

PENYERAPAN LOGAM BERAT MERKURI DAN KADMIUM PADA IKAN MUJAIR (*Tilapia mossambica* Peters)

MERCURY AND CADMIUM ADSORPTION OF MUJAIR FISH (*Tilapia mossambica* Peters)

Hery Soeprijanto¹⁾ dan Ati Hartati¹⁾
¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan FTSP - ITS

Abstrak

Dari penelitian ini diperoleh merkuri dalam air di waduk pematuan PT SIER sebesar $0,967 \pm 0,138 \mu\text{g/L}$ ($p = 0,05$), sedangkan konsentrasi kadmium dalam air sebesar $8,67 \pm 1,02 \mu\text{g/L}$ ($p = 0,05$) (masih di bawah batas dari baku mutu air golongan C). Nilai bioakumulasi merkuri dan kadmium pada daging ikan mujair di waduk (Y ; mg/kg berat basah) pada waktu pemaparan (X ; hari) tertentu, masing-masing sesuai persamaan garis lurus $Y_{\text{Hg}} = 0,00355 X + 0,00703$ dan $Y_{\text{Cd}} = 0,0281 X + 0,0003$ ($p = 0,05$). Pada pemaparan lebih dari 60 hari kandungan kadmium dalam daging ikan mujair sudah melebihi ambang batas pengkonsumsian. Sedangkan kandungan merkuri dalam daging ikan mujair berada di atas ambang batas pengkonsumsian pada pemaparan di atas 136 hari.

Kata kunci : bioakumulasi, mujair, pemaparan, waduk

Abstract

From this research the merkuri in dam PT SIER equal to $0,967 + 0,138 \mu\text{g/L}$ ($p = 0,05$), while cadmium concentration equal to $8,67 + 1,02 \mu\text{g/L}$ ($p = 0,05$). Assess the bioaccumulation merkuri and cadmium flesh of fish mujair (Y ; mg/kg wet heavy), times exposure (X ; day) certain, each according to equation of straight line $Y_{\text{Hg}} = 0,00355 X + 0,00703$ and $Y_{\text{Cd}} = 0,0281 X + 0,0003$ ($p = 0,05$). At exposure more than 60 obstetrical day, cadmium in flesh of fish mujair have exceeded the sill of consumption boundary. While content merkuri in flesh of fish mujair reside in for sill of consumption boundary at exposure above 136 day.

Keywords : bioaccumulation, mujair, exposure, dam

1. PENDAHULUAN

Kesetimbangan logam berat di lingkungan perairan darat merupakan hubungan interaksi antara logam berat yang bersangkutan dengan faktor biotik dan abiotik. Senyawa logam berat dapat terdapat pada air, partikel tersuspensi, endapan, biota dan air tanah. Mekanisme-mekanisme yang timbul sehubungan dengan kesetimbangan logam berat di lingkungan perairan antara lain adalah erosi, *dredging*, *bioturbation*, *sedimentation*, *adsorption*, *desorption*, *diffusion*, *compaction* dan *infiltration* (Anonim, 1993).

Kesetimbangan logam berat di lingkungan selalu berubah-ubah setiap saat, tergantung dari kondisi lingkungan yang mempengaruhi. Faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi kesetimbangan logam berat di lingkungan perairan antara lain derajat keasaman (pH), temperatur, potensial oksidasi-reduksi (E_h), salinitas, oksigen terlarut (DO), sinar matahari, pergerakan air, kesadahan, ion-ion orga-

nik dan anorganik, dan faktor biotik dari ekosistem.

Keberadaan merkuri (Hg) di perairan merupakan polutan bersifat toksik. Senyawa merkuri akan menempel dan terabsorpsi oleh biota yang terdapat di lingkungan perairan. Standar mutu lingkungan perairan darat (golongan C) di Indonesia untuk merkuri maksimum 0,002 mg/L.

Dari *Quality Criteria for Water U.S. Environmental Protection Agency* merkuri di perairan darat yang aman bagi biota dan pengkonsumsian biota oleh manusia maksimum 0,05 ug/L. Kehadiran senyawa kadmium merupakan polutan biarpun dalam konsentrasi relatif kecil. Sebagian besar terakumulasi di dasar perairan & terabsorpsi mikroorganisme membentuk senyawa *metallothionein* yang bersifat toksik bagi biota.

Standar mutu lingkungan perairan darat (golongan C) di Indonesia untuk kadmium maksimum 0,01 mg/L. Dari *Quality Criteria for Water* konsentrasi

kadmium di lingkungan perairan darat yang aman bagi biota dan pengkonsumsian biota oleh manusia maksimum 0,0004-0,012 mg/L.

Sumber merkuri sebagian besar berasal dari industri soda kaustik, baterai kering, cat, bahan-bahan kimia dan industri yang memakai katalisator senyawa merkuri dalam proses produksinya. Di lingkungan perairan darat (air tawar) bentuk elementer merkuri sangat kecil kemungkinan keberadaannya. Hampir semuanya terdiri dari senyawa-senyawa *mercuric* dan *mercurous* yang lebih mudah terlarut. Merkuri yang bersenyawa dengan material organik maupun anorganik dapat berbentuk endapan, tersuspensi maupun terlarut, tergantung dari komponen abiotik dan biotik yang terdapat dalam lingkungan perairan (Anonim, 1994).

Sumber kadmium sebagian besar berasal industri pelapisan logam, tekstil, cat, pewarnaan/pencelupan, plastik stabilisator, baterai kadmium, pupuk fosfat dan bahan-bahan kimia. Keberadaan di lingkungan perairan biasanya dalam bentuk senyawa garam sulfida dan fosfat serta reaktif terhadap keberadaan seng (Zn) dan timbal (Pb) membentuk senyawa metalik terutama dengan seng.

Sebagian besar senyawa kadmium terakumulasi di dasar perairan dan terabsorpsi oleh mikroorganisme membentuk senyawa *metallotionein* yang bersifat toksik bagi biota. Senyawa *metallotionein* adalah senyawa kompleks yang terbentuk dari protein dalam organisme dan logam. Senyawa *metallotionein* yang terbentuk umumnya tersusun bersama-sama dengan seng dan timbal sehingga efek toksiknya menjadi bertambah besar.

Kereaktifan antara kadmium dan seng yang besar menjadikan kehadiran kadmium dan kesetimbangannya di alam tidak dapat dipisahkan dengan seng. Kandungan kadmium pada pupuk fosfat dapat menyebabkan akumulasi di dalam tanah dan melalui proses kesetimbangan alamiah akan terakumulasi pula di lingkungan perairan.

Faktor-faktor alam yang berpengaruh terhadap kehadiran polutan dan respon dari organisme membuat sistem transformasi, regulasi, akumulasi dan efek toksik suatu polutan terhadap suatu organisme menjadi semakin kompleks dan rumit. Dengan demikian sangatlah sulit menyimpulkan efek toksik dan bioakumulasi suatu polutan terhadap organisme secara akurat.

Berdasarkan parameter teranalisa uji bioassay dapat dibedakan atas tiga kategori, yaitu efek toksik terhadap mikroorganisme, bioakumulasi dan regulasi oleh mikroorganisme dan bioakumulasi dan efek toksik pada organisme.

Efek toksik terhadap mikroorganisme ini terjadi pada pemaparan di atas ambang batas tanpa memandang apakah polutan terakumulasi, teregulasi atau keduanya. Bioakumulasi dan regulasi oleh mikroorganisme bisa dilakukan pada pemaparan di atas maupun di bawah ambang batas, dengan parameter utama pada nilai bioakumulasi, tempat terjadinya bioakumulasi, proses transformasi bioakumulasi dan kemungkinan terjadinya proses regulasi oleh mikroorganisme terhadap kehadiran zat dalam lingkungannya. Sedangkan bioakumulasi dan efek toksik pada mikroorganisme dilakukan pada pemaparan di atas ambang batas.

Ditinjau dari ragam spesies uji yang dipakai ada tiga metode uji *bioassay*, yaitu: *single-species test*, *multi-species test*, dan *ecosystem test*. Umumnya *single-species test* dilakukan di lab. Uji ini menggunakan spesies yang dianggap mewakili organisme pada kelasnya. *Multi-species test* dan *ecosystem test* dapat juga dilakukan di laboratorium. Studi ini memerlukan "model ekosistem", yaitu berupa wadah atau bak berisi sampel dari ekosistem alami (air, sedimen, hewan, dan tumbuhan).

Ditinjau dari sistem pemaparannya, meliputi: kultur (bak uji) bervolume kecil dan besar. Kultur bervolume kecil terdiri dari *static test (batch flow)* dan *flow-through test (continuous flow)*. Kultur bervolume besar dilakukan di lapangan untuk memperoleh data yang mendekati kondisi alamiah (*semi natural experimental conditions* atau *ecosystem test*). Jadi metode ini dilakukan dengan sistem aliran kontinu langsung di lapangan.

Efek racun merkuri dapat mengakibatkan gejala akut maupun kronis. Akumulasi pada tubuh manusia terjadi hampir pada semua bagian terutama hati, ginjal, darah, dan sistem hormonal. Metil merkuri yang dominan terakumulasi pada daging ikan apabila dikonsumsi oleh manusia, 90% dari nilai akumulasi akan terserap oleh manusia (O'neil, 1993). Standar yang dikeluarkan oleh *Food and Drug Administration* memberi batasan pengkonsumsian Hg maksimal 30 ug/orang/hari. Standar dari WHO memberikan nilai 0,3 mg Hg/orang/minggu atau 0,2 mg CH₃Hg⁺/orang/minggu.

Efek akut kadmium pada manusia menyebabkan penyakit antara lain: *reumatic*, *hypertension*, *growth inhibition*, *chronic diseases*, dan *cancer*. Pada tubuh manusia, kadmium terakumulasi paling tinggi pada hati, ginjal, dan sistem hormonal (O'neil, 1993). Standar yang dikeluarkan oleh WHO merekomendasikan batas nilai maksimum pengkonsumsian kadmium sebesar 0,4-0,5 mg Cd/orang/minggu.

Ikan mujair berasal dari Afrika dan baru dikenal di Indonesia pada tahun 1939 oleh bapak Mujair. Ikan ini termasuk golongan omnivora yang rakus, sehingga pertumbuhannya relatif cepat. Sifat ini pula yang menyebabkan keberadaannya di tambak ikan dianggap sebagai hama bagi ikan yang dibudidayakan. Kemampuan adaptasi yang baik terhadap lingkungan merupakan salah satu nilai tambah tersendiri dalam pemeliharaannya.

Diantara jenis ikan yang dibudidayakan, ikan mujair termasuk ikan yang paling mudah berkembang biak. Selain mempunyai pertumbuhan yang cukup tinggi, ikan ini mempunyai nilai gizi yang cukup tinggi (Sugiarto, 1988).

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan 5 bak uji dengan variasi untuk bak 1 dengan kondisi uji air dan lumpur dari waduk dengan penambahan 5 mg Hg dan 50 mg Cd dalam setiap 1 m³, *batch flow/static test*, pemberian makanan buatan serta waktu pemaparan 0-30 hari. Bak 2 dengan kondisi uji air dan lumpur dari waduk dengan penambahan 8 mg Hg dan 80 mg Cd dalam setiap 1 m³, *batch flow/static test*, pemberian makanan buatan dan waktu pemaparan 0-30 hari.

Bak 3 dengan kondisi uji air dan lumpur dari waduk tanpa penambahan Hg dan Cd, *batch flow/static test*, pemberian makanan buatan dan waktu pemaparan 0-60 hari. Bak 4 dengan kondisi uji bak alamiah di waduk, *continuous flow/flow-through test*, pemberian makanan buatan dan waktu pemaparan 0-60 hari. Sedangkan untuk bak 5 dengan kondisi uji bak alamiah di waduk, *continuous flow/flow-through test*, makanan alamiah dari waduk serta waktu pemaparan 0-60 hari.

Penelitian *flow-trough test* di waduk dengan memberikan makanan buatan (bak uji 4) dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh pemberian makanan

buatan terhadap nilai bioakumulasi Hg dan Cd pada ikan. Pemberian makanan ikan $\pm 6\%$ dari berat ikan per hari, sesuai dengan pemberian makanan pada teknik budidaya ikan.

Makanan ikan buatan yang akan diberikan sebelumnya telah dipapari Hg dan Cd dengan cara menempatkan makanan tersebut selama ± 2 jam dalam bak uji yang bersangkutan. Selama pengkondisian akan terbentuk senyawa kompleks logam berat dengan protein (asam amino) dalam makanan ikan (Anonim, 1992). Kontrol dilakukan dengan menganalisa kandungan Hg dan Cd pada makanan ikan setelah dipaparkan pada bak-bak yang berisi air waduk dengan kandungan Hg dan Cd yang bervariasi.

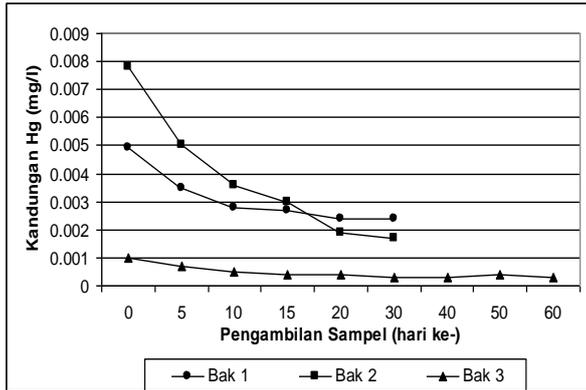
Pemakaian materi uji ikan mujair didasarkan atas keberadaannya yang hidup di seluruh perairan Indonesia, perkembangbiakan yang relatif cepat serta kemampuan adaptasi yang cukup besar mengakibatkan populasi ikan mujair ini relatif besar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

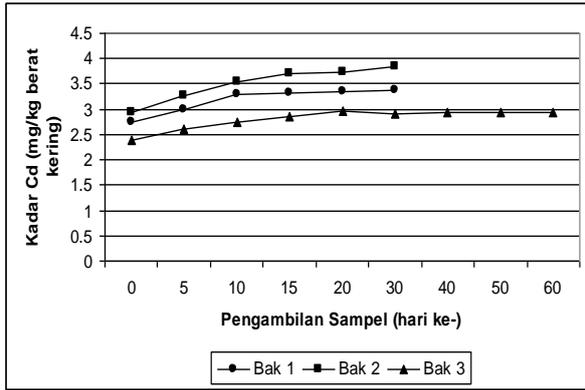
Secara umum pada semua bak uji baik pada bak 1, bak 2, bak 3 maupun bak 4, pH berada pada rentang nilai 7,3-8,1 dan DO berada pada rentang 4-5,3 mg/l. Nilai-nilai ini masih berada pada rentang nilai yang baik untuk kehidupan ikan. Fluktuasi nilai pH dan DO terjadi secara tidak beraturan.

Selama penelitian berlangsung, pada bak uji terjadi kesetimbangan reaksi senyawa merkuri dan kadmium. Pada bak 4 dan bak 5 yang dioperasikan dengan *flow-through test*, kandungan senyawa merkuri dan kadmium relatif konstan dan mempunyai nilai sama dengan air dan lumpur di waduk. Air waduk mengandung 1 ug/L Hg dan 8 ug/L Cd awal pemaparan, sedangkan kandungan Hg dan Cd selama uji berlangsung masing-masing sebesar $0,967 \pm 0,138$ dan $8,67 \pm 1,02$ ug/L.

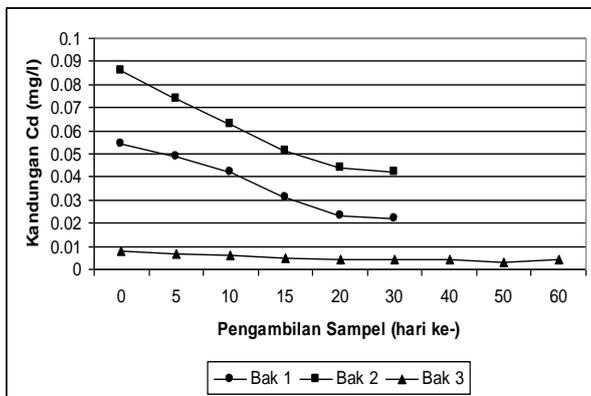
Pada bak 1, bak 2, dan bak 3, kandungan merkuri dan kadmium dalam air mengalami penurunan secara drastis pada pemaparan 0-10 hari. Pada pemaparan 10-20 hari, penurunannya cenderung berkurang dan relatif stabil pada pemaparan di atas 20 hari. Prosentase penurunan sebesar 50-78% dari konsentrasi awal. Perubahan konsentrasi merkuri dan kadmium tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Kandungan Merkuri Dalam Air Pada Bak Uji 1, 2 dan 3

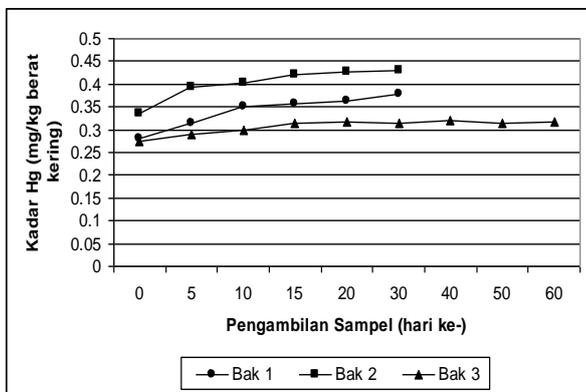


Gambar 4. Kandungan Kadmium Dalam Lumpur Pada Bak Uji 1, 2 dan 3



Gambar 2. Kandungan Kadmium Dalam Air Pada Bak Uji 1, 2 dan 3

Sebaliknya kandungan merkuri dan kadmium dalam lumpur mengalami kenaikan pada pemaparan 0-20 hari. Di atas 20 hari hanya mengalami kenaikan yang relatif kecil mendekati nilai yang stabil. Prosentase kenaikan sebesar 15-34%. Perubahan konsentrasi merkuri dan kadmium dalam bentuk grafik tercantum pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Kandungan Merkuri Dalam Lumpur Pada Bak Uji 1, 2 dan 3

Kesetimbangan merkuri dan kadmium terjadi akibat proses fisika, kimia, dan biologis yang dalam air pada bak uji. Berkurangnya konsentrasi merkuri dan kadmium dalam air disebabkan adanya pengendapan, penguapan, menempel pada bak, terakumulasi dalam makanan ikan yang dipaparkan dan terbioakumulasi oleh ikan uji.

Kesetimbangan merkuri dan kadmium dapat terjadi akibat proses fisika, kimia dan biologis yang terjadi dalam air pada bak uji. Berkurangnya konsentrasi merkuri dan kadmium dalam air dapat disebabkan karena adanya pengendapan, penguapan, menempel pada dinding bak, terakumulasi dalam makanan ikan yang dipaparkan dan terbioakumulasi oleh ikan uji. Penurunan pH dan DO pada awal sampai pertengahan waktu pemaparan sebenarnya dapat melarutkan senyawa merkuri dan kadmium yang mengendap, sehingga menaikkan konsentrasi dalam air.

Namun akibat pertumbuhan mikroorganisme aerobik menyebabkan terakumulainya senyawa merkuri dan kadmium tersebut dalam partikulat tersuspensi yang ada dalam jumlah yang besar. Proses flokulasi yang terjadi mengakibatkan pengendapan dan mengurangi konsentrasi merkuri dan kadmium dalam air. Sebaliknya akibat proses pengendapan ini menyebabkan bertambahnya kandungan merkuri dan kadmium dalam lumpur. Penurunan konsentrasi dalam air dapat juga disebabkan proses penguapan dan menempelnya senyawa-senyawa merkuri dan kadmium walaupun dalam jumlah yang relatif kecil.

Pengaruh yang sudah pasti menurunkan konsentrasi merkuri dan kadmium dalam air adalah akibat terakumulasi dalam makanan ikan yang dipaparkan

dan terbioakumulasi dalam tubuh ikan uji. Apalagi pada awal waktu pemaparan, bak uji mempunyai populasi ikan yang paling tinggi karena baru sebagian kecil yang mati dan diambil sebagai sampel.

Proses bioakumulasi pada bak uji 4 yang dioperasikan dengan menambahkan makanan buatan, mempunyai kecepatan bioakumulasi merkuri maupun kadmium dalam daging ikan yang lebih besar daripada bak uji 5 yang dibiarkan secara alamiah. Hal ini dimungkinkan karena pada bak uji 5, walaupun kandungan merkuri dan kadmium dalam makanan alamiah diduga jauh lebih tinggi daripada makanan buatan, tetapi pengkonsumsian berjumlah sedikit bila dibandingkan dengan pengkonsumsian makanan ikan buatan (± 65 dari berat tubuh ikan/hari). Keterbatasan jumlah konsumsi makanan alamiah disebabkan adanya ruang gerak ikan yang terbatas hanya di dalam bak uji, sehingga tidak dapat mencari makanan secara bebas.

Daging ikan dari bak uji 4 mempunyai kandungan rata-rata merkuri dan kadmium masing-masing sebesar 0,244 dan 1,833 mg/kg berat basah pada waktu pemaparan 60 hari, sedangkan dari bak uji 5 mempunyai kandungan rata-rata sebesar 0,219 dan 1,693 mg/kg berat basah.

Pada bak uji 5, nilai kandungan merkuri dalam daging ikan mujair sesuai dengan persamaan garis lurus $Y = 0,00355 X + 0,00703$ ($r = 99,2\%$). Sedangkan kandungan kadmium sesuai fungsi garis lurus $Y = 0,0281 X + 0,0003$ ($r = 98,5\%$). Sumbu X berupa fungsi waktu (hari) dan sumbu Y berupa fungsi kandungan merkuri atau kadmium dalam daging ikan mujair.

Nilai gradien dan koefisien korelasi pada persamaan garis lurus tersebut signifikan pada tingkat keyakinan 95% ($p=0,05$) dari analisa statistik distribusi t. dari hasil tersebut maka pengaruh yang diberikan dari makanan buatan (sebelumnya telah dipaparkan dalam air waduk selama 2 jam) sebesar $\pm 6\%$ dari berat tubuh ikan per hari, mempunyai rata-rata kecepatan bioakumulasi merkuri dan kadmium (gradien fungsi) masing-masing lebih besar 7,2% dan 7,6% bila dibandingkan dengan kondisi alamiah.

Dari persamaan garis lurus untuk bak uji 5, nilai bioakumulasi merkuri dalam daging ikan mujair di waduk pematuan pada waktu pemaparan 60 hari

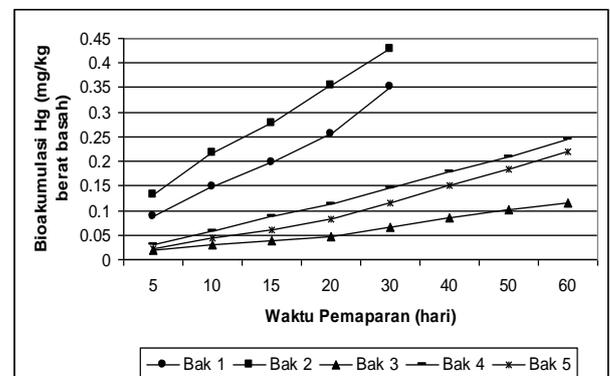
dapat dihitung, yaitu sebesar $0,2203 \pm 0,0065$ mg/kg berat basah ($p = 0,05$) dan akan memiliki kandungan merkuri yang melebihi ambang batas pengkonsumsian ($> 0,5$ mg/kg berat basah) pada waktu pemaparan kurang lebih di atas 136 hari.

Untuk kandungan kadmium dalam daging ikan mujair, pada waktu pemaparan 60 hari mempunyai nilai sebesar $1,689 \pm 0,072$ mg/kg berat basah dan melebihi ambang batas pengkonsumsian ($> 1,7$ mg/kg berat basah) pada waktu pemaparan kurang lebih di atas 60 hari.

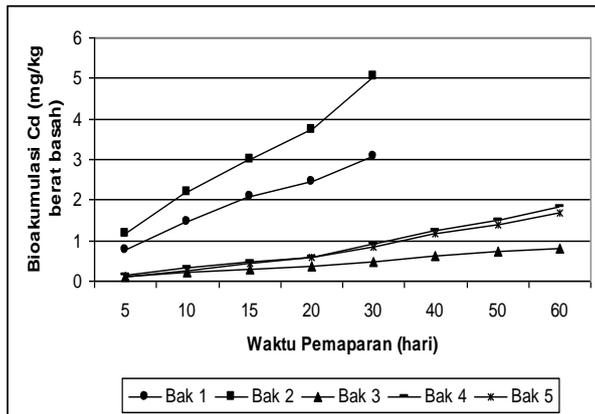
Untuk bak 1, 2, dan 3 yang dioperasikan dengan sistem *static test*, penyerapan merkuri dan kadmium dalam daging ikan cenderung merupakan fungsi garis lengkung. Pada awal pemaparan cenderung mempunyai kecepatan bioakumulasi merkuri dan kadmium dalam daging ikan yang tinggi, tetapi kemudian menurun dan mempunyai kecepatan bioakumulasi relatif stabil pada pertengahan sampai akhir waktu pemaparan. Hal ini terjadi karena konsentrasi merkuri dan kadmium dalam air mengalami penurunan selama dilakukan penelitian walaupun konsentrasi dalam lumpur bertambah.

Nilai rata-rata bioakumulasi merkuri dalam daging ikan pada akhir waktu pemaparan (30 hari untuk bak uji 3, 60 hari untuk bak uji 1 dan 2), pada bak uji 1, 2, dan 3 masing-masing sebesar 0,35; 0,428; dan 0,116 mg/kg berat basah. Sedangkan untuk nilai rata-rata bioakumulasi kadmium masing-masing sebesar 3,069; 5,039; dan 0,801 mg/kg berat basah.

Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan bioakumulasi merkuri dan kadmium yang terjadi pada daging ikan mujair pada bak uji 1 sampai dengan bak uji 5.



Gambar 5. Bioakumulasi Merkuri Pada Daging Ikan Mujair Dari Bak Uji 1



Gambar 6. Bioakumulasi Kadmium Pada Daging Ikan Mujair Dari Bak Uji 1

Secara teoritis, kecepatan bioakumulasi logam berat berbanding lurus dengan pemaparan konsentrasinya dalam air. Dari analisa data dan perhitungan, peningkatan kecepatan bioakumulasi merkuri dan kadmium pada daging ikan mujair pada tiap peningkatan pemaparan konsentrasi merkuri dan kadmium sebesar $1\mu\text{g/l}$ relatif konstan (fungsi garis lurus). Fungsi garis lurus ini didapatkan dari pengolahan data dari bak uji 1, 2 dan 3 yang diooperasikan secara static test dan memberikan makanan buatan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Konsentrasi merkuri dan kadmium dalam air di waduk pematuan PT SIER Surabaya, masih berada di bawah ambang batas Baku Mutu Air Golongan C, yaitu sebesar $0,967 \pm 0,138 \mu\text{g/L}$ Hg dan $8,67 \pm 1,02 \mu\text{g/L}$ Cd ($p = 0,05$). Kandungan merkuri pada daging ikan mujair di waduk pematuan PT SIER Surabaya (Y) pada waktu pemaparan (X) tertentu, sesuai dengan persamaan $Y = 0,00355 X$

+ $0,00703$, sedangkan kandungan kadmium sesuai dengan persamaan $Y = 0,0281 X + 0,0003$ ($p = 0,05$) pada rentang waktu pemaparan 0-60 hari dengan ukuran ikan mujair 8-12 cm pada awal waktu pemaparan. Kandungan merkuri dan kadmium dalam daging ikan mujair di waduk pematuan PT SIER Surabaya berdasarkan hasil analisa dengan batasan-batasan yang digunakan akan melebihi ambang batas untuk pengonsumsi ($> 0,5 \text{ mg Hg/kg}$ berat basah $> 1,7 \text{ mg Cd/kg}$ berat basah) pada pemaparan masing-masing kurang lebih di atas 136 hari dan 60 hari.

4.2. Saran

Perlu meninjau kembali standar Baku Mutu Air Golongan C di Indonesia, yang ternyata masih berpotensi untuk terjadinya bioakumulasi merkuri dan kadmium yang melebihi ambang batas pengonsumsi pada ikan, khususnya ikan mujair, untuk rentang waktu pemaparan yang cukup pendek.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (1992). *Aquatic Toxicology*. Elsevier Science Publisher. B.V. Amsterdam.
- Anonim. (1993). *Aquatic Toxicology*. Elsevier Science Publisher. B.V. Amsterdam.
- Anonim. (1994). *Aquatic Toxicology*. Elsevier Science Publisher. B.V. Amsterdam.
- O'neil. P. (1993). **Environmental Chemistry**. Edisi ke-2.
- Sugiarto. (1988). **Teknik Pembenihan Ikan Mujair dan Nila**. CV Simplex, Jakarta.