

Kepekaan Cacing Laut *Ophryotrocha diadema* (Polychaeta: Dorvilleidae) terhadap Cemaran Metil Merkuri (MeHg)

Susceptibility of Marine Polychaete *Ophryotrocha diadema* (Polychaeta: Dorvilleidae) towards Methyl Mercury (MeHg) Contamination

Markus Talintukan Lasut* dan Henneke Pangkey

*Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi
Jl. Kampus (Unsrat Bahu, Manado 95115, Sulawesi Utara, Indonesia.
E-mail : markus_lasut@yahoo. com *Penulis untuk korespondensi*

Abstract

Susceptibility of the marine polychaete *Ophryotrocha diadema* (polychaeta: Dorvilleidae) towards the neurotoxic methyl mercury (MeHg) contamination, was studied in an experimental chamber, which was aimed to assess and compare the susceptibility level of the organism based on its generations (F0, F1, F2, and F3). Seven variables of growth and reproduction aspects were applied as indicators in this study; they were: 1) individual growth, 2) first time the egg laid, number of eggs per individu, 4) number of eggs per egg mass, 5) number of eggs to larva per egg mass, 6) number of mortality per egg mass, and 7) reproductive potential. Observation was conducted on the treatment (MeHg in concentration of 0,00025 ppb) and the control (No MeHg) to each of the generations (F0, F1, F2, and F3). Data obtained were analyzed for average and standard deviation. Comparison of susceptibility within the generations was calculated using the variable of reproductive potential. The results showed that there were differences between the treatments and the control for all of the variables. Comparison on the susceptibility of the polychaete within the generations to MeHg contamination was $F_0 < F_1 = F_3 < F_2$. It was concluded that the F2 generation had the highest susceptibility among the others.

Key words: Polychaeta, *Ophryotrocha*, methyl mercury, reproduction, larval development

Abstrak

Kepekaan cacing laut *Ophryotrocha diadema* (Polychaeta: Dorvilleidae) terhadap cemaran racun saraf metil merkuri (MeHg) telah dikaji dalam wadah percobaan terkontrol, yang bertujuan menilai dan membandingkan tingkat kepekaan organisme tersebut berdasarkan kelompok turunannya (F0, F1, F2, dan F3). Tujuh variabel dari aspek pertumbuhan dan reproduksi dijadikan sebagai indikator, yaitu: 1) pertumbuhan individu, 2) waktu (hari) pertama kali massa (kelompok) telur dihasilkan, 3) jumlah massa telur yang dihasilkan per individu, 4) jumlah telur yang dihasilkan per massa telur, 5) jumlah telur yang menetas menjadi larva per massa telur, 6) jumlah mortalitas massa telur per individu, dan 7) potensi reproduksi. Pengamatan dilakukan terhadap perlakuan (MeHg dengan konsentrasi 0,00025 ppb) dan kontrol (tanpa MeHg) untuk tiap-tiap kelompok turunan (F0, F1, F2, dan F3). Data yang diperoleh dianalisis untuk menghitung rerata dan simpangan baku. Perbandingan tingkat kepekaan antarkelompok turunan dihitung dengan menggunakan variabel potensi reproduksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara perlakuan dan kontrol untuk semua variabel. Perbandingan tingkat kepekaan cacing laut antara turunan terhadap pengaruh MeHg adalah $F_0 < F_1 = F_3 < F_2$. Disimpulkan bahwa kelompok turunan F2 memiliki tingkat kepekaan tertinggi.

Kata kunci: Polychaeta, *Ophryotrocha*, metil merkuri, reproduksi, perkembangan larva

makanan perairan sehingga konsentrasi Hg dapat meningkat seiring dengan tingkatan rantai makanan (Baker *et al.*, 2004; Lasut *et al.*, 2010). Hal ini disebut sebagai proses 'biomagnifikasi'. Menurut Lasut (2009), konsentrasi Hg meningkat dari fitoplankton sampai ikan karnivora.

Merkuri dapat mengalami proses transformasi menjadi bentuk yang lebih beracun, misalnya melalui proses metilasi yang terjadi di sedimen perairan dengan Hg inorganik yang diubah menjadi bentuk Hg organik yang umumnya dikenal sebagai metil Hg (MeHg) yang merupakan racun saraf pusat (Ikingura dan Akagi, 1999; Acha *et al.*, 2004; Bishop *et al.*, 2004; Yamaguchi *et al.*, 2007; Lasut *et al.*, 2009). Metil Hg dapat diakumulasi oleh organisme perairan, misalnya ikan (Ikingura dan Akagi, 1999), kerang-kerangan (Bergeron *et al.*, 2004), dan organisme lainnya (Lasut *et al.*, 2010). Apabila terakumulasi dalam mitokondria, Hg dapat merusak mitokondria yang menyebabkan pembentukan radikal bebas dan peroxidasi lipida (Konigsberg *et al.*, 2001; Gonzales *et al.*, 2004). Kontaminasi akut terhadap MeHg dapat menyebabkan mortalitas (Yole *et al.*, 2007). Pada tingkatan konsentrasi yang rendah dan kronis dapat menyebabkan kerusakan organ dalam tubuh ikan, khususnya pada sistem saraf pusat dan sistem kekebalan tubuh (Pittman, 2004).

Untuk menilai pengaruh MeHg pada organisme perairan lainnya, khususnya pada tingkatan konsentrasi yang sangat rendah, maka penelitian ini dilakukan dan difokuskan pada aspek kepekaan cacing laut *Ophryotrocha diadema* (Polychaeta: Dorvilleidae). Penelitian ini bertujuan menilai dan membandingkan tingkat kepekaan organisme tersebut berdasarkan kelompok turunannya (F0, F1, F2, dan F3) dengan menggunakan indikator aspek pertumbuhan dan reproduksi.

Metode Penelitian

Variabel Penelitian dan Hipotesis

Variabel Penelitian

Indikator yang digunakan dalam mengkaji aspek kepekaan dan yang menjadi variabel dalam penelitian ini adalah mengikuti panduan

Lasut (1996a), yaitu: 1) pertumbuhan individu (PI) yang diamati dengan cara menghitung pertambahan jumlah 'setiger' (sekmen tubuh yang memiliki 'setae') dalam satu satuan waktu (hari), 2) waktu (hari) pertama kali massa (kelompok) telur dihasilkan (Wh), 3) jumlah massa telur yang dihasilkan per individu (Jti), 4) jumlah telur yang dihasilkan per massa telur (Jtm), 5) jumlah telur yang menetas menjadi larva per massa telur (Jtl), 6) jumlah mortalitas massa telur per individu (Jm), dan 7) potensi reproduksi (Pr) yang dihitung dengan cara membagi jumlah larva yang dihasilkan pada setiap perlakuan dengan jumlah larva yang dihasilkan pada kontrol.

Untuk menjelaskan kelompok organisme uji dalam percobaan, digunakan simbol-simbol, yaitu: F: kelompok organisme uji stok (dari alam), F0: kelompok organisme uji turunan awal yang dihasilkan dari F, F1: kelompok organisme uji turunan ke-1 yang dihasilkan dari F0, F2: kelompok organisme uji turunan ke-2 yang dihasilkan dari F1, F3: kelompok organisme uji turunan ke-3 yang dihasilkan dari F2.

Hipotesis

Hipotesis yang diuji dalam penelitian ini adalah MeHg pada konsentrasi subletal tertentu (X) berpengaruh pada aspek kepekaan organisme uji dengan prediksi bahwa variabel PI, Wh, Jti, Jtm, Jtl, Jm, dan Pr untuk masing-masing F0, F1, F2, dan F3 yang TELAH terkontaminasi MeHg pada konsentrasi X (perlakuan) akan berbeda dan lebih rendah dari masing-masing F0, F1, F2, dan F3 yang TIDAK terkontaminasi MeHg pada konsentrasi X (kontrol).

Tahap Persiapan

Persiapan Bahan Uji

Kegiatan penelitian, mulai dari persiapan bahan uji sampai percobaan, dilakukan selama 5 bulan (Juni–Oktober 2009). Bahan uji MeHg dalam bentuk baku dan telah diketahui konsentrasinya dipersiapkan sebelum percobaan dilakukan. Untuk dapat mempertahankan dalam waktu yang lama tanpa menurunkan konsentrasi awalnya, bahan tersebut dilarutkan ke dalam larutan "L-cystein hydrochloride" dan disimpan di dalam ruang pendingin (*refrigerator*) (Yasuda, *pers. comm.*).

Persiapan Organisme Uji

Cacing laut *Ophryotrocha diadema* (kelas Polychaeta, suku Dorvilleidae) dipilih sebagai organisme uji karena organisme ini sangat sensitif terhadap tekanan lingkungan yang terjadi diperairan dan tahapan reproduksinya dapat dengan mudah diamati (Lasut, 1996b). Organisme diperoleh dari Stasiun Laut Kristinaberg, Swedia, melalui Prof. B. Aakesson. Prosedur pemeliharaan stok dilakukan sesuai dengan petunjuk baku dari APHA (1980) dan Lasut (1996a), yaitu: organisme dipelihara dalam cawan gelas (transparan) berukuran 80 ml yang berisi air laut secukupnya. Selama pemeliharaan stok dan percobaan cacing laut diberi makan sayur (jenis bayam) secukupnya yang telah digerus menjadi potongan-potongan halus.

Persiapan Kondisi Percobaan

Semua air yang digunakan untuk pemeliharaan, baik untuk stok maupun percobaan, adalah air laut yang diambil dari alam. Sebelum digunakan, air laut disaring dengan menggunakan filter berukuran 0,45 μm dan disterilisasi dengan cara dipanaskan pada suhu 80°C menggunakan "autoclave". Salinitas air yang digunakan untuk pemeliharaan (stok dan percobaan) adalah 33–35 ppt.

Tahap Percobaan

Lima individu organisme uji pada fase larva dari masing-masing kelompok turunan (F0, F1, F2, dan F3) yang berumur 3 hari setelah keluar dari massa telur, dipelihara di dalam 5 cawan gelas (untuk 5 ulangan) ukuran 20 mL (tiap-tiap cawan berisi 1 individu) yang telah berisi air (vol. 10 mL) dan mengandung MeHg dengan konsentrasi 0,00025 ppb, yaitu konsentrasi tidak terjadi mortalitas pada organisme uji (konsentrasi tersebut ditentukan berdasarkan hasil Percobaan Pendahuluan). Hal yang sama juga dilakukan untuk percobaan dengan kondisi air bersih (tanpa Hg) sebagai kontrol. Kemudian organisme uji dipelihara, dengan cara seperti memelihara organisme stok, sampai pada fase dewasa (kira-kira 3–4 minggu) dan menghasilkan telur di dalam massa telur. Semua kelompok turunan (F0-F3) diamati dengan menggunakan mikroskop 'stereo' dengan pembesaran 4 kali dan variabel penelitian dari

tiap-tiap kelompok tersebut dihitung serta dicatat sebagai data penelitian.

Analisis Data

Setelah diperoleh nilai-nilai dari variabel penelitian yang diamati maka nilai rerata dan standar deviasi (SD) dihitung untuk mengetahui variasi dalam pengukuran. Variabel potensi reproduksi (Pr) dihitung dan dijadikan sebagai nilai pembanding untuk membandingkan tingkat kepekaan di antara turunan (F0-F3). Untuk menyimpulkan hipotesis penelitian yang diuji maka digunakan metode statistika Analisis Sidik Ragam (*Analysis of Variance*) Satu Arah dengan asumsi sebagai berikut:

$F_{hitung} < F_{tabel 0,05}$, terima H_0 : kontaminasi Hg pada konsentrasi X terhadap variabel-variabel penelitian untuk masing-masing F0, F1, F2, dan F3 memberikan pengaruh yang TIDAK NYATA (*non-significant*).

$F_{tabel 0,05} < F_{hitung} < F_{tabel 0,01}$, terima H_1 : kontaminasi Hg pada konsentrasi X terhadap variabel-variabel penelitian untuk masing-masing F0, F1, F2, dan F3 memberikan pengaruh yang NYATA (*significant*).

$F_{hitung} > F_{tabel 0,01}$, terima H_1 : kontaminasi Hg pada konsentrasi X terhadap variabel-variabel penelitian untuk masing-masing F0, F1, F2, dan F3 memberikan pengaruh yang Sangat Nyata (*high significant*).

Hasil dan Pembahasan

Secara umum, pertumbuhan individu pada golongan cacing laut terjadi dengan adanya pertambahan segmentasi (Seaver dan Kaneshige, 2006; Saudemont *et al.*, 2008). Hal tersebut diperlihatkan organisme uji dalam penelitian ini. Gambar 1 menampilkan pertumbuhan individu (PI) organisme uji *O. diadema* selama 30 hari untuk semua turunan (F0, F1, F2, dan F3) yang dikontaminasi 0,00025 ppb MeHg dan kontrol. Tampak, pertumbuhan segmentasi dan pertambahan setiger terjadi dan mencapai maksimal setelah mencapai jumlah setiger sebanyak 18 (pada wadah kontrol). Pertumbuhan organisme uji turunan F0-F1 berbeda dengan organisme uji dalam wadah kontrol. Perlambatan pertumbuhan mulai terjadi pada hari ke-6 dan mencapai puncak pada hari ke-9 sampai ke-21.

Organisme uji pada turunan F0–F1 hanya mencapai jumlah setiger rata-rata sebanyak 17. Namun demikian, perbedaan pertumbuhan antara turunan F0–F3 dan kontrol yang terjadi tidak signifikan secara statistik ($p>0,05$).

Rerata nilai PI turunan F3 pada hari ke-21 sedikit melebihi dari rerata nilai Kontrol dan sama pada hari ke-24 (Gambar 1). Hal ini mungkin disebabkan organisme uji turunan F3 dalam mempertahankan hidupnya telah mampu beradaptasi dengan lingkungan percobaan yang terkontaminasi dengan MeHg.

Tabel 1 menampilkan aspek reproduksi cacing laut *O. diadema* untuk tiap-tiap turunan F0–F3 yang dikontaminasi 0,00025 ppb MeHg dan kontrol. Variasi terjadi untuk variabel Wh, Jtm, Jm, dan Jtl. Adapun pada variabel Jti (jumlah massa telur per individu), jumlah massa telur yang dihasilkan adalah 1. Perbedaan nilai untuk tiap-tiap variabel dengan nilai kontrol untuk masing-masing turunan menunjukkan tidak signifikan secara statistik ($p>0,05$) untuk turunan F0 dan signifikan secara statistik ($p<0,05$) untuk turunan F1–F3.

Gambar 2 memperlihatkan selisih antara nilai kontrol dan nilai perlakuan untuk variabel aspek reproduksi (Wh, Jtm, Jtl, dan Jm) cacing laut *O. diadema* yang dikontaminasi 0,00025 ppb MeHg. Nampak, variasi terjadi antara kontrol dan perlakuan. Nilai Wh bertambah pada turunan F0, F1, dan F2, kemudian menurun pada turunan F3; namun nilai Wh pada turunan F3 tidak sama dengan nilai Wh di Kontrol. Nilai Wh tertinggi terjadi pada turunan F2, yaitu lebih 2 hari. Hal ini dapat diartikan bahwa terjadi penambahan waktu lebih dari 2 hari untuk variabel Wh (waktu pertama kali telur terlihat). Demikian pula halnya untuk variabel Jtm, Jtl, dan Jm.

Gambar 3 menampilkan Potensi Reproduksi (Pr) organisme uji cacing laut *O. diadema* yang dikontaminasi 0,00025 ppb MeHg setelah 30 hari pengamatan. Nampak, nilai Pr semakin menurun seiring bertambahnya turunan, di mana Pr terendah terjadi pada turunan F2. Pada turunan F3, nilai Pr meningkat, tetapi lebih rendah dari kontrol (100%).

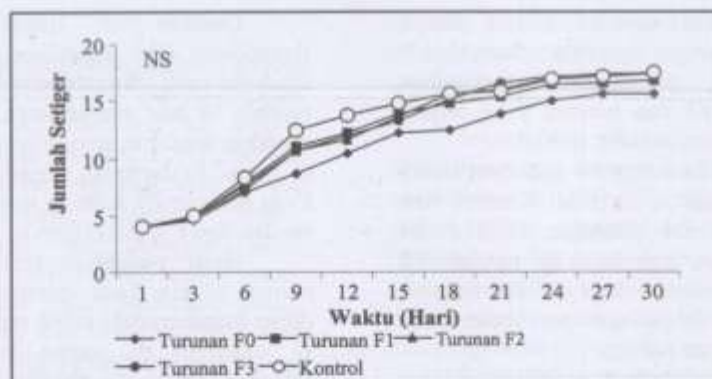
Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa MeHg pada konsentrasi 0,00025 ppb dapat memengaruhi aspek reproduksi cacing laut *O. diadema* di semua turunan yang diuji (F0–F3). Selain itu, pengaruh Hg akan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah turunan. Berdasarkan nilai variabel potensi reproduksi (Pr) maka kepekaan organisme uji cacing laut *O. diadema* terhadap bahan uji MeHg akan bertambah seiring dengan meningkatnya turunan, yaitu $F0 < F1 = F3 < F2$, di mana turunan F2 mempunyai kepekaan tertinggi.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, kecuali variabel Jti, semua variabel perlakuan menunjukkan perbedaan dengan variabel kontrol, walaupun secara statistik tidak signifikan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa MeHg pada konsentrasi subletal 0,00025 ppb berpengaruh pada aspek pertumbuhan dan reproduksi cacing laut *O. diadema*.

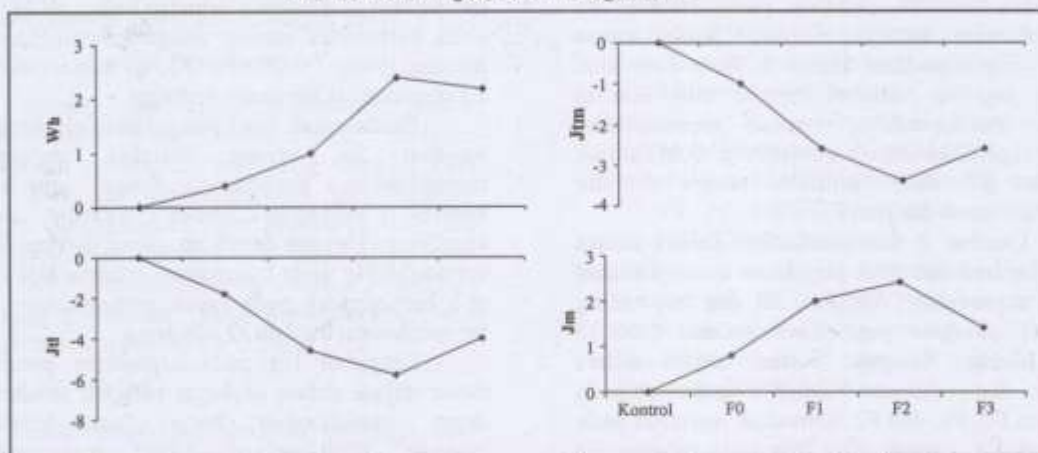
Pengaruh Hg pada organisme perairan dapat terjadi dalam berbagai cara, di antaranya dapat menghambat kerja "acetylcholine esterase" (Gill *et al.*, 1990), menghambat ekspresi gen (Gonzales *et al.*, 2004), dan perubahan morfologi permukaan filamen insang pada kerang laut *Perna perna* (Gregory *et al.*, 1999) dan ikan seribu (Nugraha dan Sucahyo, 2000). Organisme golongan Annelida memiliki sistem saraf (Denes *et al.*, 2007) yang merupakan organ target dari racun saraf MeHg.

Tabel 1. Aspek reproduksi cacing laut *O. diadema* yang dikontaminasi 0,00025 ppb MeHg. Tiap nilai adalah rerata dari 5 ulangan. Ktrl: Kontrol; F0–F3: Turunan; s: signifikan ($p<0,05$); ns: non-signifikan ($p>0,05$).

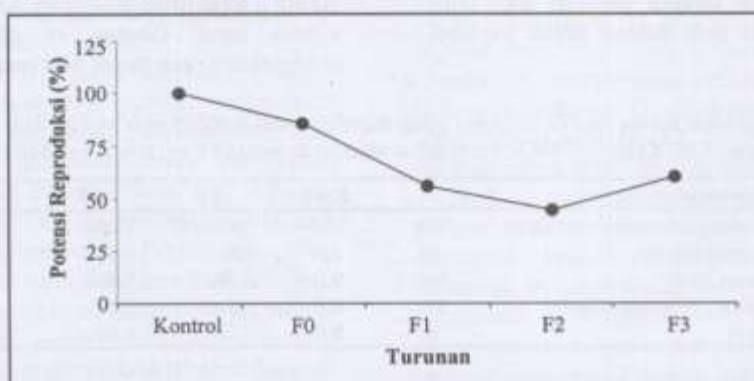
Parameter		Ktrl	F0	F1	F2	F3
Jumlah hari massa telur pertama kali terlihat	Wh	17,6	18,0ns	18,6s	20,0s	19,8ns
Jumlah massa telur per individu	Jti	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Jumlah telur per massa telur	Jtm	9,0	8,0ns	6,6ns	5,8s	6,6s
Jumlah mortalitas telur per massa telur	Jm	0,0	0,8ns	2,0s	2,4s	1,4s
Jumlah telur jadi larva	Jtl	9,0	7,2ns	4,6s	3,4s	5,2s



Gambar 1. Pertumbuhan individu cacing laut *O. diadema* yang dikontaminasi 0,00025 ppb MeHg. Tiap titik F0-F1 adalah rerata 5 ulangan; tiap titik Kontrol adalah rerata dari 4 kontrol yang masing-masing terdiri atas 5 ulangan). NS: non-signifikan.



Gambar 2. Aspek reproduksi [Wh: waktu (hari) pertama kali massa (kelompok) telur dihasilkan, Jtm: jumlah telur yang dihasilkan per massa telur, Jd: jumlah telur yang menetas menjadi larva per massa telur, Jm: jumlah mortalitas massa telur per individu] cacing laut *O. diadema* yang dikontaminasi 0,00025 ppb MeHg pada tiap turunan (F0-F1). Nilai di atas adalah ekspresi dari selisih dengan Kontrol. Tiap nilai adalah rerata dari 5 ulangan.



Gambar 3. Potensi Reproduksi (Pr) cacing laut *O. diadema* yang dikontaminasi 0,00025 ppb MeHg untuk setiap turunan (F0-F1).

Simpulan dan Saran

Simpulan

Simpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah cacing laut *O. diadema* peka terhadap MeHg pada konsentrasi yang rendah (0,00025 ppb). Pada turunan F1-F3 dipengaruhi oleh MeHg dengan aspek pertumbuhan dan reproduksi organisme tersebut. Berdasarkan variabel potensi reproduksi, perbandingan tingkat kepekaan cacing laut *O. diadema* antara turunan F0, F1, F2, dan F3 terhadap MeHg adalah $F0 < F1 = F2 < F3$.

Saran

Kajian tentang tingkat kepekaan cacing laut *O. diadema* terhadap pengaruh bahan racun lainnya perlu dilakukan untuk mendapatkan referensi yang lengkap guna menjadikan organisme ini sebagai organisme uji standar.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini adalah bagian dari penelitian yang terlaksana melalui Kegiatan Penelitian Fundamental yang dibiayai dari Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) No.: 0215.0/023-04.2/XXVII/2009, tanggal 31 Desember 2008, Tahun Anggaran 2009, Satuan Kerja Universitas Sam Ratulangi, Departemen Pendidikan Nasional. Untuk itu, penulis menyampaikan terima kasih. Terima kasih juga kepada Prof. B. Aakesson dari Stasiun Laut Kristinaberg, Universitas Gotenburg, Swedia, yang telah mengirimkan organisme uji *O. diadema* dan Dr. Y. Yasuda dari National Institute for Minamata Disease yang telah mengirimkan bahan uji MeHg.

Daftar Pustaka

- Acha, D., Iniguez, V., Roulet, M., Guimares, J.R.D., Luna, R., Alanoca, L. dan Sanchez, S. 2004. Methylmercury and Sulfate-reducing Bacteria in The Floating Macrophyte Rhizosphere from an Amazonian Floodplain Lake, Bolivia. *RMZ-Materials and Geoenvironment*, 51 (1): 767-768.
- APHA-AWWA-WPCF. 1980. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Fifteenth Edition, Part 300: Determination of metals, Pp. 141-246.
- Baker, R.F., Blanchfield, P.J., Paterson, M.J., Flett, R.J. dan Wesson, J. 2004. Evaluation of Nonlethal Methods for the Analysis of Mercury in Fish Tissue. *Transactions of the American Fisheries Society*, 133: 568-576.
- Bergeron, C.M., Mason, R.P. dan Porter, E. 2004. The Effect of Sediment Resuspension on the Methylation and Bioaccumulation of Methylmercury into Benthic and Pelagic Organisms. *RMZ-Materials and Geoenvironment*, 51 (1): 807-808.
- Bishop, K., Bergman, I., Tux, Q., Frech, W. dan Nilson, M. 2004. The Effect of Chronic Sulphur Deposition on the Seasonal Variation of Peat Pore Water Methylmercury and the Vertical Distribution of Sulphur Reducing Bacteria in a Boreal Mire. *RMZ-Materials and Geoenvironment*, 51 (1): 815-818.
- Denes, A.S., Jekely, G., Steinmetz, P.R.H., Raible, F., Snyman, H., Prud'homme, B., Ferrier, D.E.K., Balavoine, G. dan Arendt, D. 2007. Molecular Architecture of Annelid Nerve Cord Supports Common Origin of Nervous System Centralization in Bilateria. *Cell*, 129: 277-288.
- Gill, T., Tewari, H. dan Pandey, J. 1990. Use of the Fish Enzyme System in Monitoring Water Quality: Effects of Mercury on Tissue Enzymes. *Comparative Biochemical and Physiology*, 97C: 287-292.
- Gonzalez, P., Dominique, Y., Bourdineaud, J.P. dan Boudou, A. 2004. Comparative Effects of Dietary Methylmercury on Gene Expression in Liver, Skeletal Muscle and Brain of the Zebra Fish (*Danio rerio*). *Proceeding of the 7th International Conference on Mercury as a Global Pollutant (ICMGP)*, Ljubljana, Slovenia, 27 June - 2 July, 2004.
- Gregory, M.A., George, R.C., Marshall, D.J., Anandraj, A. dan McClurg, T.P. 1999. The Effects of Mercury Exposure on the Surface Morphology of Gill Filaments in *Perna perna* (Mollusca: Bivalvia). *Marine Pollution Bull.*, 39(1-12): 116-121.
- Ikingura, J.R. dan Akagi, H. 1999. Methylmercury Production and Distribution in Aquatic Systems. *The Science of the Total Environment*, 234: 109-118.
- Konigsberg, M., Lopez-Diazguerrero, N.E., Bucio, L. dan Gutierrez-Ruiz, M.C. 2001. Uncoupling Effect of Mercury Chloride on Mitochondria Isolated from an Hepatic Cell Line. *J. Applied Toxicology*, 21: 323-329.
- Lasut, M.T. 1996a. *Toxic Effects of Ethyl Parathion and Polluted Seawater on The Marine Polychaete Ophryotrocha Diadema (Dorvilleidae)*. M.Sc. Thesis. Marine Sciences Program. University of Aarhus, Denmark, Pp. 29.

- Lasut, M.T. 1996b. *Larval Development of Polychaete Ophryotrocha Diadema (Dorvilleidae)*. Unpublished data.
- Lasut, M.T. 2009. Proses Bioakumulasi dan Biotransfer Merkuri (Hg) pada Organisme Perairan di Dalam Wadah Terkontrol. *J. Matematika & Sains (JMS)*, 14 (3): 89–95.
- Lasut, M.T., Rares, H.F. dan Yasuda, Y. 2009. Methyl Mercury Production in Natural-collected Sediment with Different Geochemical Parameters. *Indonesian J. Chemistry*, 9 (3): 420–424.
- Lasut, M.T., Yasuda, Y., Edinger, E. dan Pangemanan, J. 2010. Distribution and Acculation of Mercury Derived from Gold Mining in Marine Environment and Its Impact on Residents of Buyat Bay, North Sulawesi, Indonesia. *Water, Air, & Soil Pollution*, 208 (1–4): 153–164.
- Nugraha, R.A. dan Sucahyo. 2000. Uji Ekotoksitas Logam Seng (Zn) terhadap Ikan Seribu (*Poecilia reticulata* Peters). *Biota*, V (2): 81–85.
- Pittman, J. 2004. Mercury toxicity-how you may already have it and not even know it. (Part 2). (http://www.ncjournalforwomen.com/months/2004_months/may04/may04_pittman.htm).
- Saudemont, A., Dray, N., Hudry, B., Le Gouar, M., Vervoort, M. dan Balavoine, G. 2008. Complementary Striped Expression Patterns of NK Homeobox Genes during Segment Formation in The Annelid *Platynereis*. *Developmental Biology*, 317: 430–443.
- Seaver, E.C. dan Kaneshige, L.M. 2006. Expression of Fsegmentation Genes during Larval and Juvenile Development in The Polychaetes *Capitella* sp. I and *H. elegans*. *Developmental Biology*, 289: 179–194.
- Yamaguchi, A., Tamang, D.G. dan Saier, M.H.Jr. 2007. Mercury Transport in Bacteria. *Water, Air & Soil Pollution*. DOI 10.1007/s11270-007-9334-z
- Yole, M., Wickstrom, M. dan Blakley, B. 2007. Cell Death and Cytotoxic Effects in YAC-1 Lymphoma Cells Following Exposure to Various Forms of Mercury. *Toxicology*, 231 (1): 40–57.