

# Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Hubungannya dengan Laju Pertumbuhan Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*)

Sumah Yulaipi dan Aunurohim

Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail:* aunurohim@bio.its.ac.id

**Abstrak**—Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bioakumulasi logam berat timbal (Pb) dan hubungannya dengan laju pertumbuhan ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*). Penelitian ini meliputi uji pendahuluan penentuan konsentrasi  $PbCl_2$ , persiapan ikan uji, uji AAS (Atomic Absorbtion Spectrophotometry), pengamatan pertumbuhan ikan dengan parameter yang diamati adalah panjang dan berat ikan. Hasil uji pendahuluan penentuan konsentrasi  $PbCl_2$  diperoleh nilai  $LC_{50}$  96jam sebesar 313,232 mg/L. Variasi konsentrasi yang digunakan adalah 0%; 2,5%; 5%; dan 10% dari  $LC_{50}$  96jam. Konsentrasi timbal (Pb) dan hari paparan mempengaruhi konsentrasi timbal (Pb) pada daging ikan dengan nilai  $p$  pada uji ANOVA two – way adalah 0,000 dan konsentrasi yang paling berpengaruh adalah konsentrasi 10%  $LC_{50}$  96jam pada hari paparan ke – 30. Terkait laju pertumbuhan ikan semakin besar konsentrasi yang digunakan dan semakin lama paparan timbal, maka laju pertumbuhan (laju pertumbuhan spesifik dan laju pertumbuhan panjang harian ) menurun, sedangkan setelah dilakukan uji ANOVA one – way menurunnya laju pertumbuhan spesifik dan laju pertumbuhan panjang harian ternyata tidak dipengaruhi oleh kandungan logam berat timbal (Pb) yang ada di dalam daging ikan. Hal ini dapat diketahui dari nilai  $p$  uji ANOVA one – way pada laju pertumbuhan spesifik (SGR) adalah 0,453 dan nilai  $p$  pada laju pertumbuhan panjang harian sebesar 0,223.

**Kata Kunci**—daging, *Oreochromis mossambicus*,  $PbCl_2$ , konsentrasi, Laju pertumbuhan

## I. PENDAHULUAN

Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat beracun dan berbahaya, banyak ditemukan sebagai pencemar dan cenderung mengganggu kelangsungan hidup organisme perairan [1]. Adanya timbal (Pb) yang masuk ke dalam ekosistem dapat menjadi sumber pencemar dan dapat mempengaruhi biota perairan seperti mematikan ikan terutama pada fase juvenil karena toksisitasnya tinggi [2]. Timbal (Pb) yang masuk ke dalam perairan dapat berasal dari limbah buangan industri kimia, industri percetakan, industri yang menghasilkan logam dan cat.

Akumulasi logam berat pada ikan dapat terjadi karena adanya kontak antara medium yang mengandung toksik dengan ikan. Kontak berlangsung dengan adanya pemindahan zat kimia dari lingkungan air ke dalam atau permukaan tubuh ikan, misalnya logam berat masuk melalui insang. Masuknya logam berat ke dalam tubuh organisme perairan dengan tiga cara yaitu melalui makanan, insang, dan difusi melalui permukaan kulit [3].

Ikan merupakan bagian dari makanan manusia dan banyak penelitian yang dilakukan untuk mengetahui polutan logam yang dikandung oleh ikan. Kandungan logam yang ada pada tubuh (daging) ikan dianalisis karena merupakan bagian penting yang dikonsumsi manusia [4]. Logam berat dapat terakumulasi di dalam tubuh suatu organisme dan tetap tinggal dalam jangka waktu lama sebagai racun. Logam tersebut dapat terdistribusi ke bagian tubuh manusia dan sebagian akan terakumulasikan melalui berbagai perantara salah satunya adalah melalui makanan yang terkontaminasi oleh logam berat. Jika keadaan ini berlangsung terus menerus dalam jangka waktu lama dapat mencapai jumlah yang membahayakan kesehatan manusia [5]. Manusia dan hewan mengakumulasi logam berat dari air yang diminum, udara, tanah yang terkontaminasi logam berat [6]. Kandungan logam berat pada ikan berbeda – beda pada tiap bagiannya. Konsentrasi akumulasi logam berat pada ikan lebih tinggi pada organ seperti gonad, tulang, dan kepala. Pada bagian daging ikan konsentrasi logam berat yang terakumulasi lebih kecil tetapi pada bagian ini yang lebih sering dikonsumsi oleh manusia. *Oreochromis mossambicus* merupakan bioindikator untuk monitoring polusi yang ada pada air tawar [7]. *Oreochromis mossambicus* berpotensi mengakumulasi logam berat. Selain itu, ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*) mempunyai toleransi yang besar terhadap kadar garam atau salinitas [8].

Logam berat juga dapat menghambat laju pertumbuhan ikan. Toksisitas logam berat timbal (Pb) dapat memberikan pengaruh terhadap laju pertumbuhan, semakin lama pemaparan timbal dan semakin tinggi konsentrasi timbal akan menurunkan laju pertumbuhan. Timbal (Pb) dalam tubuh dengan konsentrasi yang tinggi akan menghambat aktivitas enzim. Penghambatan aktivitas enzim akan terjadi melalui pembentukan senyawa antara logam berat dengan gugus sulfhidril (S-H) [3]. Enzim – enzim yang memiliki gugus S-H merupakan kelompok enzim yang paling mudah terhalang kerjanya. Hal tersebut disebabkan karena gugus S-H mudah berikatan dengan ion – ion logam berat yang masuk ke dalam tubuh, akibat dari ikatan yang terbentuk antara gugus S-H dan logam berat, daya kerja yang dimiliki oleh enzim menjadi sangat berkurang atau sama sekali tidak bekerja [1]. Keadaan seperti ini akan merusak sistem metabolisme tubuh. Timbal

dalam aliran darah sebagian besar diserap dalam bentuk ikatan dengan eritrosit. Timbal dapat mengganggu enzim oksidase dan akibatnya menghambat sistem metabolisme sel. Energi yang dihasilkan dari metabolisme digunakan tubuh untuk aktivitas tubuhnya dan sisa dari energi tersebut akan digunakan untuk pertumbuhan. Jika metabolisme terganggu maka pertumbuhan juga akan terganggu.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Zoologi Jurusan Biologi FMIPA ITS dan dilaksanakan mulai bulan Nopember 2012 - Januari 2013. Analisis konsentrasi logam berat Pb pada daging ikan dilakukan di Laboratorium Lingkungan Pusat Studi Lingkungan dan Pemukiman LPPM-ITS.

Bahan – bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*), PbCl<sub>2</sub>, air, pelet. Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu akuarium, aerator, neraca digital, *Atomic Absorbtion Spectrophotometry* (AAS), alat bedah, papan lilin, botol sampel.

## III. URAIAN PENELITIAN

### A. Pembuatan Media dan Ikan Uji

Larutan PbCl<sub>2</sub> dicampur dengan air PDAM yang sebelum digunakan diendapkan terlebih dahulu selama dua hari. Jumlah larutan PbCl<sub>2</sub> disesuaikan dengan konsentrasi yang diinginkan.

Ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*) ukuran 2 – 2,5 gram sejumlah 250 ekor yang diperoleh dari tempat budidaya diaklimasi selama dua minggu. Ikan diberi pakan pelet setiap dua kali sehari dan dibersihkan kotoran, serta diganti airnya setiap empat hari sekali.

### B. Uji Pendahuluan Penentuan Konsentrasi PbCl<sub>2</sub>

Ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*) juvenil sebanyak 20 ekor dengan berat 2,88 – 3,5 gram dengan ukuran panjang 5 – 7 cm dipilih secara acak setelah masa aklimasi, lalu dipindahkan ke masing-masing akuarium pengujian yang berisi PbCl<sub>2</sub> dengan konsentrasi yang berbeda-beda, yaitu antara 0 ppm, 20 ppm, 40 ppm, 80 ppm, 160 ppm, 320, serta 640 ppm dan dilengkapi *filter pump* selama 96 jam. Volume media disesuaikan dengan satu liter air untuk 0,8 gram ekor ikan. Kematian ikan dicatat setiap 24 jam dan dicari konsentrasi *sublethal* dengan menggunakan *Probit Analysis dengan menggunakan software SPSS 17* untuk uji sesungguhnya. Konsentrasi zat yang digunakan dalam uji sesungguhnya/ uji pengaruh yaitu antara 0 – 10% dari LC<sub>50</sub> 96 jam, yang kemudian dimodifikasi intervalnya menjadi 0% dari LC<sub>50</sub>; 2,5% dari LC<sub>50</sub>; 5% dari LC<sub>50</sub>; dan 10% dari LC<sub>50</sub>.

### C. Uji Sesungguhnya

Ikan Mujair dimasukkan ke dalam akuarium yang sudah berisi PbCl<sub>2</sub> dengan konsentrasi 0% dari LC<sub>50</sub>; 2,5% dari LC<sub>50</sub>; 5% dari LC<sub>50</sub>; dan 10% dari LC<sub>50</sub> selama 30 hari. Enam

ekor ikan diambil dari akuarium untuk dianalisis kandungan logam berat timbal (Pb) pada daging ikan dengan mempertimbangkan ulangan sebanyak tiga kali. Pengukuran kandungan timbal (Pb) dalam daging ikan mujair dilakukan pada semua perlakuan dan kontrol pada hari ke- 0, 10, 20, dan 30 penelitian [3].

Analisa konsentrasi kandungan timbal (Pb) pada daging ikan akan dianalisa menggunakan *Atomic Absorbtion Spectrophotometry* (AAS) [9].

Laju pertumbuhan yang diamati adalah laju pertumbuhan spesifik (SGR(*Specific Growth Rate*)) dan laju pertambahan panjang harian.

Laju pertumbuhan spesifik diukur menggunakan rumus:

$$SGR = (\ln(W_t) - \ln(W_1)) \times \frac{100}{t}$$

SGR (*Specific growth rate*) merupakan laju pertumbuhan spesifik dengan satuan (% *body weight (BW)/ day*); W<sub>t</sub> yaitu berat rata – rata pada akhir penelitian (gram); W<sub>1</sub> merupakan berat rata – rata pada awal penelitian (gram); t adalah waktu (hari) [10].

Panjang pertambahan harian tubuh ikan dihitung dengan rumus:

$$dL = \frac{L_{end} - L_{start}}{t} \times 10$$

dL merupakan pertumbuhan panjang harian dari individu (mm/d), L<sub>end</sub> yaitu panjang ikan pada akhir penelitian (cm), L<sub>start</sub> adalah panjang ikan pada awal penelitian (cm), t merupakan waktu (hari) [11].

### D. Rancangan Penelitian dan Analisa Data

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan empat perlakuan dan tiga kali pengulangan.

Data yang diperoleh akan di analisa menggunakan ANOVA *two-way* dengan menggunakan untuk mengetahui apakah konsentrasi PbCl<sub>2</sub> yang ada di air dan waktu pemaparan berpengaruh terhadap akumulasi Pb yang ada di dalam daging ikan. Data yang diperoleh dari perhitungan laju pertumbuhan di analisa menggunakan ANOVA *one – way* untuk mengetahui pengaruh akumulasi logam berat timbal (Pb) pada daging ikan terhadap laju pertumbuhan ikan

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Uji Penentuan Konsentrasi PbCl<sub>2</sub>

Uji penentuan konsentrasi PbCl<sub>2</sub> dilakukan pada konsentrasi 0, 20, 40, 80, 160, 320, dan 640 mg/L dengan jumlah ikan sebanyak 20 ekor. Respon ikan uji terhadap konsentrasi selama paparan 96 jam ditampilkan pada gambar 1.

Ikan akan mempertahankan dirinya setelah mendapat paparan timbal. Hal ini dilakukan untuk mempertahankan tubuh dalam kondisi homeostasis yang akan mengakibatkan meningkatnya metabolisme tubuh dan kebutuhan oksigen. Masuknya logam berat pada ikan dapat melalui insang,

permukaan tubuh, mekanisme *osmoregulasi* dan penyerapan melalui makanan. Pengaruh bahan toksik tersebut ditentukan oleh sifat toksik logam berat timbal dan keberhasilan tubuh untuk melakukan proses detoksifikasi dan ekskresi, sehingga pengaruh sifat toksik masih dapat ditolerir oleh tubuh ikan, jika telah melewati ambang batas maka akan mengakibatkan kematian. Zat *xenobiotik* dalam tubuh ikan akan merangsang ikan melakukan perlawanan secara fisiologis untuk meminimalisir dampak racun yang ditimbulkan. Sedangkan kematian ikan diduga terjadi karena ikan tidak bisa beradaptasi dengan lingkungan yang terpapar timbal [12]. Timbal (Pb) yang masuk ke dalam tubuh juvenile ikan akan bersifat *xenobiotik* yang menghambat kerja *Asetilkolinesterase* (AChE) sehingga terjadi akumulasi asetilkolin (Ach) dalam susunan saraf pusat. Selanjutnya akumulasi tersebut akan menginduksi tremor, inkoordinasi, kejang – kejang sampai dapat mengakibatkan kematian [3].

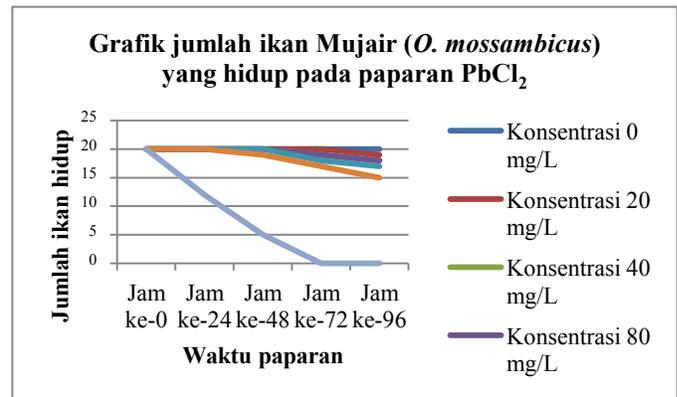
Data mortalitas ikan pada uji ini dianalisis menggunakan probit analisis untuk menentukan  $LC_{50}$ 96jam. Hasil pemaparan pada 24, 48, 72, dan 96 jam diuji probit dan didapatkan hasil  $LC_{50}$ 96jam berturut - turut yaitu 908,224; 523,414; 882,766; 313,232 mg/L.  $LC_{50}$  yang digunakan adalah  $LC_{50}$ 96jam yaitu 313,232 mg/L.. Variasi konsentrasi yang digunakan yaitu 0% dari  $LC_{50}$ 96jam, 2,5% dari  $LC_{50}$ 96jam, 5% dari  $LC_{50}$ 96jam, dan 10% dari  $LC_{50}$ 96jam .

**B. Konsentrasi Timbal (Pb) pada Daging Ikan**

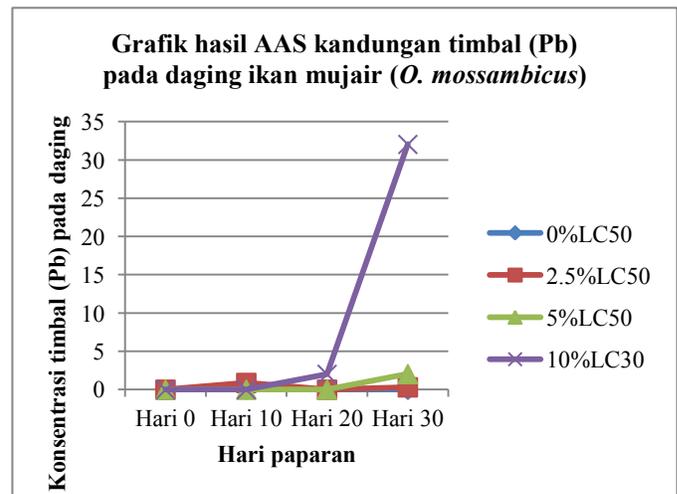
Konsentrasi yang digunakan pada uji sesungguhnya yaitu 0% dari  $LC_{50}$ 96jam, 2,5% dari  $LC_{50}$ 96jam, 5% dari  $LC_{50}$ 96jam, dan 10% dari  $LC_{50}$ 96jam. Konsentrasi timbal (Pb) pada daging ikan dianalisa menggunakan AAS (*Atomic Absorbtion Spectrophotometry*) dan di dapatkan hasil pada Gambar 2.

Berdasarkan gambar 2, penurunan konsentrasi timbal (Pb) pada daging terjadi pada konsentrasi 2,5% $LC_{50}$  pada paparan hari ke 20 dan meningkat lagi pada hari ke 30. Penurunan tersebut diduga terjadi karena kemampuan individu yang berbeda dalam mengakumulasi logam berat. Pada konsentrasi 5% $LC_{50}$ 96jam dan 10% $LC_{50}$ 96jam pada hari pengamatan ke – 0, 10, 20, 30 konsentrasi timbal (Pb) dalam daging ikan meningkat hal ini dikarenakan terjadi akumulasi pada bagian daging ikan.

Pengaruh bahan toksik dalam suatu organisme akan terlihat dalam waktu pemaparan yang berbeda [13]. Logam berat masuk ke dalam organisme dengan berbagai cara yaitu masuk melalui saluran pernafasan (insang), saluran pencernaan (usus, hati, ginjal), melalui rantai makanan, dan melalui penetrasi kulit [14]. Logam berat di air menimbulkan terjadinya proses akumulasi di tubuh organisme seperti terjadinya akumulasi pada daging ikan. Akumulasi biologis dapat terjadi melalui absorbs langsung terhadap logam berat yang ada di dalam air. Akumulasi juga terjadi karena kecenderungan logam berat untuk membentuk senyawa kompleks dengan zat – zat organik yang ada di dalam tubuh organisme [13]. Akumulasi logam berat pada bagian tubuh tertentu dimungkinkan dengan keberadaan gugus metalotionin (sulfhidril –SH) dan amina



**Gambar 1.** Grafik jumlah ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) yang hidup pada paparan  $PbCl_2$  dengan beberapa konsentrasi yang berbeda



**Gambar 2.** Hasil AAS (*Atomic Absorbtion Spectrophotometry*) kandungan timbal (Pb) pada daging ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*)

(nitrogen – NH) yang dapat mengikat logam berat seperti Pb secara kovalen. Logam berat masuk ke dalam sel dan ikut didistribusikan oleh darah keseluruhan jaringan tubuh sehingga dapat terakumulasi pada organ tubuh. Sirkulasi darah menyebabkan logam berat terakumulasi di dalam dinding pembuluh darah dan jaringan ikat yang terdapat disekitar otot ikan [15].

Konsentrasi timbal (Pb) dan hari paparannya berpengaruh terhadap konsentrasi timbal (Pb) pada daging ikan, hal ini diketahui dari analisa data menggunakan ANOVA dengan taraf kepercayaan 95% dengan nilai p yaitu 0,000. Hasil uji Tukey diperoleh konsentrasi yang berpengaruh adalah konsentrasi 10% $LC_{50}$ 96 jam pada hari ke – 30.

**C. Pertumbuhan Ikan**

Pertumbuhan ikan yang diukur adalah SGR (*Specific Growth Rate*) dan pertambahan panjang harian ikan. SGR diperoleh hasil seperti Gambar 3.

SGR (*Spesific Growth Rate*) dan pertambahan panjang harian mengalami kenaikan pada 0% $LC_{50}$ 96jam (kontrol) karena pada kontrol memiliki respon yang baik terhadap makanan sehingga laju pertumbuhannya naik, sedangkan pada konsentrasi 2,5%; 5%, dan 10% $LC_{50}$ 96jam mengalami penurunan. Laju pertambahan panjang harian diperoleh hasil

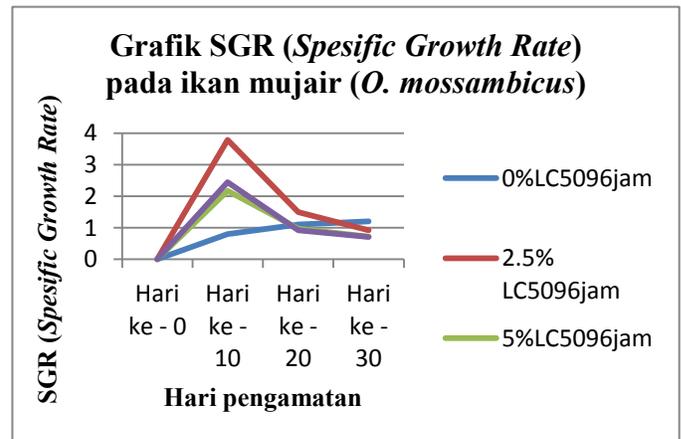
pada gambar 4.

Hubungan antara kandungan timbal (Pb) pada daging ikan tidak mempengaruhi laju pertumbuhan ikan (SGR) dengan hasil ANOVA one – way nilai  $p > 0.005$  yaitu 0,453 (hasil ANOVA lebih detail dapat dilihat pada lampiran 8), begitupula dengan pertambahan panjang ikan tidak dipengaruhi oleh konsentrasi timbal (Pb) yang ada di daging ikan dengan hasil ANOVA one – way nilai  $p > 0.005$  yaitu 0,223.

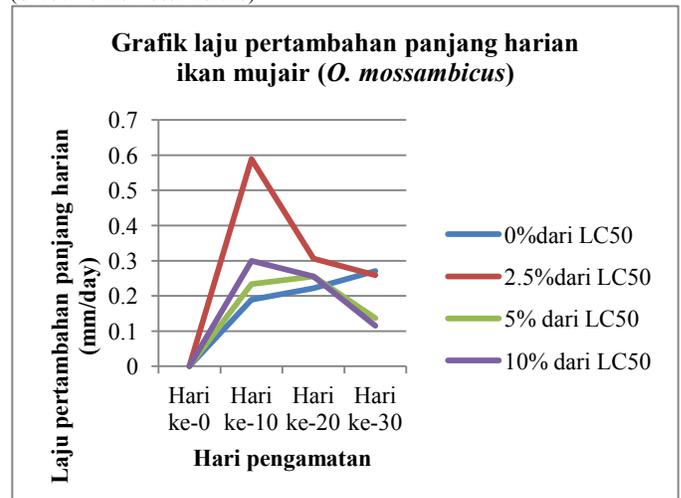
Penurunan SGR (*Specific Growth Rate*) dan laju pertambahan panjang harian yang terjadi pada pertumbuhan ikan diduga disebabkan karena timbal (Pb) tidak hanya diakumulasi pada daging tetapi juga pada organ lain. Menurut beberapa penelitian logam berat timbal lebih banyak terakumulasi pada bagian insang dan hati. Konsentrasi logam berat yang ada pada daging relatif lebih rendah daripada di insang dan hati [7]. Timbal (Pb) lebih banyak terakumulasi pada insang. Kandungan logam berat biasanya paling rendah pada daging dan yang tertinggi pada insang hal ini sesuai dengan peran fisiologi dalam metabolisme ikan dimana jaringan yang diserang oleh logam berat merupakan salah satu jaringan yang berperan aktif dalam metabolisme [16].

Pertumbuhan berkaitan dengan proses metabolisme, jika metabolisme pada tubuh terganggu maka pertumbuhan juga akan terganggu. Proses metabolisme memerlukan energi yang berasal dari makanan, jika semakin kecil kemampuan ikan dalam mengkonsumsi pakan maka semakin kecil pula untuk memperoleh nutrient (karbohidrat, lemak, protein, vitamin, dan mineral) yang seimbang dan energi yang cukup untuk proses metabolisme, aktifitas fisik, dan pertumbuhan. Menurunnya proses metabolisme dapat disebabkan karena kerja organ yang terganggu, salah satunya adalah hati. Hati merupakan organ yang berfungsi untuk detoksifikasi racun dalam tubuh. Jika hati terganggu maka proses metabolisme juga akan terganggu. Adanya Timbal (Pb) dalam tubuh ikan akan mengganggu sintesis Hb, Hb berfungsi untuk mengikat oksigen, jika sintesis Hb dihambat maka kemampuan untuk mengikat oksigen juga semakin kecil, oksigen dibutuhkan tubuh untuk metabolisme. Jika oksigen yang diikat sedikit akan mempengaruhi proses metabolisme. Enzim yang berperan aktif dalam sintesis Heme adalah ALA – D dan Ferrochelatase [17]. Timbal mengganggu system sintesis Hb dengan jalan menghambat konversi Delta Aminolevulinik Acid (delta-ALA) menjadi forbilinogen dan juga menghambat korporasi dari Fe kedalam protoporfirin IX untuk membentuk Hb, dengan jalan menghambat enzim delta-aminolevulinik asid-dehidratase (delta-ALAD) dan ferokelatase. Hal ini mengakibatkan meningkatnya ekskresi korprorfin dalam urin dan delta-ALA serta menghambat sintesis Hb [18].

Terhambatnya aktivitas enzim dapat mempengaruhi proses metabolisme, jika metabolisme terganggu maka pertumbuhan ikan juga akan terganggu. Timbal yang ada di dalam tubuh akan berikatan dengan gugus sulfhidril (- SH) dalam molekul protein dan ini dapat menghambat aktifitas kerja enzim sehingga akan mempengaruhi proses metabolisme. Polutan akan bergabung dengan *active site* dari enzim sehingga akan menginaktifkan enzim tersebut. Timbal (Pb) akan berikatan



Gambar 3. Grafik SGR (*Specific Growth Rate*) pada ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*)



Gambar 4. Grafik laju pertumbuhan panjang harian ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*)

dengan gugus sulfhidril (- SH) pada enzim, Pb akan berikatan kovalen dengan S akan menyebabkan Pb untuk menginaktifkan enzim tersebut [17].

## V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

Besarnya konsentrasi timbal (Pb) pada air dan lamanya paparan berpengaruh terhadap bioakumulasi timbal (Pb) pada daging ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) hal ini dapat dilihat dari hasil uji ANOVA *two – way* dengan nilai  $p$  adalah 0,000, konsentrasi yang paling berpengaruh adalah konsentrasi 10%LC<sub>50</sub>96jam pada hari ke - 30. Semakin besar konsentrasi dan semakin lama paparan akan menyebabkan konsentrasi timbal (Pb) dalam daging meningkat.

Laju pertumbuhan ikan yaitu laju pertumbuhan spesifik (SGR) dan laju pertambahan panjang ikan menurun. Semakin besar konsentrasi timbal (Pb) pada air dan semakin lama paparan akan menurunkan laju pertumbuhan. Tetapi laju pertumbuhan tidak dipengaruhi oleh bioakumulasi kandungan timbal (Pb) pada daging ikan. Hal ini dapat diketahui dari hasil uji ANOVA *one – way* nilai  $p$  pada laju pertumbuhan spesifik (SGR) adalah 0,453 dan nilai  $p$  pada laju pertambahan panjang

harian sebesar 0,223.

## VI. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis SY. mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Zoologi Jurusan Biologi ITS dan Laboratorium Pusat Studi Lingkungan dan Pemukiman LPPM – ITS.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Palar, H. 2002. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Rineka Cipta, Jakarta
- [2] Darmono. 2006. Lingkungan Hidup dan Pencemaran. UI-press : Jakarta
- [3] Sahetapy, J. M. 2011. Toksisitas Logam Berat Timbal (Pb) dan Pengaruhnya pada Konsumsi Oksigen dan Respon Hematologi Juvenil Ikan Kerapu Macan. Thesis. Pasca Sarjana IPB, Bogor
- [4] Usero, J. C. Izquierdo, J. Morillo, I. Gracia. 2003. Heavy Metal in Fish (*Solea vulgaris*, *Anguilla Anguilla*, and *Liza aurata*) from Salt Marshes on The Southern Atlantic Coast of Spain. *Environment International* 29 (2003) 949 – 956
- [5] Sembiring, R. 2009. Analisis Kandungan Logam Berat Hg, Cd, dan Pb pada Daging Kijing Lokal (*Pilsbryconcha exilis*) dari Perairan Situ gede, Bogor. Skripsi. Departemen Teknologi Perairan FPIK. ITB
- [6] Nakayama, S.M.M., Y. Ikenaka, K. Muzandu, K. Choongo, B. Oroszlany, H. Teraoka, N. Mizuno, M. Ishizuka. 2010. Heavy Metal Accumulation in Lake Sediments, Fish (*Oreochromis niloticus* and *Serranochromis thumbergi*) and Crayfish (*Cherax quadricarius*) in Lake Itzhi – tezhi and Lake Karibia, Zambia. *Arch Environ Contam Toxicol* (2010) 59: 291 – 300
- [7] Arain, M. B., T. G. Kazi, M. K. Jamali, N. Jalbani, H. I. Afridi, A. Shah. 2008. Total Dissolved and Bioavailable Elements in Water and Sediment Samples and Their Accumulation in *Oreochromis mossambicus* of Polluted Manchar Lake. *Chemosphere* 70 (2008) 1845 – 1856
- [8] Suseno, H., Budiawan. 2010. Bioakumulasi Anorganik dan Metal Merkuri oleh *Oreochromis mossambicus*: Pengaruh Konsentrasi Merkuri Anorganik dan Metal Merkuri dalam Air. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah* Vol 13 No 1, ISSN 1410 – 9565
- [9] Dai, W., H. Du, L. Fu, H. Liu, Z. Xu. 2010. Effect of Montmorillonite on Dietary Lead (Pb) Accumulation in Tissue of Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Applied Clay Science* 47 (2010) 193 – 195
- [10] Schram, E., M.C.J. Verdegem, R.T.O.B.H. Widjaja, C.J. Kloet, A. Foss, R. Schelvis – Smit, B. Roth, A.K. Imsland. 2009. Impact of Increased Flow Rate on Specific Growth Rate of Juvenil Turbot (*Scophthalmus maximus*, Rafinesque 1810). *Aquaculture* 292: 46 – 52
- [11] Fonds, M., R. Cronie, A.D. Vethaak, P.V.D. Puyl. 1992. Metabolism, Food Consumption and Growth of Plaice (*Pleuronectes platessa*) and Flounder (*Platichthys Flesus*) in Relation to Fish Size and Temperatur. *Netherlands Journal of Sea Research* 29(1-3): 127 - 143
- [12] Connel, D.W., Miller, G. J. 1995. Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran. UI: Jakarta
- [13] Sabilu, K. 2010. Studi Toksisitas Nikel (Ni) terhadap Konsumsi Oksigen, Kondisi Hematologi, Histopatologi dan Stress Sekunder Juvenil Ikan Bandeng (*Chanos chanos*). Thesis. IPB
- [14] Zainuri, M., Sudrajat, E.S. Siboro. 2011. Kadar Logam Berat Pb pada Ikan Baronang (*Siganus* sp.), Lamun, Sedimen dan Air Di Wilayah Pesisir Kota Bontang - Kalimantan Timur. *Jurnal Kelautan* Volume 4 No 2.
- [15] Harteman, E. 2011. Dampak Kandungan Logam Berat terhadap Kemunculan Polimorfisme Ikan Badukang (*Arius maculatus* Fis&Bian) dan Sembilang (*Plotosus canius* Web&Bia) di Muara Sungai Kahayan serta Katingan, Kalimantan Tengah. ITB. Bogor
- [16] Squadron, S., M. Prearo, P. Brizio, S. Gavinelli, M. Pellegrino, T. Scanzio, S. Guarise, A. Benedetto, M. C. Abete. 2012. Heavy Metals Distribution in Muscle, Liver, Kidney, and Gill of European Catfish (*Silurus glanis*) from Italian Rivers. *Chemosphere* xxx
- [17] Landis, Wayne G., R. M. Solfield, Ming – Hoyu. 2011. Introduction to Environmental Toxicology Molecular Substructures to Ecological Landscapes 4<sup>th</sup> Edition. CRC Press Taylor & Franciss Group
- [18] Purnomo, T., Muchyiddin. 2007. Analisa Kandungan Timbal (Pb) pada Ikan Bandeng (*Chanos chanos*) di Tambak Kecamatan Gresik. *Neptunus* vol 14 No 1: 69 – 77.