

# Aktivitas Makan dan Pertumbuhan Bulu Babi *Deadema setosum* Akibat Paparan Logam Berat Kadmium

Dominggus Rumahlatu

Program Studi Pendidikan Biologi, FKIP Universitas Pattimura,  
Jl. Dr. Tamaela Ambon. Indonesia.

Telp/Fax. 0911-312343 HP. 081343007114; E-mail: dominggus\_amq@yahoo.co.id

## Abstrak

Kadmium (Cd) dikenal sebagai logam berat nonesensial bagi tubuh dan dapat mempengaruhi berbagai aktivitas biota laut, seperti aktivitas makan dan pertumbuhan. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji aktivitas makan dan pertumbuhan bulu babi *Deadema setosum* akibat paparan Cd selama 4 minggu. Selain itu, dilihat juga bioakumulasi Cd pada gonad dan usus *D. setosum* yang diteliti melalui paparan logam berat Cd pada air laut. Pola akumulasi Cd yang terkandung dalam gonad dan usus dianalisa dengan menggunakan Atomic Absorption Spectrofotometer (AAS). Hasil perhitungan pola akumulasi Cd pada usus dan gonad menunjukkan pola yang sama, dimana Cd semakin meningkat selama fase akumulasi, berturut-turut mulai dari pengamatan hari ke 7, 14, 21, dan 28, yakni sebesar 0.08, 0.16, 0.21, 0.32 ppm untuk usus dan 0.06, 0.11, 0.16, dan 0.30 ppm untuk gonad. Selain itu, hasil pengamatan aktivitas makan berdasarkan lamanya waktu makan *D. setosum* pada bak perlakuan dengan konsentrasi Cd 1.0, 6.0, dan 12.0 µg/L menunjukkan bahwa *D. setosum* lebih banyak diam, sedikit melakukan aktivitas makan, dan rentang waktu makannya semakin lama, namun pada bak dengan konsentrasi Cd 1.0 < 6.0 < 12.0. Hal ini mengindikasikan bahwa aktivitas makan *D. setosum* dipengaruhi oleh adanya akumulasi Cd yang berakibat pada perlambatan pertumbuhannya.

**Kata kunci:** logam berat, kadmium, aktivitas makan, pertumbuhan, *Deadema setosum*

## Abstract

### Feeding Activity and Growth Sea Urchins *Deadema setosum* Due to Heavy Metal Cadmium Exposure

Cadmium (Cd) is known as a nonessential heavy metal for the body and can affect a variety of marine activities, such as feeding activity and growth. This research was conducted to assess the feeding activity and growth of the sea urchin *Deadema setosum* exposure to Cd for 4 weeks. In addition, the views also bioaccumulate Cd in gonads and intestine *D. setosum* studied through exposure to heavy metals Cd in sea water. Cd accumulation patterns contained in the gonads and intestines analyzed using Atomic Absorption Spectrofotometer (AAS). The results of the calculation of the accumulation pattern of Cd in the gut and gonad showed a similar pattern, where Cd has increased during the accumulation phase, respectively, starting from the observation days 7, 14, 21, and 28, ie at 0.08, 0.16, 0.21, 0.32 ppm for intestine and 0.06, 0.11, 0.16, and 0.30 ppm for gonads. In addition, observations feeding activity based on the length of time to eat *D. setosum* the bath treatment with Cd concentrations of 1.0, 6.0, and 12.0 µg/L showed that *D. setosum* more silent, less feeding activity, and the longer the feeding period, but in the tank with Cd concentrations 1.0<6.0<12.0. This indicates that the *D. setosum* feeding activity influenced by the presence of Cd accumulation resulting in its deceleration of growth.

**Key words:** heavy metal, cadmium, eating activity, growth, *Deadema setosum*

## Pendahuluan

Perubahan yang terjadi pada lingkungan perairan menyebabkan organisme mengalami stres. Menurut Russo et al. (2003) organisme yang mengalami stres diakibatkan oleh stressor lingkungan seperti logam berat dan memiliki kemampuan untuk merespons kontaminasi logam berat. Salah satu logam berat yang memiliki toksisitas tinggi adalah kadmium (Nordic, 2003). Pada lingkungan perairan,

kadmium adalah sumber polusi dari berbagai aktivitas manusia, seperti industri panas bumi, industri bahan bangunan, areal pertambangan, dan industri logam (Schutzendubel et al., 2001; Nordic, 2003; Maanan, 2007).

Kadmium yang masuk ke dalam lingkungan perairan, akan memberikan pengaruh terhadap

aktivitas berbagai biota perairan. Salah satu biota perairan yang sangat sensitif terhadap logam berat Cd adalah bulu babi (Russo *et al.*, 2003; Soualili *et al.*, 2008). Bulu babi *Deadema setosum* merupakan salah satu biota yang hidupnya di bawah garis batas surut terendah. Makanan bulu babi adalah alga, lamun, dan hidupnya mengelompok untuk dapat saling melindungi terhadap ancaman musuh (Rumahlatu, 2007). Secara alami, *Deadema setosum* melakukan mekanisme pertahanan akibat stressor lingkungan. Mekanisme pertahanan tersebut merupakan respons terhadap lingkungan berupa perilaku *covering*/menutup diri dengan materi di sekitar habitatnya (preferensi dan *grazing*) dan perilaku harian (perilaku berpindah, makan, dan istirahat/*resting*) (Aziz, 1994). Schoettger (1996) menjelaskan bahwa respons yang timbul pada tingkatan seluler memang diperlukan untuk memastikan keberadaan logam berat di lingkungan. Dijelaskan oleh Rumahlatu (2012), meskipun bulu babi pada umumnya merupakan organisme perairan yang digunakan dalam banyak penelitian, tetapi penelitian tentang aktivitas makan akibat paparan logam berat belum banyak dikaji. Kajian lebih banyak difokuskan pada penelitian perilaku *covering* bulu babi (Aziz, 1994; Fierce dan Lapin, 2004; Dumont *et al.*, 2007; Nichols, 2009), pertumbuhan dan reproduksi bulu babi (*Tripneustes gratilla* L) yang diberi pakan lamun di laboratorium (Radjab *et al.*, 2010), pertumbuhan populasi bulu babi (*Echinometra mathaei*) di alam (Moningkey, 2010), dan perilaku berpindah dan istirahat *Deadema setosum* yang baru-baru ini dilaporkan oleh Rumahlatu (2012). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk melihat efek konsentrasi logam berat Cd terhadap aktivitas makan dan pertumbuhan bulu babi *D. setosum*. Selain itu, dilihat juga bioakumulasi logam berat Cd pada gonad dan usus *D. setosum* yang diteliti melalui paparan logam berat Cd pada air laut. Penggunaan organ gonad dan usus *D. setosum* dengan asumsi bahwa kedua organ tersebut mudah menyerap logam berat.

## Materi dan Metode

Biota uji dalam penelitian ini adalah bulu babi jenis *D. setosum* hasil penangkaran selama 1 tahun di laboratorium UPT Balai Konservasi Biota Laut LIPI Ambon. Individu *D. setosum* yang digunakan memiliki bobot tubuh 90 g, lingkar atau diameter tubuh 15 cm, dan sebanyak 20 individu.

*D. setosum* dikelompokkan untuk 4 tingkatan konsentrasi logam berat Cd pada bak akuarium (1 bak kontrol dan 3 bak untuk pemaparan konsentrasi  $CdCl_2$ ), dan tiap kelompok digunakan 5 individu sehingga total unit analisis adalah 20. Perlakuan paparan logam berat Cd dilakukan dalam 4 bak

akuarium berukuran 100×60×70 cm, dimana keempat bak tersebut diletakan di atas meja kayu dan diisi dengan air laut sebanyak 200L. Selanjutnya *D. setosum* yang telah dikelompokkan, dimasukkan ke dalam bak akuarium dan tiap bak ditempati 5 individu untuk fase adaptasi selama 1 minggu. Selanjutnya, pada tiap bak akuarium dilakukan perlakuan konsentrasi logam berat berturut-turut 0.0, 1.0, 6.0, 12.0 µg/L Cd terlarut dengan sirkulasi udara bak akuarium menggunakan aerator listrik.

Selama perlakuan, dilakukan pengukuran faktor fisika kimia berupa suhu (26-30°C), pH (7.5-8.5 ppm), salinitas (15-20‰), dan oksigen terlarut (5 mg/L) sebagai variabel kontrol dengan tujuan untuk pergantian air perlakuan apabila faktor fisik kimia air perlakuan berubah dari batas tertinggi dan terendah untuk kehidupan bulu babi pada kondisi alami. Pakan *D. setosum* berupa lamun diberikan sebanyak 30 g/ind/hari pada pagi hari dengan cara mengikat lamun pada bongkahan karang dan diletakan dalam bak perlakuan serta menebar lamun pada permukaan air bak perlakuan. Penggunaan air laut dan pakan berupa lamun untuk perlakuan paparan logam berat Cd, diawali dengan uji pendahuluan untuk kadar Cd dalam air laut dan pakan lamun dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS), dimana kadar logam berat Cd sebesar 0.001 ppm.

Pengamatan aktivitas makan biota uji dilakukan dengan mengukur waktu yang diperlukan setiap individu/menit *D. setosum* selama menangkap lamun, memakan lamun, sampai berakhirnya aktivitas makan yang ditandai dengan aktifitas diam/istirahat. Hasil pengukuran lamanya waktu makan *D. setosum* dalam sehari pada keempat bak perlakuan, hasilnya direratakan ke dalam hari pada awal penelitian dan hari ke-7, 14, 21, dan 28 hari perlakuan.

Pengamatan pertumbuhan (pertambahan berat) *D. setosum* dilakukan dengan menimbang biota uji dengan *Triple Beam Balance* (Ohaus) pada awal penelitian dan hari perlakuan. Setelah hari ke-28 dilakukan pembedahan terhadap 20 individu *D. setosum* untuk memisahkan bagian tubuh gonad dan usus. Sampel gonad dan usus *D. setosum* dianalisa kandungan kadmiumnya di Laboratorium Kimia Universitas Brawijaya dengan menggunakan Metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) (Bilmeyer *et al.*, 2005).

Tingkat akumulasi logam berat Cd dalam usus dan gonad *D. setosum* dihitung berdasarkan Yap *et al.* (2003). Untuk mengetahui pengaruh perlakuan konsentrasi logam berat Cd terhadap pertumbuhan *D. setosum*, maka menggunakan analisis statistik inferensial ANOVA satu jalur (*One Way Anova*) dan dilanjutkan dengan uji Duncan 0,05 untuk mengetahui perbedaan rerata pertumbuhan *D. setosum*.

## Hasil dan Pembahasan

### Aktivitas makan *D. setosum* akibat paparan kadmium

Hasil pengamatan aktivitas makan *Deadema setosum* pada media tanpa logam berat (kontrol) menunjukkan fluktuasi selama 4 minggu (Gambar 1) yang mengindikasikan tidak ada pengaruh logam berat Cd. Hal ini mungkin disebabkan oleh pengaruh jumlah makanan yang dimakan oleh bulu babi yang hidup di bak terkontrol (Radjab et al., 2010) atau berhubungan dengan preferensi makanannya (Aziz, 1994). Pada bak perlakuan 2, 3, dan 4 yang diberi konsentrasi logam berat Cd berbeda menunjukkan bahwa *D. setosum* lebih banyak diam, sedikit melakukan aktivitas makan, dan rentang waktu makannya semakin lama, dimana pada bak yang diberi konsentrasi Cd berbeda, aktivitas makannya semakin lama, yaitu pada bak dengan konsentrasi Cd 1.0<6.0<12.0. Hal ini mengindikasikan bahwa aktivitas makan *D. setosum* dipengaruhi oleh adanya konsentrasi logam berat Cd.

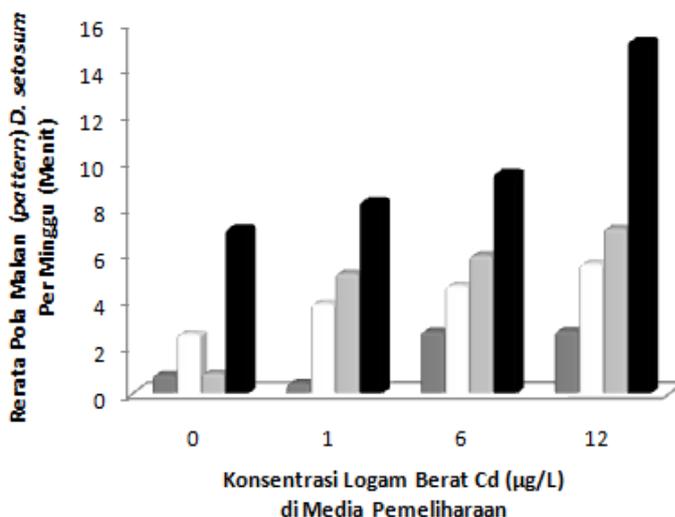
Dibandingkan dengan kondisi alami bulu babi di alam, maka aktivitas *D. setosum* yang lebih banyak diam berhubungan dengan variabel lain yang tidak di ukur, seperti kecepatan gelombang. Menurut Kawamata (2010) bahwa perilaku makan bulu babi sangat dipengaruhi oleh gelombang air sehingga mempengaruhi pergerakannya untuk mencari makan. Aziz (1994) menjelaskan bahwa perilaku makan bulu babi dipengaruhi oleh preferensi dan daya *grazing*-nya. Walaupun, pada penelitian ini, pakan yang diberi hanyalah lamun, karena diketahui *D. setosum* bersifat *omnivora*, namun pada kasus ini dapat disimpulkan bahwa kadar logam berat Cd sangat berpengaruh

bahwa kadar logam berat Cd sangat berpengaruh terhadap perilaku *D. setosum* pada bak yang diberi konsentrasi Cd berbeda. Hal ini terbukti dengan hasil pengamatan, dimana semakin tinggi konsentrasi Cd, maka aktivitas makan *D. setosum* juga semakin lama (Gambar 1), selain dari preferensi dan daya *grazing* *D. setosum*. Selain itu, lamanya waktu makan *D. setosum* disebabkan oleh pengurangan asupan nutrisi, meningkatkan ekskresi dan/atau melakukan penyerapan logam ke dalam jaringan sehingga memungkinkan mekanisme detoksifikasi untuk menghambat logam berat Cd tidak bersifat racun lagi (Valavanidis dan Vlachogianni, 2011).

### Pengaruh kadmium terhadap pertumbuhan

Pertumbuhan (bobot) *Deadema setosum* variasi pada kontrol dan semua perlakuan (Gambar 2). Pertumbuhan *D. setosum* pada bak kontrol tertinggi pada minggu ke-1 (90,59g) dan terendah pada minggu ke-4 (90,14g). Hasil ini menunjukkan bahwa pertumbuhan *D. setosum* dipengaruhi oleh kondisi alami dalam mencari makan di alam yang *omnivore*, sehingga pemberian pakan lamun pada penelitian ini, terlihat pertumbuhan *D. setosum* mengalami fluktuasi. Menurut Radjab (1997) dan Radjab et al. (2010) pertumbuhan bulu babi *Tripneustes gratilla* dewasa berkisar 160,79-161,77g. Bila dihubungkan dengan hasil penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa logam berat Cd berpengaruh terhadap pertumbuhan *D.setosum* jika dibandingkan dengan pertumbuhan bulu babi secara alami di alam maupun pertumbuhan bulu babi yang hanya diberi pakan lamun.

Pertumbuhan *Deadema setosum* pada bak



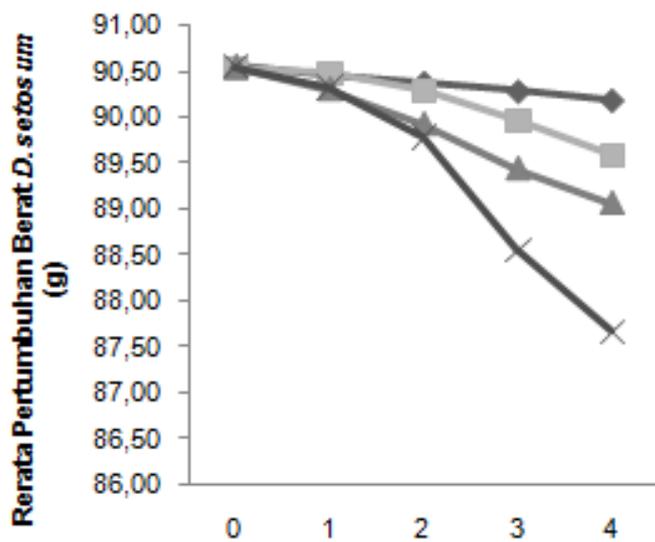
**Gambar 1.** Aktivitas makan *Deadema setosum* pada konsentrasi logam berat Cd berbeda.  
 ■ minggu ke-1; □ minggu ke-2 □ minggu ke-3 ■ minggu ke-4

yang diberi paparan logam berat Cd (Gambar 2) menunjukkan variasi dan semakin menurun selama pemeliharaan. Hal ini terjadi karena adanya akumulasi logam berat Cd di dalam tubuh *D. setosum*. Selain itu, akumulasi logam berat Cd yang tinggi menyebabkan *D. setosum* mengurangi aktivitas makannya (Gambar 2) sehingga *D. setosum* menggunakan cadangan makanan dari sel-sel tubuhnya sebagai sumber energi untuk kelangsungan hidupnya dan berakibat pada penurunan pertumbuhan (bobot) *D. setosum*.

Dijelaskan oleh Jonak et al. (2004) bahwa logam berat memegang peran penting dalam proses fisiologis makhluk hidup, seperti metabolisme, pertumbuhan, dan perkembangan, namun jika berada dalam jumlah yang tinggi, akan menyebabkan terjadi perubahan pada fungsi utamanya dan mengkatalis berbagai perubahan fisiologis (Zangger et al., 1999). Ketika berada di dalam sel, Cd akan menginduksi berbagai jenis mekanisme signal transduksi serta mengaktifkan banyak gen (Daniels dan Andrews, 2003). Salah satu efek langsung Cd ketika terakumulasi di dalam sel adalah mengganggu proses homeostasis zink (Zn), dimana Zn merupakan elemen esensial yang berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan organisme. Adanya akumulasi Cd di dalam tubuh *D. setosum* menyebabkan hewan ini mengalami kekurangan Zn dan berakibat pada penghambatan pertumbuhan (bobot) *D. setosum*. Ditegaskan oleh Smith et al. (2008) bahwa ion  $Zn^{2+}$  merupakan komponen penting berbagai protein regulator dan merupakan subjek dalam pengontrolan homeostasis intraseluler. Sehingga dapat disimpulkan

bahwa sel yang terpapar logam berat Cd secara berulang, maka akan mengganggu kerja Zn sebagai protein regulator dan pengontrolan homeostasis intraseluler yang berakibat pada penghambatan pertumbuhan (bobot) *D. setosum*

Hasil analisis varian pengaruh menunjukkan bahwa logam berat Cd berpengaruh sangat nyata terhadap pertumbuhan bulu babi *D. setosum*. Hasil uji Duncan menunjukkan perbedaan pemberian konsentrasi logam berat Cd, dimana konsentrasi logam berat Cd 12.0  $\mu\text{g/L}$  paling berpengaruh terhadap pertumbuhan *D. setosum* dibandingkan dengan perlakuan konsentrasi logam berat Cd lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat Cd secara nyata memperlambat pertumbuhan *D. setosum*. Semakin tinggi logam berat Cd yang dipaparkan, maka pertumbuhan *D. setosum* juga semakin lambat. Dibandingkan dengan penelitian Radjab et al. (2010), laju pertumbuhan rata-rata bulu babi *Tripneustes gratilla* yang diberi pakan lamun tanpa perlakuan logam berat di laboratorium sebesar 0,11 g/minggu. Radjab (1997) melaporkan bahwa pertumbuhan bulu babi *T. gratilla* yang memakan lamun secara langsung di alam mempunyai penambahan berat harian sebesar 0,07 g/minggu. Hal ini membuktikan bahwa secara alami, bulu babi akan mengalami penambahan berat tubuh, akan tetapi dalam kasus ini, *D. setosum* yang diberi pakan lamun dan dipapar dengan logam berat Cd, terungkap bahwa pertumbuhan *D. setosum* mengalami penurunan berat tubuh. Sorensen (1991, dalam Almeida et al., 2009) menemukan bahwa paparan logam berat Cd dapat menyebabkan



**Gambar 2.** Pertumbuhan *Deadema setosum* selama empat minggu pengamatan .  
 —◆— Kons. Cd 0  $\mu\text{g/L}$  (kontrol); —■— Kons. Cd 1  $\mu\text{g/L}$  ; —▲— Kons. Cd 6  $\mu\text{g/L}$ ; —x— Kons. Cd 12  $\mu\text{g/L}$

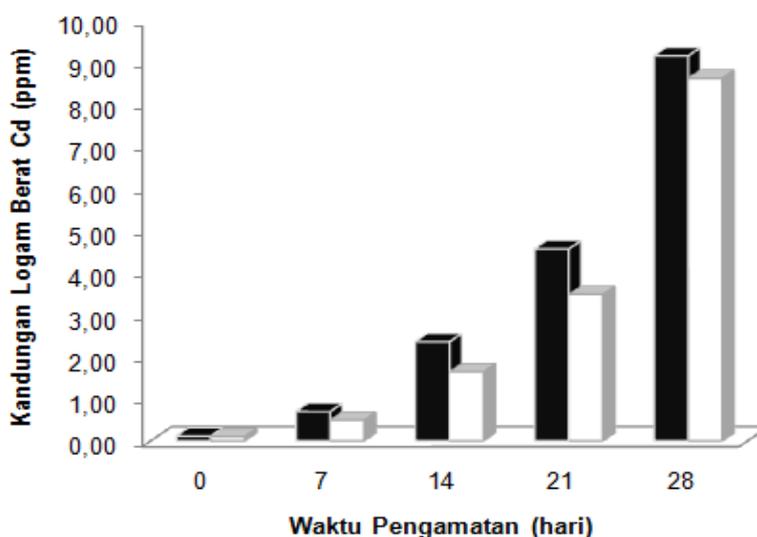
retardasi pertumbuhan dan menghambat pengambilan ion kalsium pada insang ikan. Almeida et al. (2009) mengungkapkan bahwa paparan logam berat Cd menyebabkan perubahan perilaku akibat stres oksidatif *Nile tilapia*. Logam berat Cd yang terakumulasi di dalam sel terlibat dalam aktivitas pertumbuhan dan memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan diatom laut (Purbonegoro, 2008). Hasil ini membuktikan bahwa akumulasi logam berat Cd mengakibatkan perlambatan pertumbuhan pada bulu babi *Deadema setosum*.

**Bioakumulasi logam berat kadmium**

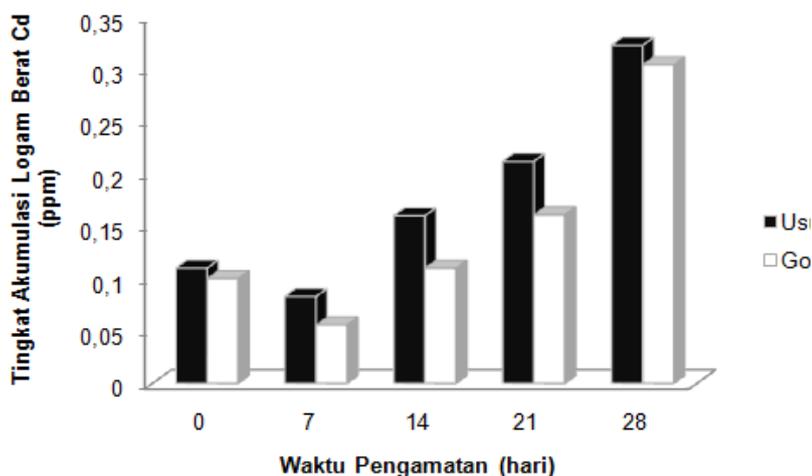
Kandungan logam berat Cd pada usus dan gonad *D. setosum* menunjukkan adanya variasi berdasarkan waktu pengamatan, namun kadar logam berat Cd di usus lebih tinggi dari gonad (Gambar 3). Kandungan ini didapat melalui proses penyerapan Cd terlarut di dalam air dan lamun sebagai makanan. Menurut Zhou et al. (2008) bioakumulasi terjadi ketika organisme mengabsorpsi logam berat dalam jumlah yang melebihi ambang batas dan meliputi beberapa proses yaitu pengambilan (*uptake*), penyimpanan (*storage*) dan pengeluaran (*elimination*). Kadar logam berat Cd yang terakumulasi di dalam usus dan gonad *D. setosum* bervariasi (Gambar 3). Kadar Cd yang bervariasi dikarenakan penyerapan (absorpsi) logam berat pada bagian tubuh *D. setosum* tergantung kebutuhan selnya, walaupun diketahui fungsi usus untuk penyerapan sehingga kadar Cd di usus lebih tinggi (Rumahlatu, 2011).

Hasil perhitungan tingkat akumulasi logam berat Cd pada usus dan gonad *D. setosum* menunjukkan pola akumulasi yang sama. Pola

akumulasi Cd pada usus *D. setosum* seluruh percobaan untuk semua waktu pengamatan, konsentrasi logam berat Cd semakin meningkat selama fase akumulasi. Pola akumulasi pada gonad *D. setosum* juga menunjukkan pola akumulasi yang sama, yakni polanya semakin meningkat (Gambar 4). Akumulasi Cd dalam tubuh *D. setosum* semakin meningkat berdasarkan waktu. Tingginya kandungan Cd dalam tubuh mengindikasikan bahwa daya akumulasi *D. setosum* semakin cepat dan dapat digunakan sebagai biomonitoring yang efektif untuk logam berat Cd di perairan. Dijelaskan oleh Rashid et al. (2009) bahwa akumulasi logam berat Cu pada *Meretrix meretrix* sebesar 0,99 µg/g dan *Meretrix meretrix* dapat digunakan sebagai organisme biomonitoring logam berat Cu, karena kadar akumulasinya semakin tinggi. Sebelumnya, Yap et al. (2003) dalam penelitiannya melaporkan bahwa logam berat Cd yang terakumulasi dalam jaringan tubuh *Perna viridis* menunjukkan pola akumulasi yang tinggi, yakni sebesar 24-38 mg g<sup>-1</sup> per hari dan *Perna viridis* dapat digunakan sebagai spesies biomonitoring logam berat Cd di laut. Hal ini berarti bahwa logam berat Cd dapat terakumulasi pada berbagai jaringan hewan termasuk *D. setosum*. Tingginya kadar logam berat Cd yang terakumulasi pada usus dan gonad mengindikasikan adanya penyerapan yang dilakukan *D. setosum*. Hal ini disebabkan karena sifat logam berat Cd yang bioakumulatif. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, Rumahlatu (2011) melaporkan bahwa konsentrasi logam berat Cd pada *D. setosum* di perairan pulau Ambon, konsentrasi Cd pada usus lebih tinggi daripada gonad, duri, dan cangkang karena penyerapan (absorpsi) logam berat pada *D. setosum* umumnya terkonsentrasi dan terakumulasi pada usus. Penelitian yang dilakukan oleh Vinodhini



**Gambar 3.** Hasil analisa kandungan logam berat Cd pada usus dan gonad *Deadema setosum* berdasarkan waktu pengamatan. ■ usus; □ gonad.



Gambar 4. Hasil perhitungan tingkat akumulasi logam berat Cd pada usus dan gonad *Deadema setosum* berdasarkan waktu pengamatan. ■ usus; □ gonad.

dan Narayanan (2008) menemukan adanya perbedaan akumulasi logam berat Pb, Cd, Ni, dan Cr pada organ tubuh *Cyprinus carpio*, dimana akumulasinya lebih tinggi pada organ hati. Dijelaskan oleh Shah (2005) bahwa adanya perbedaan akumulasi logam berat ini disebabkan oleh kebiasaan makan dan perilaku mencari makan.

### Kesimpulan

Hasil analisa bioakumulasi logam berat Cd pada *Deadema setosum* menunjukkan adanya variasi kandungan kadar logam berat di dalam usus dan gonad berdasarkan waktu pengamatan, namun kadar logam berat Cd di usus lebih tinggi dari gonad. Disisi lain, paparan logam berat Cd yang semakin tinggi, maka aktivitas makan *D. setosum* semakin lama dan banyak melakukan aktivitas diam dan memperlambat pertumbuhan *D. setosum*. Lamanya waktu makan, lebih banyak diam, dan menurunnya berat tubuh *D. setosum* dipengaruhi oleh konsentrasi logam berat Cd yang terakumulasi di dalam tubuh *D. setosum*.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Laboratorium UPT Balai Konservasi Biota Laut LIPI Ambon beserta staf, kepada Kepala Laboratorium Kimia FMIPA UB Malang yang telah menyediakan fasilitas untuk penulis melakukan penelitian hingga tahap akhir penulisan artikel ini, dan kepada para reviewer yang telah mengoreksi artikel ini

### Daftar Pustaka

Almeida, J.A., R.E. Barreto, L.B. Novelli, F.J. Castro, & S.E. Moron. 2009. Oxidative stress

biomarkers and aggressive behavior in fish exposed to aquatic cadmium contamination. *Neotropical Ichthyol.*, 7(1): 103-108.

Aziz, A. 1994. Tingkah laku bulu babi di padang Lamun. *Oseana*, 14(4): 35-43.

Bielmyer, G.K., K.V. Brix, T.R. Capo, & Grosell. 2005. The effects of metals on embryo-larval and adult life stages of the sea urchin, *Diadema antillarum*. *Aquatic Toxicol*, 74: 254-263.

Daniels, P.J., and G.K. Andrews. 2003. Dynamics of the metal-dependent transcription factor complex in vivo at the mouse metallothionein-I promoter. *Nucleic Acids Res.*, 31: 6710-6721.

Dumont, C.P., D. Drolet, I. Desche^nes, & J.N. Himmelman. 2007. Multiple factors explain the covering behaviour in the green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis*. *Animal Behaviour*, published online by Elsevier Ltd. MS. number: A10403.

Fierce, S.E.B., & H.E. Lapin. 2004. Selectivity of Covering Material in Two Sea Urchins, *Tripneustes ventricosus* and *Lytechinus variegatus*. *Dartmouth Studies in Tropical Ecology*, 21: 166-168.

Jonak, C., H. Nakagami, & H. Hirt. 2004. Heavy metal stress. Activation mitogen-activated protein kinase pathways by copper and cadmium. *Plant Physiol.*, 136: 3276-3283.

Kawamata, S. 2010. Inhibitory effects of wave action on destructive grazing by sea urchins: a review. *Bull. Fish. Res. Agen*, 32: 95-102.

- Maanan, M. 2007. Biomonitoring of heavy metals using *Mytilus galloprovincialis* in Safi coastal waters, Morocco. *Environ. Toxicol.*, 22(5):525-31.
- Moningkey, R.D. 2010. Pertumbuhan populasi bulu babi (*Echinometra mathaei*) di perairan pesisir Kima Bajo Kabupaten Minahasa Utara. *J. Perikanan Kelautan*, 6(2): 73-78.
- Nichols, K.D. 2009. The Effects of Predators and Habitat on Sea Urchin Density and Behavior in Southern California Kelp Forests. <http://escholarship.org/uc/item/3zv9w2w2>. Diakses tanggal 25 Januari 2010.
- Nordic. 2003. *Cadmium Review*. Denmark: Prepared by COWI A/S on behalf of the Nordic Council of Ministers.
- Purbonegoro, T. 2008. Pengaruh logam berat kadmium (Cd) terhadap metabolisme dan fotosintesis di laut. *Oseana*, 33(1): 25-31.
- Radjab, A.B., A.S. Khouw, J.W. Mosse, & P.A. Uneputty. 2010. Pengaruh pemberian pakan terhadap pertumbuhan dan reproduksi bulu babi (*Tripneustes gratilla* L) di laboratorium. *Oceanol. Limnol. Indonesia*, 36(2): 243-258.
- Radjab, A.W. 1997. Pertumbuhan dan reproduksi bulu babi *Tripneustes gratilla* di perairan Tamedan, Maluku Tenggara. *Prosiding Seminar Nasional LIPI-UNHAS 1*. Ambon, 4-6 Juli 1997: 149 - 156
- Rashid, W.A., V.L. Wan, & M.H. Abdullah. 2009. Accumulation and Depuration of Heavy Metals in The Hard Clam (*Meretrix meretrix*) under Laboratory Conditions. *Tropical Life Sciences Research*, 20(1): 17-24.
- Rumahlatu, D. 2012. Respons perilaku bulu babi *Deadema setosum* terhadap logam berat kadmium. *Bumi Lestari J. Environ.* 12: 45-54.
- Rumahlatu, D. 2011. Konsentrasi Logam Berat Kadmium pada Air, Sedimen, dan *Deadema setosum* di Perairan Pulau Ambon. *Indonesia J. Mar. Sci.*, 16(2): 78-85.
- Rumahlatu, D. 2007. Hubungan antara Faktor Fisik-Kimia Lingkungan dengan Keanekaragaman dan Pola Distribusi Echinodermata pada Daerah Pasang Surut Kabupaten Seram Bagian Barat Sebagai Sumber Pembelajaran Ekologi Kelautan. *Tesis*. Tidak dipublikasikan. Malang: Jurusan Pendidikan Biologi, Program Pascasarjana Universitas Negeri Malang.
- Russo, R., R. Bonaventura, F. Zito, H. Schroder, I. Muller, W.E.G Muller, & V. Matranga. 2003. Stress to cadmium monitored by metallothionein gene induction in *Paracentrotus lividus* embryos. *Cell Stress & Chaperones*, 8(3): 232-231.
- Schoettger, R.A. 1996. Problems of Aquatic toxicology, biotesting and water quality management. *Proceedings of USA-Rusia Symposium, Borok, Jaroslavl Oblast*, Juli 21-23 1996. Published by Ecosystems Research Division Athens.
- Schutzendubel, A., P. Schwanz, T. Teichmann, K. Gross, R. Langenfeld-Heyser, D.L. Godbold, & A. Polle. 2001. Cadmium-Induced Changes in Antioxidative Systems, Hydrogen Peroxide Content, and Differentiation in Scots Pine Roots. *Plant Physiol.*, 127: 887-898.
- Shah, S.L. 2005. Effects of heavy metal accumulation on the 96-h LC<sub>50</sub> values in *Tinca tinca*. L., 1758. Research article. *Turk. J. Vet. Anim Sci*, 29: 139-144.
- Smith, P J., M. Wiltshire, E. Furon, J.H. Beattle, & R.J. Errington. 2008. Impact of overexpression of metallothionein-1 on cell cycle progression and zinc toxicity. *Am.J. Physiol Cell*, 295:1399-1408.
- Soualili, D., P. Dubois, P. Gosselin, P. Pernet, & M. Guillou. 2007. Assessment of Seawater Pollution by Heavy Metals in the Neighbourhood of Algiers: use of sea urchin, *Paracentrotus lividus*, as Bioindicator. Diakses 8-11-2010.
- Valavanidis, A., & A. Vlachogianni. 2011. Metal Pollution in Ecosystems. Ecotoxicology Studies and Risk Assessment in the Marine Environment. *Science advances on Environment, Toxicology & Ecotoxicology issues*. [www.chem-tox-ecotox](http://www.chem-tox-ecotox). Dep. Chemistry, University of Athens, Campus Zografou, 15784 Athens, Greece.
- Vinodhini, R., & M. Narayanan. 2008. Bioaccumulation of heavy metals in organs of fresh water fish *Cyprinus carpio* (Common carp). *Int. J. Environ. Sci. Tech*, 5(2): 179-182.
- Yap, C.K., A. Ismail, S.G. Tan, & H. Omar. 2003. Accumulation, depuration and distribution of cadmium and zinc in the green-lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) under laboratory conditions. *Hydrobiologia*, 498: 151-160.
- Zangger, K., G. Oz, J.D. Otvos, & I.M. Armitage. 1999. Three-dimensional Solutions structure of mouse (Cd<sub>7</sub>)-metallothionein-1 by homonuclear and heteronuclear NMR spectroscopy. *Protein Science*, 8: 6230-2638.
- Zhou, Q., J. Zhang, J. Fu, J. Shi, & G. Jiang. 2008. Biomonitoring: an appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Anal. Chim Acta*. 606(2):135-50.