



COMPARISON OF BIOMARKERS AS MONITORING TOOLS FOR HEAVY METALS IN KAMPAR RIVER, RIAU PROVINCE, INDONESIA

PERBANDINGAN BIOMARKER SEBAGAI ALAT MONITORING LOGAM BERAT DI SUNGAI KAMPAR PROVINSI RIAU INDONESIA

Yudho Harjoyudanto^{1*}, Andri Hendrizal¹, Novreta Ersyi Darfia², Budijono¹

¹Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

²Jurusan Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima: 23 Januari 2023

Distujui: 28 Februari 2023

Keywords:

Biomarker; heavy metal; Monitoring.

ABSTRACT

In Indonesia, the study of biomarkers is still very few because not many biomarkers are understood in various inland public waters here. The research location was at the Koto Panjang Reservoir as the experimental location and the Sei Tiban Fish Seed Center as the control location. The fish tested were carp and tilapia. Sample analysis was carried out in a certified laboratory at Construction Materials Laboratory, Department of Public Works, and Genetics Laboratory, Universitas Riau. The biomarkers studied were LSI, GSI and MT, and heavy metals observed were Cd, Pb and Hg. The research method was Experimental Design. Based on the statistical test, there was no difference in the LSI value of tilapia in the treatment group and tilapia in the control group ($p = 0.187$; $p > 0.05$), while it was different from goldfish ($p = 0.0000$; $p < 0.001$). In GSI, both of tilapia and carp showed significant differences ($p = 0.0010$; $p < 0.010$) and ($p = 0.0060$; $p < 0.010$). The tilapia and carp-treated livers showed the presence of MT while not in the control fish. This indicates that MT can be used as a biological marker of heavy metal exposure compared to GSI and LSI.

1. PENDAHULUAN

Sungai Kampar yaitu ekosistem rawa banjir pada Provinsi Riau. Memiliki panjang 413 km dan menjadi bagian kawasan dari pengelolaan perikanan pada perairan umum daratan (KPP PUD) 438. Sungai ini memiliki karakteristik beraliran relatif lambat dan keruh karena dipengaruhi sifat tanah gambut (Fithra & Siregar, 2010). Di dalamnya tercatat sekitar 47 spesies ikan dari 37-97 spesies ikan di perairan Riau. Eksistensi dan keberlanjutan hidup biota di dalamnya terancam oleh kehadiran polutan berbahaya seperti logam berat toksik (Ujianti & Androva, 2020).

Di bagian hulu Sungai Kampar, tercatat konsentrasi Pb (0,017 mgL⁻¹) dan Cd (0,035 mgL⁻¹) dan telah melebihi baku air kelas II; atau Pb (<0,024 mgL⁻¹) dan Cd (<0,001 mgL⁻¹) (BLH Riau, 2014) yang cenderung meningkat, sehingga mutunya teridentifikasi tercemar ringan hingga berat sejak 2007 sampai 2016, termasuk juga terdeteksi di lokasi dam site waduk Koto Panjang, walaupun konsentrasinya masih lebih rendah di Sungai Siak dengan konsentrasi Pb 0,211-0,788 mgL⁻¹ (B. Budijono et al., 2021). Sedangkan konsentrasi Pb, Hg dan Cd yang berasal dari limpasan sisa agrokimia

* Corresponding author.

E-mail address: yudho@lecturer.unri.ac.id

(pertanian dan perkebunan), penambangan kerikil atau pasir, penggunaan produk yang terdapat logam berat, dan sumber alam. Logam berat berasal dari berbagai kegiatan seperti kegiatan antropogenik dan alami. Pencemaran logam berat di lingkungan perairan, misalnya, dihasilkan dari pelapukan geologis, pengendapan atmosfer langsung, atau hasil buangan air limbah pertanian, perkotaan, perumahan, atau kegiatan industrial, serta pabrik pengolahan air limbah (Moiseenko et al., 2018).

Dalam pengaliran air sungai ini telah dilakukan pembendungan menjadi waduk yang dikenal dengan Waduk Koto Panjang seluas 12.400 ha, yang difokuskan awalnya sebagai bahan baku energi listrik (PLTA). Seiring berjalannya waktu, fungsi lain yang berkembang yaitu budidaya ikan sistem KJA sebanyak 513 unit pada tahun 2006 terkonsentrasi di lokasi Dam Site (Hasibuan et al., 2017) atau sebesar 77% dari total petakan KJA, yang merupakan zona bahaya (Prabowo et al., 2016). Pada tahun 2012, jumlah KJA adalah 1.582 petakan dan menghasilkan produksi ikan sebanyak 1.100 ton/tahun (Mubarak, 2018). Dari berbagai hasil riset telah membuktikan bahwa kehadiran jumlah KJA ini telah menyebabkan penurunan kualitas air waduk yang disebabkan oleh pakan, baik dari sisa pakan maupun pakan yang tidak termakan oleh ikan serta hasil metabolisme seperti feses, lendir sehingga kondisi menambah input polutan bahan organik yang berada pada aliran sungai dan limpasan dari lahan daratan. Di samping polutan organik dari pakan yang utama diberikan setiap hari, juga disinyalir juga mengandung logam berat Pb, Hg dan Cd (H. M. Budijono et al., 2016).

Di lokasi dam site waduk Koto Panjang menjadi tempat bermuaranya dari berbagai polutan, termasuk logam berat ini. Dampak terdapat polutan terhadap kelangsungan hidup ikan liar dan dibudidayakan telah terjadi kasus kematian ikan ini sebagai *feedback* terhadap perubahan lingkungan perairan dinamis dan pengelolaan waduk yang tidak berkelanjutan. Sebagai ilustrasi, Ditemukannya Cd>Pb di ikan baung pada Sungai Kampar bagian hulu dan sungai bagian muara dengan konsentrasi di organ: ginjal (Cd 0,0257-0,0338 mgkg⁻¹; Pb 0,0214-0,0309 mgkg⁻¹) dan pada insang (Cd 0,274-0,276 mgkg⁻¹ serta Pb 0,0139-0,145 mgkg⁻¹) (Saputra & Marusin, 2013). Di ikan yang sama dan berbeda lokasi, Pb ditemukan lebih tinggi di insang (17,3333 mgkg⁻¹), insang (15,3148 mgkg⁻¹) dan otot (2,6758 mgkg⁻¹) di Sungai Siak (Fadhli & Hasbi, 2020) dan juga pada ikan Notopterus notopterus yang hidup di Sungai Sail (B. Budijono et al., 2021).

Pencemar logam berat ini apabila mencemari badan air sangat berbahaya karena memiliki sifat karsinogenik, toksik, biomagnifikasi serta bioakumulasi. Oleh karena itu, dalam ekosistem perairan, logam berat dianggap sebagai polutan paling terpenting, seperti Pb, Hg dan Cd, selain Hg dan berbahaya bagi kesehatan ikan ditandai dengan terakumulasi dalam jaringan. Logam-logam ini secara efektif dapat memengaruhi aktivitas vital serta reproduksi pada ikan; menurunkan sistem imun dan mengakibatkan perubahan pada patologi. Oleh karena itu, untuk memantau logam berat digunakanlah ikan sebagai bioindikator (Roy et al., 2022), karena ikan tidak dapat melepaskan diri dari efek merusak polutan dalam air (Prabha et al., 2022). Menurut Kaushik dan Seth (2022), logam berat dapat mempengaruhi kinerja dan sera mekanisme biokimia dan fisiologi ikan.

Polutan Pb, Hg dan Cd pada Sungai Kampar yaitu di PLTA Koto Panjang yang terdapat potensi besar, memerlukan penanganan serius oleh semua pemangku kepentingan (Xu et al., 2020). Sistem pencemaran air dapat menjadi tanda awal pencemaran air (Aljadhali & Alhassan, 2020). Saat ini banyak negara yang menggunakan alat deteksi dini penyebab pencemaran air yang masih sangat sedikit dilakukan di Indonesia (Santana et al., 2018). Pemakaian biomarker sebagai alat pendeteksi awal guna memantau badan air dengan kadar muatan/pencemaran logam berat yang tinggi pada tingkat molekuler, namun pada konsentrasi yang masih memenuhi standar kualitas air, penerapannya masih belum terlihat pada penanggulangan pencemaran badan air yang diakibatkan logam berat. Karena kurangnya pemahaman

tentang jenis-jenis biomarker di beberapa jalur perairan umum di Indonesia.

Biomarker (penanda biologis) dipakai sebagai alat deteksi pada logam berat di badan air, karena bisa memberikan informasi tentang intensitas asupan logam berat pada sampel, toksisitasnya, dan mekanisme yang ditimbulkannya secara biologis dalam kondisi tertentu (Prahantika et al., 2020). Biomarker dijelaskan dalam bentuk *feedback* secara biologi pada polusi yang menunjukkan tingkat konsentrasi paparan serta efek racun dari polusi tersebut (Ujianti & Androva, 2020). Biomarker yaitu bentuk dari penhujian ekotoksikologi yang memperlihatkan dampak subkronis yang terlihat di organisme. Biomarker yaitu *feedbacks* yang dilihat pada tingkat organisme, mulai dari penghitungan enzim dan xenobiotik-*metabolism* hingga *organ-index* dan keadaan umum (Said & Ashry, 2021)

Fungsi lain dari biomarker yaitu sebagai alarm awal dari paparan partikel racun; dan sebagai tampilan awal di subselular (biokimia, molekuler dan fisiologis) (De Castro & Lima, 2018) *feedback* pertama sebelum terjadi *feedback* pada organisme hidup/tingkat organisasi spektrum biologis yang lebih tinggi (Aljahdali & Alhassan, 2020). Penemuan biomarker sebagai cara untuk mendeteksi pencemaran pada tahap awal pemantauan lingkungan badan air yang tercemar logam berat yaitu kontribusi *biotechnology* kepada pemerintah pada penetapan aturan untuk pengendalian bahan pencemar dan model kelola di badan air terbuka (seperti tambak, sungai dan laut) (Centers et al., 2022).

Secara internasional, ikan yang diuji toksisitasnya yaitu *Cyprinus carpio L.*, dan ikan ini paling banyak dibudidayakan di lokasi penelitian, kecuali *Oreochromis niloticus* (Sudrajat, 2020). Spesies ikan ini diperkirakan *mefeedbacks* senyawa beracun dengan cara yang sama, dengan protein pengikat logam berat yang ditemukan pada kedua spesies ikan ini mampu mengikat logam berat untuk membentuk MT, yang bisa dipakai untuk biomarker. Pencemaran badan air dengan logam berat seperti logam Pb, Hg atau Cd. Metallothionein (MT) yaitu polipeptida yang dikodekan gen dengan ikatan sistein ganda (Cys), memiliki berat molekul ringan dan memiliki fungsi untuk peptida pengikat logam. Karena konsentrasi asam amino Cys yang tinggi, protein ini terdapat banyak gugus tiol (sulfidil, -SH); Gugus tiol ini menarik logam berat secara efisien dan sangat kuat, antara lain kadmium, merkuri, seng, dan tembaga (Parra et al., 2021). Pb, Hg dan Cd yang diambil oleh tubuh berikatan dengan protein molekul kecil yang disebut thioneins dan membentuk group kompleks protein-logam, MT, yang disintesis di hati. Metallothionein diangkut menuju ginjal mengikuti aliran darah. Dipercaya bahwa pengikatan logam berat dengan MT merupakan bentuk perlindungan dan pertahanan yang menghambat logam berat ini berpengaruh pada protein dalam metabolisme organisme (Santana et al., 2018).

Penelitian biomarker ini bertujuan untuk mencari marker biologi yang cocok untuk sarana monitor lingkungan untuk mengecek keberadaan logam berat pada badan air, meskipun pada kapasitas yang sangat minim. Pemakaian marker biologi digunakan saat memantau dan mendeteksada tidaknya logam berat di perairan (Sari & Perwira, 2019). Selain itu, biomarker dapat menyediakan informasi mengenai konsentrasi logam berat yang diserap oleh sampel individu serta gangguan dan toksisitas terhadap sistem biologis di konsentrasi tertentu. Mempelajari biomarker, limbah dapat dikelola dengan cara preventif, agar pelepasan limbah dapat dihindari pada taraf ekosistem sebab tanda peringatan dini gejala pencemaran sudah ada di tingkat sel. Pencemaran oleh karena itu sudah terasa di tingkat seluler, agar pencemaran tidak terkjadi di tingkat ekosistem (Simionov & Cristea, 2021). Biomarker yang sejauh ini telah dipakai pada biomarker yaitu:

Glutathione reduktase-enzym (GR), glutathione S-transferase-enzym (GST), katalase-enzym, GSI, LSI, EROD, hemoglobin serta hematokrit (Aljahdali & Alhassan, 2020). Biomarker yang diteliti dalam yaitu:

Metallothionein (MT), Liver somatic index dan Gonadal somatic index, sehingga dalam kajian ini

ingin mengetahui biomarker (penanda biologis) apa yang terbaik (spesifik dan sensitif, peringatan dini universal) untuk monitoring ekotoksikologi logam berat seperti Pb, Hg dan Cd di Sungai Kampar dimana kandungan logam berat dalam keadaan berada pada standar baku mutu dengan biomarker MT, GSI atau LSI?

2. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tempat yaitu Sungai Kampar tepatnya ada di lingkungan dam site Waduk Koto Panjang yang dipilih karena dianggap muara dari berbagai polutan yang mengandung logam berat yang terbawa oleh aliran sungai dari kegiatan antropogenik daratan (Hasibuan et al., 2017) dan merupakan pusat budidaya ikan air tawar sistem KJA dengan komoditi unggulan yaitu *Oreochromis niloticus* dan *Cyprinus carpio L.* sehingga menjadi lokasi yang sesuai sebagai lokasi eksperimen. Lokasi lainnya yaitu BBI Sei Tibun sebagai lokasi control yang diyakini memiliki konsentrasi logam berat di badan air yaitu 0 mg/L atau sangat lebih rendah dari lokasi budidaya di dam site Koto Panjang.

Ikan uji yang dipakai yaitu *Oreochromis niloticus* dan *Cyprinus carpio L.* yang bersumber BBI Sei Tibun. Analisis sampel logam berat dilakukan di laboratorium yang memiliki sertifikat di Provinsi Riau, yaitu: di UPT. Laboratorium Bahan Kontruksi, pada Dinas Pekerjaan Umum. Sedangkan lokasi pembedahan ikan dan destruksi sampel serta analisis MT dikerjakan di Laboratorium Genetika, FMIPA Universitas Riau.

Metode Penelitian

Metode penelitian yaitu desain eksperimen menggunakan pre-test and post-test pada group kontrol design (Said & Ashry, 2021). Dengan model ini, biomarker yang ada di ikan pada percobaan dilihat antara group kontrol (yang dipelihara menggunakan KJA pada BBI) dan group eksperimen yaitu dibandingkan ikan yang dipelihara KJA di sekitar Waduk Koto Panjang. Pb, Hg dan Cd dalam air waduk masing-masing group perlakuan sesuai dengan konsentrasi yang terkandung dalam air waduk. Pada group kontrol, estimasi nilai Pb, Hg dan Cd pada air tambak BBI Sei Tibun masing-masing yaitu 0 mg/L.

Populasi sampel pada penelitian yaitu 50 *Oreochromis niloticus* dan 50 *Cyprinus carpio L.* di BBI Sei Tibun Kampar. Populasi tiap jenis ikan di kolam BBI Sei Tibun relatif sama umur, bobot dan panjang tubuhnya (2,5 bulan, 19 g dan 8 cm).

Sebelum menentukan sampel, 3 ekor *Oreochromis niloticus* dan *Cyprinus carpio L.* dikoleksi berasal BBI Sei Tibun, Kampar kemudian dianalisis menggunakan Flame AAS Shimadzu dan HPLC guna memastikan sampel bebas logam berat seperti Pb, Hg dan Cd. Uji pendahuluan yaitu terhadap ikan berumur empat bulan yang hidup di badan air yang terpapar logam berat menunjukkan MT-Cd. Ikan *Oreochromis niloticus* dan *Cyprinus carpio L.* telah dibedah guna mengisolasi MT (Sun & Tsai, 2009). Sampel ikan dibedah untuk diambil hati dan gonadnya, dilanjutkan dengan prosedur studi isolasi MT (Dewi et al., 2014) dengan langkah-langkah sebagai berikut: 5 g sampel hati dilunakkan yaitu dicairkan di suhu 4 °C. Kemudian apabila telah lunak, sampel kemudian dicincang, digiling dalam mortar dan dihomogenkan menggunakan cairan Tris-HCl pH 8,1 pada bandingan 2:2. 1 (10 ml Tris-HCl: 5 gr sampel). Selanjutnya sampel disentrifuse dengan 10.000 g dengan lama 30 mnt pada temperatur 4°C. Dikumpulkan supernatan dan disentrifuse lagi pada 110.000 g dengan lama 1 jam pada temperatur 4°C. Ini menghasilkan sampel yang terdapat MT.

Isolasi dari MT kemudian dianalisis dengan HPLC atau high performance liquid chromatography untuk mendeteksi ekspresi MT di hati karena efek toksik logam berat yaitu Pb, Hg dan Cd yang membuat

tercemar perairan Waduk Koto Panjang. Analisis sampel hati group perlakuan dan kontrol pada larutan baku Pb, Hg dan Cd dikerjakan memakai sistem EZ CEJ HPLC “UV2070-PU2080-LCnet II/ADC” pada gelombang yaitu 254. Fasa padat (kolom Symmetryshield RP 18, atau umum ditulis C-18) 3,5 mm diameter, 4,5 x 150 mm panjang kolom; dan HCl Tris buffer pH 8,1 = 40:60 fase gerak asetonitril (volume/volume).

Analisis Data

Bahan penelitian selanjutnya dievaluasi secara statistik dan deskriptif. Materi penelitian berupa pretest dan variabel asumsi dianalisis dengan analisis deskriptif. Analisis ini berguna sebagai pembandingan waktu retensi (RT) pada larutan standar yaitu Pb, Hg dan Cd dengan RT pada sampel yang dianalisis dengan HPLC untuk menentukan MT. Analisis statistik dipakai pada data studi uji coba KJA. Data yang didapat dari penelitian dianalisis dengan SPSS versi 20 dalam penentuan biomarker relevan pada biomarker cemaran Pb, Hg dan Cd di perairan PLTA Koto Panjang, termasuk termasuk konsentrasi yang masih ada di baku mutu. Nilai BCF dan MT, LSI atau GSI; yang diinduksi MT. Diluar dari itu juga dipakai untuk melihat biomarker MT dalam hati *Oreochromis niloticus* atau *Cyprinus carpio L.* yang merupakan penanda biologis paling relevan terhadap muatan Pb, Hg dan Cd.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Biomarker LSI

Hasil penelitian terlihat bahwa rata-rata LSI dalam group perlakuan yaitu ($2,244 \pm 0,348$) pada *Oreochromis niloticus* dan pada group kontrol pada *Oreochromis niloticus* ($2,612 \pm 0,451$). Rata-rata nilai LSI di *Cyprinus carpio L.* group perlakuan yaitu ($1,930 \pm 0,187$) dan *Cyprinus carpio L.* di group kontrol ($2,7560 \pm 0,2300$).

Dari perhitungan statistik, menunjukkan bahwa tidak ada beda signifikan rata-rata skor LSI pada *Oreochromis niloticus* antara group perlakuan dengan group kontrol ($p=0,187$; $p>0,05$). Rata-rata skor LSI group perlakuan berbeda nyata. dari group kontrol ($p=0,0000$; $p<0,01$). Hal ini karena *Cyprinus carpio L.* bersifat lebih sensitif terhadap senyawa beracun. *Cyprinus carpio L.* diketahui lebih sensitif terhadap kontaminan dibandingkan spesies ikan lainnya dan sering digunakan sebagai organisme pengujian pada bioassay toksisitas (Sari & Perwira, 2019). Parra (2021) menemukan bahwa spesies ini memiliki feedback fisiologis yang langsung terhadap paparan logam berat. Karena sensitivitas dan responsifitasnya yang tinggi terhadap kontaminasi logam berat, *Cyprinus carpio L.* sangat cocok digunakan dalam penelitian eksperimental di laboratorium. Melalui penggunaan penanda, nilai morfometri menunjukkan bahwa waktu paparan logam berat berpengaruh langsung pada terjadinya stres pada *Cyprinus carpio L.* Sehingga, efek toksisitas pada ikan ini dapat diketahui dengan cepat. Meskipun waktu paparannya singkat, hanya lima hari, paparan logam berat pada *Cyprinus carpio L.* dapat menyebabkan penyakit akut sublethal (Aljahdali & Alhassan, 2020).

Kelompok perlakuan yang terdiri dari *Oreochromis niloticus* dan *Cyprinus carpio L.* menunjukkan nilai LSI yang lebih rendah dibandingkan dengan kelompok kontrol, menunjukkan dampak paparan logam berat terhadap indeks somatik hati (LSI). Namun, menurut Ujuianti dan Androva (2020) serta Liu et.al., (2018), LSI tidak sensitif sebagai penanda logam berat sebab nilainya berubah dapat dikarenakan faktor non-polutan seperti penyakit, nutrisi dan pengaruh musim. LSI akhirnya tidak dapat diandalkan sebagai penanda polutan logam berat pada air sehingga perlu dicari biomarker yang lebih sesuai, seperti indeks somatik gonad (GSI) yang akan diteliti dalam artikel ini.

Biomarker GSI

Rerata indeks gonad somatik (GSI) baik pada *Oreochromis niloticus* maupun pada *Cyprinus carpio L.* kelompok kontrol dan perlakuan adalah; untuk kelompok kontrol *Oreochromis niloticus*, rerata GSI adalah $0,2310 \pm 0,0290$ sedangkan untuk kelompok perlakuan adalah $0,137 \pm 0,027$. Sementara itu, rerata GSI untuk kelompok kontrol *Cyprinus carpio L.* adalah $0,269 \pm 0,052$ dan untuk kelompok perlakuan adalah $0,161 \pm 0,040$. Hasil uji menunjukkan perbedaan yang signifikan pada GSI *Oreochromis niloticus* antara kelompok kontrol dan perlakuan ($p = 0,001$; $p < 0,01$) dan juga pada GSI *Cyprinus carpio L.* antara kelompok kontrol dan perlakuan ($p = 0,0060$; $p < 0,01$).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Sudrajat et al. (2019), ditemukan bahwa terdapat penurunan nilai GSI *Oreochromis niloticus* dan *Cyprinus carpio L.* pada kelompok perlakuan dibandingkan dengan kelompok kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa paparan logam berat mempengaruhi skor GSI. Kemungkinan rendahnya skor GSI karena paparan logam berat terjadi ketika logam berat mencemari badan air, kemudian diserap melalui membran epitel, terutama di insang, dan diangkut melalui darah ke organ seperti hati dan gonad, ginjal, otot, dan kulit (Santana et al., 2018). Hal ini dapat menyebabkan akumulasi logam berat di organ-organ tersebut. Akumulasi logam berat pada gonad dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan gonad, karena logam berat bersifat toksik, karsinogenik, dan iritatif. Akibatnya, gonad dapat mengalami degenerasi, berukuran kecil, memiliki skor GSI rendah, dan mengganggu efisiensi reproduksi, sehingga menghasilkan fertilitas yang rendah. Menurut Parra (2021), nilai GSI merupakan salah satu biomarker yang efektif, yaitu biomarker yang terkait dengan pengukuran dampak kesehatan dari pencemaran lingkungan.

GSI dan LSI sebagai biomarker tidak spesifik dan hanya dapat digunakan sebagai penanda umum beban logam berat. Oleh karena itu, untuk pemantauan lingkungan yang lebih spesifik, perlu diketahui jenis logam berat yang terkontaminasi seperti Cd, Pb, atau Hg agar dapat mengetahui sumber kontaminasi, apakah dari industri atau domestik. Jika dari industri, perlu ditentukan industri mana yang menyebabkan kontaminasi dan penyebabnya, apakah karena tidak adanya instalasi pengolahan limbah atau karena instalasi pengolahan limbah tidak efektif, atau karena kurangnya kesadaran lingkungan. Dengan mengetahui hal ini, tahap pengelolaan lingkungan berikutnya dapat ditentukan secara lebih spesifik.

Dalam penelitian ini, terbukti bahwa GSI tidak cocok dipakai untuk penanda biologis dalam pencemaran yang bersifat logam berat pada badan air yang terpapar dengan berbagai logam berat maupun limbah jenis anorganik atau organik. Pada akhirnya, dibutuhkan kajian lanjutan untuk mencari biomarker atau penanda biologis yang paling cocok untuk pencemaran logam berat di badan air. Biomarker MT kemudian diselidiki untuk keperluan ini.

Biomarker MT

Berdasarkan temuan bahwa GSI dan LSI tidak cocok dipakai sebagai biomarker logam berat, maka dilakukan penelitian untuk mengevaluasi penggunaan MT untuk menjadi biomarker yang paling relevan untuk kasus jenis logam Pb, Hg dan Cd dalam air. Penelitian ini akan membahas beberapa aspek, antara lain: apakah biomarker MT dapat digunakan sebagai penanda biologis untuk pencemaran logam berat jenis Pb, Hg dan Cd dalam air; konsentrasi logam berat terendah yang dapat menyebabkan munculnya biomarker MT-Cd, MT-Hg, MT-Pb dan MT; jenis logam berat yang muncul paling awal pada biomarker MT (MT-Cd, MT-Hg, atau MT-Pb); dan apakah MT merupakan biomarker yang tepat atau tidak tepat untuk pencemaran jenis Pb, Hg, dan Cd dalam air (Said & Ashry, 2021).

Dari hasil penelitian, ditemukan bahwa hati *Oreochromis niloticus* dan *Cyprinus carpio L.* yang diberi perlakuan KJA di PLTA Koto Panjang mengalami kontaminasi oleh logam berat (Pb, Hg, dan Cd).

Setelah dilakukan isolasi MT dan dianalisis dengan HPLC, biomarker MT ditemukan pada ikan tersebut. Sebaliknya, ikan *Cyprinus carpio L.* dan *Oreochromis niloticus* yang tidak terpapar Pb, Hg, dan Cd (dari Pusat Benih Ikan) tidak menunjukkan adanya biomarker MT melalui analisis HPLC. Oleh karena itu, biomarker MT dapat digunakan untuk menandai paparan logam berat pada ikan.

Munculnya biomarker MT disebabkan oleh adanya ikatan antara logam berat dengan protein berat molekul rendah yang disebut thionein, sehingga membentuk kompleks protein-logam yang dikenal sebagai MT (Said & Ashry, 2021). Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya yang mengindikasikan bahwa ikan yang terkontaminasi Cd di PLTA Koto Panjang menunjukkan munculnya MT setelah isolasi menggunakan isothiotion dan dianalisis dengan HPLC, sementara ikan yang tidak terpapar logam berat di tambak Kalasiemenkekus tidak menunjukkan adanya biomarker MT pada hatinya setelah dibersihkan.

Hasil memperlihatkan bahwa organ hati *Oreochromis niloticus* dan *Cyprinus carpio L.* yang hidup di PLTA Koto Panjang mengandung MT-Cd, MT-Pb, dan MT-Hg, sedangkan hati *Oreochromis niloticus* dan *Cyprinus carpio L.* dari Balai Benih Ikan Air Tawar tidak mengandung MT-Cd tetapi mengandung MT-Pb dan MT-Hg. Hal ini disebabkan oleh akumulasi Pb, Hg, dan Cd di dalam hati ikan *Oreochromis niloticus* dan *Cyprinus carpio L.* dari PLTA Koto Panjang dan tidak terdapat Pb, Hg, dan Cd di dalam hati *Oreochromis niloticus* dan *Cyprinus carpio L.* dari BBI. Hasil ini didukung oleh hasil analisis spektrofotometri serapan atom (AAS) yang menunjukkan bahwa air sungai dari PLTA Koto Panjang mengandung Pb, Hg, dan Cd, sementara air dari pusat pembenihan ikan air tawar tidak mengandung Pb, Hg, dan Cd. Kadar Pb, Hg, dan Cd di PLTA Koto Panjang berturut-turut adalah $(0,0060 \pm 0,001)$ mg/l, $(0,010 \pm 0,005)$ mg/l, dan $(0,00060 \pm 0,0001)$ mg/l, sedangkan nilai Pb, Hg, dan Cd di Balai Benih Ikan Air Tawar adalah 0 mg/l.

MT-Pb, Hg, dan Cd muncul karena adanya thionein, yaitu protein pengikat logam yang berperan mengikat atau melepaskan logam berat Pb, Hg, dan Cd di jaringan hati. Ketika logam Pb, Hg, dan Cd terikat dengan protein thionein, mereka merangsang sintesis MT-Cd, MT-Pb, dan MT-Hg. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa MT-Cd terbentuk dari ikatan antara protein thionein dan logam Cd, MT-Pb terbentuk dari ikatan antara protein thionein dan logam Pb, dan MT-Hg terbentuk dari ikatan antara protein thionein dan logam Hg. Oleh karena itu, MT-Cd berbeda dengan MT-Hg dan Metallothionein Pb karena thionein yang terkandung di dalamnya mengikat setiap jenis logam secara spesifik dan membentuk MT yang juga spesifik tergantung pada jenis logam yang terikat (Said & Ashry, 2021).

Metallothionein memiliki kemampuan spesifik untuk berikatan dengan logam tertentu, baik esensial seperti tembaga dan seng, maupun non-esensial seperti timbal, raksa, dan kadmium, membentuk MT-Pb, MT-Hg, dan MT-Cd. MT-Cd terbentuk melalui ikatan antara thionein dengan logam kadmium, MT-Pb terbentuk melalui ikatan antara thionein dengan logam timbal, dan MT-Hg terbentuk melalui ikatan antara thionein dengan logam raksa (Teodorovi, 2015). Sebagai biomarker pada tingkat molekuler, metallothionein merupakan penanda biologis yang sangat cocok untuk memantau pencemaran logam berat di badan air, meskipun konsentrasi logam berat tersebut masih memenuhi standar kualitas air dan keberadaan logam berat (Pb, Hg, dan Cd) terlarut dalam campuran air sungai seperti yang terjadi di perairan PLTA Koto Panjang. Oleh karena itu, hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa MT merupakan biomarker terbaik untuk memantau paparan logam berat. Dengan demikian, dari empat biomarker yang diteliti, hanya MT yang paling cocok sebagai alat pemantauan untuk pencemaran logam berat di lingkungan perairan karena adanya paparan yang rendah (yang masih memenuhi standar mutu air Kelas I) yang dapat melarutkan logam berat (Pb, Hg, dan Cd) secara bersamaan dalam air sungai sebagai

beberapa polutan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Metallothionein adalah biomarker yang paling tepat untuk menjadi penanda pencemaran logam berat Pb, Hg, dan Cd pada badan air yang konsentrasinya sesuai dengan standar kualitas air. Sementara itu, GSI, LSI, dan EROD tidak cocok sebagai biomarker untuk logam berat Pb, Hg, dan Cd. Biomarker MT sangat sensitif, spesifik, memberikan peringatan dini, dan dapat digunakan secara umum. Sebagai alat pemantauan, MT dapat mendeteksi konsentrasi logam berat Pb, Hg, dan Cd dalam air yang larut dan saling bercampur secara bersamaan.

Kadar logam berat Pb, Hg, dan Cd pada hati ikan pada konsentrasi terendah yang dapat memicu produksi biomarker MT muncul pada nilai 0,19 µg/kg, 0,26 µg/kg, dan 0,91 µg/kg untuk *Cyprinus carpio L.* serta 0,24 µg/kg, 0,29 µg/kg, dan 1,021 µg/kg untuk *Oreochromis niloticus*. Hasil uji regresi probit linier menunjukkan hal tersebut. Terdapat parameter baru dalam bidang toksikologi, yakni konsentrasi induksi terendah (LIC), yang dapat diidentifikasi dari temuan tersebut.

Biomarker pertama yang muncul sebagai indikator pencemaran Cd adalah MT-Cd, kemudian diikuti oleh MT-Pb sebagai indikator pencemaran Pb dan MT-Hg sebagai indikator pencemaran Hg dalam air. Pada badan air sungai yang kadar pencemaran Cd, Pb, dan Hg-nya masih memenuhi baku mutu air Kelas I, Metallothionein hati dari *Cyprinus carpio L.* lebih sensitif dibandingkan dengan *Oreochromis niloticus* sebagai indikator biomarker.

Saran

Untuk mengawasi kualitas air dan akumulasi logam berat dalam tubuh ikan, penggunaan biomarker hati ikan dapat dikaji dengan lebih lanjut melalui time series yang lebih panjang. Penelitian ini dapat dilakukan hingga mencapai titik jenuh (steady state) asupan logam berat dalam tubuh ikan. Dengan cara ini, nilai faktor bioakumulasi (BCF) dapat diperkirakan tanpa harus melakukan pembedahan pada ikan. Ini memungkinkan kita untuk memperkirakan jumlah akumulasi logam berat dalam tubuh ikan ketika air yang mengandung zat pencemar sebanyak X mg/l.

Pengembangan penggunaan MT sebagai alat pemantau pada ikan dapat diperluas dengan melakukan kajian biomarker MT pada tumbuhan air seperti *Eichhornia crassipes*, kiyambang, kangkung air, dan jenis tumbuhan air lain yang berada pada badan air yang tercemar oleh logam berat.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih dan apresiasi kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Riau atas dukungan pendanaan yang diberikan dalam penelitian ini.

6. REFERENSI

- Aljahdali, M. O., & Alhassan, A. B. (2020). Metallic pollution and the use of antioxidant enzymes as biomarkers in *Bellamyia unicolor* (Olivier, 1804) (Gastropoda: Bellamyinae). *Water (Switzerland)*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/w12010202>
- Budijono, B., Suharman, I., & Hendrizal, A. (2021). Dynamics Water Quality in Koto Panjang Reservoir, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 934(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/934/1/012056>
- Budijono, H. M., Purwanto, E., Eddiwan, K., & Sinaga, B. Y. (2016). *The Fitoremediation of Pb and Zn in The Siak River By Ceratophyllum demersum*.
- Centers, M., Alesci, A., Cicero, N., Fumia, A., Petrarca, C., Mangifesta, R., Nava, V., Cascio, P. Lo, Gangemi, S., Gioacchino, M. Di, & Lauriano, E. R. (2022). *Histological and Chemical Analysis of Heavy Metals in Kidney and Gills of Boops boops : Melanomacrophages Centers and Rodlet Cells as*

Environmental Biomarkers.

- De Castro, N. S. S., & Lima, M. D. O. (2018). Hair as a biomarker of long term mercury exposure in brazilian amazon: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(3), 1–16. <https://doi.org/10.3390/ijerph15030500>
- Dewi, N. K., Purwanto, P., & Sunoko, H. R. (2014). Metallothionein Pada Hati Ikan Sebagai Biomarker Pencemaran Kadmium (Cd) Di Perairan Kaligarang Semarang (Metallothionein in the Fish Liver as Biomarker of Cadmium (Cd) Pollution in Kaligarang River Semarang). *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 21(3), 304–309.
- Fadhli, U., & Hasbi, B. M. (2020). *Kandungan Timbal (Pb) Dan Kadmium (Cd) Dalam Insang , Ginjal. 1(2)*, 153–158.
- Fithra, R. Y., & Siregar, Y. I. (2010). Keanekaragaman Ikan Sungai Kampar Inventarisasi dari Sungai Kampar Kanan. *Ilmu Lingkungan: Journal of Environmental Science*, 2(4), 139–147. <https://jil.ejournal.unri.ac.id/index.php/JIL/article/download/341/335>
- Hasibuan, I. F., Hariyadi, S., & Adiwilaga, E. M. (2017). Status Kualitas Air dan Kesuburan Perairan Waduk PLTA Koto Panjang, Provinsi Riau. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 22(3), 147–155.
- Kaushik, G., & Seth, R. (2022). Physico-chemical Analysis of Textile Dye Contaminated Water of Sanganer Area, Jaipur, Rajasthan. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 26(5), 161–167. <https://doi.org/10.25303/2605rjce161167>
- Liu, Q., Kandasamy, S., Lin, B., Wang, H., & Chen, C. T. A. (2018). Biogeochemical characteristics of suspended particulate matter in deep chlorophyll maximum layers in the southern East China Sea. *Biogeosciences*, 15(7), 2091–2099. <https://doi.org/10.5194/bg-15-2091-2018>
- Moiseenko, T. I., Morgunov, B. A., Gashkina, N. A., Megorskiy, V. V., & Pesiakova, A. A. (2018). Ecosystem and human health assessment in relation to aquatic environment pollution by heavy metals: Case study of the Murmansk region, northwest of the Kola Peninsula, Russia. *Environmental Research Letters*, 13(6). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab5d2>
- Mubarak. (2018). Modeling of Kampar River discharge as a solitary wave. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, 7(3), 138–141. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.6.14957>
- Parra, S., Varandas, S., Santos, D., Fernandes, L., Cabecinha, E., & Monteiro, S. M. (2021). *Multi-Biomarker Responses of Asian Clam Corbicula fluminea.*
- Prabha, N., Jayapriya, G., & Vennila, M. (2022). Studies on the application of Zirconia nanoparticles for the removal of heavy metal (Pb (II)) from the aqueous solution. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 26(7), 57–63.
- Prabowo, A., Simarmata, A. H., & Siagian, M. (2016). Types and Abundance of Phytoplankton of the Boko-Boko Peat Swamp in the Langgam Village, Langgam District, Pelalawan Regency, Riau Province. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Universitas Riau*, 3(2), 1–12.
- Prahsantika, M., Harahap, S., & Purwanto, E. (2020). *The Effect of Using a Biofilter with EM4 to Reduce Phosphate and MBAS in Laundry Liquid Waste. 1(2)*, 93–102.
- Roy, S. G., Wimpee, C. F., Mcguire, S. A., & Ehlinger, T. J. (2022). *Responses of Bacterial Taxonomical Diversity Indicators to Pollutant Loadings in Experimental Wetland Microcosms.*
- Said, R. E. M., & Ashry, M. (2021). *The use of biomarkers in the Nile Tilapia (Oreochromis niloticus) as biological signals to track Nile contamination in Egypt. 25(5)*, 203–214.
- Santana, M. S., Yamamoto, F. Y., Sandrini-neto, L., Filipak, F., Ortolani-machado, C. F., Oliveira, C. A., & Mela, M. (2018). *Ecotoxicology and Environmental Safety Di ff use sources of contamination in freshwater fi sh : Detecting e ff ects through active biomonitoring and multi-biomarker approaches. 149(November 2017)*, 173–181. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.036>
- Saputra, H. M., & Marusin, N. (2013). *51-96-1-Sm. 2(2)*, 138–144.
- Sari, A. H. W., & Perwira, I. Y. (2019). Biomarker histopatologi hati ikan belanak (Mugil cephalus) sebagai peringatan dini toksisitas kromium (Cr) di Muara Tukad Badung. *Bali. Journal of Marine and Aquatic*

Sciences, 5(2), 229–233.

- Simionov, I., & Cristea, S. (2021). *Predictive Innovative Methods for Aquatic Heavy Metals Pollution Based on Bioindicators in Support of Blue Economy in the Danube River Basin*.
- Sudrajat, S. (2020). *Analisis Histopatologis Insang Dan Kandungan Logam Berat Pb, Cd Dan Fe Pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) Yang Dibudidayakan Di Kolam Bekas Tambang Kota Samarinda*.
- Sun, P. L., & Tsai, S. (2009). *Intersex Tilapia (*Oreochromis spp.*) from a Contaminated River in Taiwan: A Case Study*. 14–24. <https://doi.org/10.3390/toxins1010014>
- Teodorovi, I. (2015). *Ecotoxicological research and related legislation in Serbia*. 16(2009), 123–129. <https://doi.org/10.1007/s11356-009-0152-2>
- Ujianti, R. M. D., & Androva, A. (2020). Heavy metal toxicity and the influence of water quality in watershed for enhancing fisheries food security. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 846(1), 012049. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/846/1/012049>
- Xu, C., Shi, S., Wang, X., Zhou, H., Wang, L., Zhu, L., & ... (2020). Electrospun SiO₂-MgO hybrid fibers for heavy metal removal: characterization and adsorption study of Pb (II) and Cu (II). *Journal of Hazardous ...* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389419309288>