot dari tubuh ikan lebih banyak dibandingkan organ-organ lain dan otot menjadi target untuk dikonsumsi oleh manusia sehingga membahayakan kesehatan manusia.

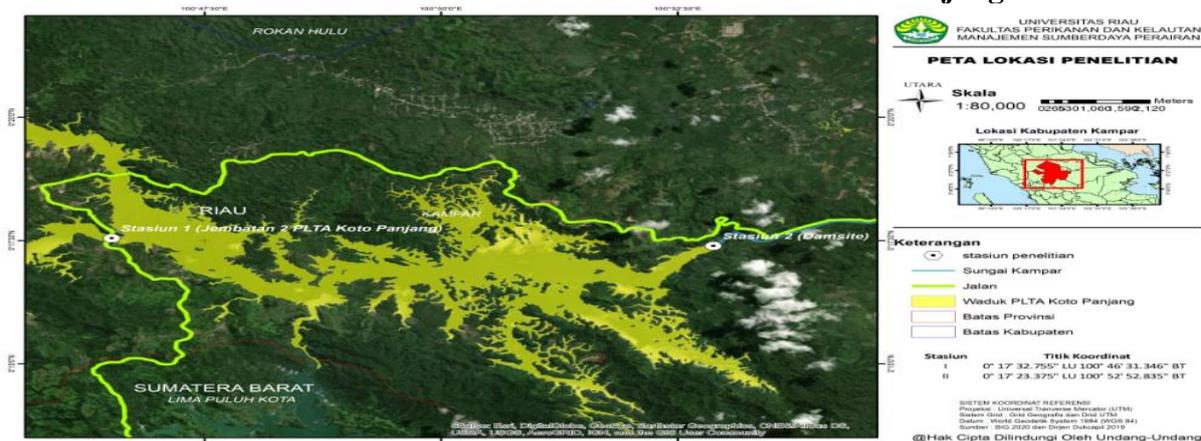
Sehubungan dengan hal ini, ikan gurame (*Osphronemus gouramy*) dan toman (*Channa micropeltes*) merupakan

ikan yang dibudidaya dan ikan yang hidup secara liar di sekitaran KJA waduk ini menjadi rentan terpapar logam berat. Minimnya informasi tentang kandungan logam berat di Waduk PLTA Koto Panjang dan menyadari pentingnya kesehatan masyarakat yang mengkonsumsi ikan gurame dan toman tersebut, maka dari itu penelitian tentang kandungan logam berat Pb dan Cd pada ikan gurame dan toman di Waduk PLTA Koto Panjang penting untuk dilakukan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2019 di Waduk PLTA Koto Panjang Kabupaten Kampar Provinsi Riau. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode survei. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak dua kali pengulangan dengan interval waktu pengambilan sampel selama dua minggu. Lokasi penelitian ini dibagi menjadi dua stasiun. Stasiun I berlokasi di jembatan dua (Sungai Gulamo) dan stasiun II berlokasi di *dam site* (Gambar I).

Gambar 1. Peta Penelitian di Waduk PLTA Koto Panjang



Bahan yang digunakan terdiri dari organ ikan (*O. gourami* dan *C. micropeltes*) diperoleh dari nelayan dan pembudidaya KJA, aquabides, HNO_3 , H_2O_2 , MnSO_4 , NaOH-KI , H_2SO_4 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$, Amilum, Na_2CO_3 0,0454 N, larutan phenolphthalein, larutan standar logam berat (Pb dan Cd). Peralatan laboratorium lain diantaranya adalah erlenmeyer (100 ml), gelas ukur (50 ml), pipet tetes, beuret, botol sampel air, botol BOD, timbangan analitik, penggaris, spatula, oven, tabung reaksi, *beaker glass*, *hot plate*, corong kaca, kertas whatman no. 41, lampu katoda, mesin kompresor dan Atomic Absorption Spectrophotometer (Shimadzu AA- 7000 tipe flame). Peralatan lapangan adalah pH meter (Hanna HI98107), termometer alkohol dan *secchi disk*.

Parameter yang diamati meliputi data primer dan sekunder. Data primer didapat dari hasil penelitian logam berat timbal (Pb) dan cadmium (Cd) pada organ insang, ginjal dan otot ikan gurame (*Ospronemus gouramy*) dan toman (*Channa micropeltes*), serta data kualitas air. Sampel air diambil dari titik berbeda menggunakan Van Dron *water sampler* dan dikompositkan untuk keperluan analisis DO, CO_2 , pH, suhu, kedalaman dan kecerahan di lapisan permukaan. Analisis DO dan CO_2 merujuk APHA (1989).

Total sampel masing-masing jenis ikan sebanyak 10 ekor gurame (180– 290 mm dan 92 – 398g) dan toman (250 – 330 mm dan 225 - 438g) yang diambil secara *simple random sampling* dari nelayan dan

pembudidaya ikan,, kemudian didinginkan dalam *ice box* dan dibawa ke laboratorium. Organ (insang, ginjal dan otot) diambil dan dikumpulkan dari tiap individu jenis ikan dan dikompositkan berdasarkan jenis ikan, kemudian dimasukkan kedalam botol sampel yang telah diasamkan. Analisis kandungan logam berat dalam masing-masing organ ikan dimulai dengan penghancuran (destruksi asam), penyaringan, dan membuat larutan standar. Larutan standar untuk logam berat Pb dan Cd diperoleh dari PbNO_3 dan CdNO_3 , kemudian larutan diencerkan menjadi 4 konsentrasi (0,00; 0,05; 0,1; dan 1 ppm dan 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 ppm) dan diperiksa AAS (Shimadzu AA- 7000 tipe flame) dengan

panjang gelombang Pb (217,0 nm) dan Cd (228,8 nm). Perhitungan kadar logam berat sampel dilakukan menurut rumus Razak (1987):

$$K = \frac{D \times B}{A}$$

Dimana:

K : Konsentrasi logam berat (mg/kg)

D : Kandungannya dihitung berdasarkan nilai absorbansi (mg/L)

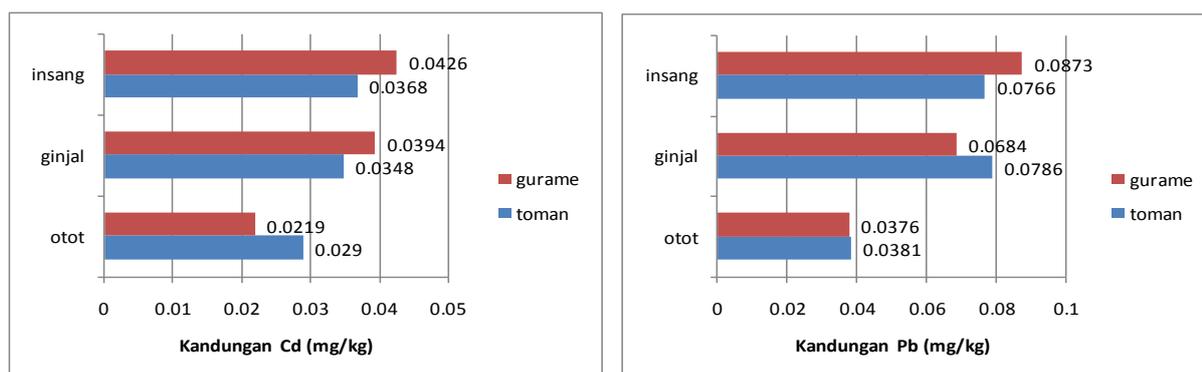
B : Volume sampel (L)

A : Berat sampel (g)

Data hasil dari kandungan logam berat yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel dan gambar, kemudian dianalisis secara deskriptif dan komparatif

dan dibahas dengan mengacu pada baku mutu air berdasarkan Peraturan Pemerintah RI Nomor 82 Tahun 2001, dimana akan dilihat perbandingan konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada masing-masing organ Insang, ginjal dan otot ikan gurame dan toman.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Kandungan Logam Berat Pb dan Cd dalam Organ Ikan

Dilihat dari Gambar 2 menunjukkan bahwa pada semua organ ikan yang diamati lebih banyak terkandung logam Pb dari pada logam Cd. Kandungan logam Pb tertinggi terdapat pada organ insang ikan gurame (0,0873 mg/kg) dan terendah pada organ otot ikan gurame 0,0376 mg/kg. Kandungan logam Cd tertinggi terdapat pada organ insang ikan gurame (0,0426 mg/kg) dan terendah pada organ otot ikan gurame 0,0219 mg/kg. Pola urutan Pb dan Cd yang terakumulasi dalam organ kedua ikan ini adalah insang>ginjal>otot dengan kandungannya dikategorikan rendah dari batas maksimum cemaran logam dalam pangan untuk jenis Ikanan Olah Perikanan menurut SNI 7387:2009 (Pb 0.3 mg/kg, Cd 0.5 mg/kg). Pada jenis ikan seperti *Notopterus notopterus* yang berukuran besar dari Sungai Sail ditemukan Pb dan Cd tertinggi pada insang dan otot, sebaliknya yang terendah kedua logam ini pada otot dan tulang (Budijono *et al.*, 2019).

Akumulasi logam berat yang terjadi pada ikan disebabkan adanya kontak antara ikan dengan medium perairan yang mengandung senyawa

Hasil penelitian ini menemukan adanya sejumlah kandungan logam berat Pb dan Cd dalam semua organ yang diteliti dengan jumlah yang berbeda pada kedua jenis ikan baik yang dibudidayakan maupun ikan hidup secara liar. Fluktuasi rata-rata kandungan Pb dan Cd yang ditemukan dalam tiap organ ikan ditampilkan pada Gambar 2.

toksik. Kontak berlangsung dengan adanya pemindahan zat kimia dari lingkungan air ke dalam atau permukaan tubuh ikan (Priatna *et al*, 2016). Menurut Darmono (2008), logam berat dapat terakumulasi dalam tubuh ikan melalui beberapa jalan antara lain pernafasan, saluran makanan, dan melalui kulit. Logam diabsorpsi dalam daging ikan oleh darah yang kemudian berikatan dengan protein darah lalu didistribusikan keseluruh jaringan tubuh. Dramono (2001) juga menyatakan ginjal memiliki nilai rata-rata lebih tinggi dibandingkan dengan nilai organ otot, Hal ini disebabkan ginjal berfungsi untuk filtrasi dan mengekskresikan bahan yang biasanya tidak dibutuhkan oleh tubuh termasuk bahan racun seperti logam berat yang toksik. Hal tersebut menyebabkan ginjal sering mengalami kerusakan oleh daya toksik logam.

Menurut Zainuri *et al* (2011) dan dengan penelitian Prasetyo (2017) di Sungai Donan, Cilacap kadar Cd pada ikan Belanak (*Chelon subviridis*) yaitu berkisar 0,74 – 1,08 mg/kg. Kandungan logam berat pada spesies bisa berbeda, dikarenakan adanya perbedaan sifat-sifat

biologis (jenis, dan fisiologis) masing-masing jenis biota, perbedaan fisik dan kimia serta aktivitas masing-masing lokasi.

Logam Cd merupakan logam non esensial yang keberadaannya dalam tubuh makhluk hidup dapat dikatakan tidak diharapkan. dikarenakan adanya perbedaan sifat-sifat biologis (jenis, dan fisiologis) masing-masing jenis biota, perbedaan fisik dan kimia serta aktivitas masing-masing lokasi

Siregar (2010) juga menyatakan bahwa logam berat masuk ke insang ikan bersamaan dengan air yang diserap secara difusi. Sedangkan tingginya kandungan logam berat Pb dan Cd pada ginjal, berkaitan dengan fungsi ginjal sebagai penyaring sisa metabolisme dalam tubuh. Logam Pb dan Cd yang berlebih akan dikeluarkan dari tubuhnya oleh ginjal, selama fungsi ginjal tidak mengalami gangguan akibat dari pengaruh buruk logam berat yang terakumulasi dalam tubuhnya. Masuknya kandungan logam berat Pb pada otot disebabkan adanya proses fisiologis pada tubuh ikan yaitu proses masuknya logam berat bersamaan

dengan air yang secara difusi diserap oleh insang selanjutnya disebarkan keseluruh tubuh melalui darah sehingga terjadi penimbunan logam berat pada daging. Dari hasil analisis organ seperti insang, ginjal dan daging diketahui nilai logam Pb pada daging lebih kecil dibandingkan dengan organ insang dan ginjal hal ini diduga daging memiliki massa lebih besar dan berkaitan dengan peran fisiologis ikan.

Khaled (2004) menyatakan bahwa rendahnya kandungan logam berat didalam daging ada kaitanya dengan peran fisiologi dalam metabolisme ikan. Larens dan Orians (2001) juga menyatakan bahwa daging bukan jaringan aktif dalam mengakumulasi logam berat. Daging adalah salah satu organ yang paling penting yang sering dikonsumsi oleh manusia, bila daging dikonsumsi terus menerus maka logam berat yang terdapat pada daging akan menumpuk dalam tubuh manusia dan akan menyebabkan toksik bagi tubuh. Kondisi perairan pada lokasi budidaya ikan gurame dan daerah penangkapan ikan toman di Waduk PLTA Koto Panjang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Parameter Kualitas Air

No.	Parameter	Satuan	Pengamatan		Baku Mutu Air Kelas II PP No. 82 Tahun 2001
			I	II	
1	Suhu	Celcius	30.7	31.5	Deviasi 3
2	Kecerahan	Cm	173	182	#
3	Kedalaman	M	24.35	54.67	#
4	pH	Derajat Keasaman	5.3	5.1	6 - 9
5	Oksigen terlarut (DO)	mg/L	6.5	6.2	4

Sumber : Data Primer

Ket : PP RI No. 82 Tahun 2001

Ket : # Tidak dipersyaratkan

Dari tabel diatas kualitas perairan Waduk PLTA Koto Panjang yang diperoleh kisaran pH 6,56-6,78, suhu 30,7-31,5 °C, DO 6,2-6,5, kecerahan 173-182 cm dan kedalaman 24,35-54,67 m. Kondisi perairan ini hampir serupa ditemukan di

waduk yang sama dalam penelitian lainnya dengan rata-rata suhu 28,4°C. pH 6,5, kecerahan 134 cm dan DO 3,9 mg/L (Siagian, 2018). Karakteristik kualitas perairan untuk ikan baung dan selais di Danau Oxbow Pinang Dalam, Kampar

adalah suhu berkisar 28 °C – 30 °C, pH 6,16 – 6,86 dan kedalaman 2,4 – 6,7 m, kecerahan 0,52 – 0,82 m, DO 3,8 – 5,5 mg/L dan CO₂ 8,9 – 15,2 mg/L (Lidia *et al.*, 2020) dan ikan baung di Sungai Siak Siak tercatat suhu 28,3-29,3°C, pH 5,53-5,83, DO 2,5-2,8 mg/L, kecerahan 0,24-0,36 m, kedalaman 11,5-16,8 m, kecepatan

arus 0,31-0,36 m/detik dan salinitas 2,3-3,5‰ (Anggraini *et al.*, 2018; Nasution *et al.*, 2018). Kondisi kualitas perairan tersebut masih mendukung untuk kehidupan kedua jenis ikan merujuk pH dan DO, karena pH berada pada rentang 6-9 dan nilai DO minimum hampir mendekati 4 mg/L (PP.82/2001).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kondisi perairan waduk masih mendukung untuk kegiatan budidaya ikan dan kehidupan ikan lainnya. Logam berat Pb dan Cd telah mengkontaminasi ikan gurame dan toman dengan pola urutannya adalah Pb>Cd dan terakumulasi tinggi ke

terendah dalam organ kedua jenis ikan adalah ginjal>insang>otot. Kandungan kedua logam berat ini pada otot masih di bawah ambang batas cemaran logam berat dalam pangan sehingga sangat layak untuk konsumsi.

Saran

Disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan dengan kandungan logam berat lainnya seperti Hg, Cr, Cu dan jenis ikan lainnya, untuk melihat struktur

jaringan organ pada insang, ginjal dan daging ikan gurame dan ikan toman agar dapat memberikan informasi yang lebih lengkap

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A.K., A. Sarah and A. Al-Mahaqeri. 2015. Human health risk assessment of heavy metals in fish species collected from catchment of former tin mining. *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology*, 2(4):9-21.
- Anggraini, P.N., Budijono and E. Purwanto. 2018. Concentration of Pb in gill, kidney and muscle of *Hemibagrus nemurus* (C.V) from the Siak River, Teluk Mesjid Village, Sungai Apit Regency, Riau Province, *JOM FAPERIKA*. 1-9.
- American Public Health Association (APHA). 1989. Standard Methods for The Examination of Water and Waste Water Including Bottom Sediment and Sludges. 12th (Ed.) Amer. Publ. Health Association Inc, New York.
- Badan Lingkungan Hidup Provinsi Riau. 2014. Laporan Monitoring Kualitas Air Sungai Kampar. BLH Provinsi Riau, Pekanbaru.
- Darrmono, 2001. Lingkungan hidup dan pencemaran: hubungannya dengan toksikologi senyawa logam. UI Press, Jakarta. 145 hal.
- Khaled, A. 2004. Heavy Metal Concentration in Certain Tissues of Five Commercially Important Fishes From El-Mex, Al-Exandria. Egypt. Hal 1-11.
- Lidia, S.G., Budijono dan Hasbi. M. 2020. Logam Berat di Air, Sedimen dan Ikan dari Danau Pinang Dalam, Riau. *Jurnal Sumberdaya dan Lingkungan Akuatik*, 1(1):1-8.
- Mahboob S, Al-Balawi HFA, Al-Misned F, Al-Quraishy S, Ahmad Z (2014) Tissue metal distribution

- and risk assessment for important fish species from Saudi Arabia. *Bull Environ Contam Toxicol* 92: 61-66.
- Nastiti, S. N., H. Satria, D. W. H. Tjahjo, K. Purnomo, S. Nurdawati, A. Nurfiarini, A. Suryandari, A. Warsa, Y. Sugianti, S. E Purnamaningtyas, & Mujiyanto. 2006. Rehabilitasi populasi ikan di Danau Teluk, Mahligai, Napalsisik (Jambi), dan Waduk Koto Panjang (Riau). Laporan Tahunan atau Akhir. Loka Riset Pemacuan Stok Ikan. Laporan Teknis. (tidak dipublikasi).
- Nasution, I.I.R., Budijono dan E. Purwanto. 2018. Kandungan logam berat Pb pada air, sedimen dan daging ikan juaro (*Pangasius polyuronodon* Blkr) di perairan Sungai Siak Desa Teluk Masjid Kecamatan Sungai Apit, Provinsi Riau. *JOM FAPERIKA*, 1-8
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia.2001. Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- RazakH. 1987. Effectofheavy metals ontheenvironment. *Oseana News*.6 (2):9-15.
- Siagian, M. 2010. Daya Dukung Waduk Plta Koto Panjang Kampar Provinsi Riau. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 15(1): 25-38.
- Siagian, M. 2018. Pengaruh budidaya keramba jarring apung terhadap struktur komunitas perfiton pada substrat yang berbeda di sekitar Dam Site Waduk PLTA Koto Panjang, Kampar, Riau. *Jurnal Akuatika Indonesia*, 3(1):26-35.
- Siregar, R. S. 2017. Analisa Kandungan Pencemaran Logam Berat (Pb dan Zn) pada Air Sedimen dan Siput Hisap (*cerithidea obtusa*) di Desa Tanjung Pasir Kecamatan Tanah Merah Kabupaten Indragiri Hilir Provinsi Riau. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan*.4 (2).1-13.
- Sumiarsih, E. 2014. Dampak limbah kegiatan keramba jarring apung (KJA) terhadap karakteristik biologis ikan endemic di sekitar KJA Waduk Koto Panjang Riau. Disertasi Pascasarjana Universitas Padjajaran, Bandung.
- Tafangeyasha C, T. Dzinomwa. 2005. Land use Impacts on River Water Quality in Lowveld Sand River Systems in South-East Zimbabwe. *Land Use and Water Resources Research* 5 : 3.1-3.10.