

**BIOAKUMULASI MERKURI DAN STRUKTUR HEPATOPANKREAS PADA
TEREBRALIA SULCATA DAN NERITA ARGUS (MOLUSKA: GASTROPODA) DI
KAWASAN BEKAS PENGGELONDONGAN EMAS, MUARA SUNGAI LAMPON,
BANYUWANGI, JAWA TIMUR**

*(Bioaccumulation of Mercury and the Hepatopancreas Structure of Terebralia sulcata and
Nerita argus (Mollusca: Gastropoda) in Ceased Lampon Gold Mining,
Banyuwangi District, East Java)*

Susintowati^{1,*} dan Suwarno Hadisusanto²

¹FKIP, Universitas 17 Agustus 1945, Jl. Laksda Adi Sucipto 26 Banyuwangi

²Laboratorium Ekologi Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Yogyakarta

*Penulis korespondensi. Email: susintowati@yahoo.com

Diterima: 31 Oktober 2013

Disetujui: 21 Januari 2014

Abstrak

Amalgamasi pada proses penggelondongan emas tradisional di muara sungai Lampon menggunakan Merkuri (Hg). Limbah dibuang langsung ke muara dan lingkungan sekitar. Walaupun aktivitas penggelondongan emas telah dihentikan, efek cemar Merkuri terhadap lingkungan termasuk biota terus berlangsung. Bioakumulasi Merkuri dapat ditelusuri menggunakan bioindikator anggota Gastropoda. Penelusuran bioakumulasi Merkuri menggunakan spesimen *Terebralia sulcata* yang hidup di hutan mangrove sekitar lokasi penggelondongan, dan *Nerita argus* yang hidup di muara pantai. Analisis Merkuri berdasar metode SNI 06-6992.2-2004 menggunakan perangkat *Mercury Analyzer*. Hepatopankreas sebagai organ detoksifikasi Merkuri digunakan sebagai parameter patologis. Hepatopankreas masing-masing spesimen dipreparasi dengan metode parafin, diwarnai dengan Hematoksin Ehrlich's-Eosin untuk pengamatan struktur mikroskopis. Bioakumulasi Merkuri dalam tubuh *T. sulcata* hingga 3,10 ppm, sedangkan dalam tubuh *N. argus* hingga 3,03 ppm. Tampak banyak vesikula residu diduga berisi inklusi pematatan elektron dan metalotionin sebagai dampak detoksifikasi ion logam Merkuri dalam hepatopankreas. Tubulus hepatopankreas *N. argus* mengalami disintegrasi dan atrofi cukup parah. Walaupun tambang emas di Lampon berskala kecil dan telah ditutup, efek patologis pencemaran Merkuri terhadap biota terutama Gastropoda sangat signifikan.

Kata kunci: Merkuri, tambang emas, bioakumulasi, hepatopankreas, struktur patologis.

Abstract

Traditional gold mining at Lampon Banyuwangi district was used Mercury amalgamation. Tailings are discharged to waters, that caused Mercury pollution. Mercury accumulation can be trace in sediments and benthic organisms such as Gastropods. Although the gold mining has been ceased, the impact of mercury pollution can be traced. The purposes of this research are to study the mercury accumulation in sediments, to know Mercury bioaccumulation in the soft body of Gastropod bioindicators, to study Mercury pathological effect in hepatopancreas. Terebralia sulcata and Nerita argus are Gastropods that as Mercury bioindicators in this research. Study site administratively located at Banyuwangi district, East Java. Mercury analysis using SNI 06.6992.2-2004 methods that reads by Mercury Analyzer. Hepatopancreas structure of T. sulcata and N. argus were preparing with paraffin method and Hematoxilin Ehrlich's-Eosin staining method. Accumulation of Mercury in the tailings about 137,54 ppm, in site I sediment 0,45 ppm, in site II sediment 65,52 ppm, in site III sediment 1,17 ppm and in the tailing piles remaining after the mining ceased about 634,19 ppm. Bioaccumulation in T. sulcata 3,10 ppm, N. argus about 3,03 ppm. The values of Mercury accumulation are very high at all. Residual vesicles are found in hepatopancreas structure of T. sulcata. The residual vesicles are the sign of mercury detoxification process. Vesicles are thought to contain inclusions of residual electrons and methallothionine compaction as a result of Mercury ions detoxification by hepatopancreas cells. The hepatopancreatic tubulus of N. argus have disintegration and severe atrophy. The gold mining at Lampon is the small gold mining and has been ceased but the pathological effects of mercury pollution on aquatic organisms, especially Gastropods is very significant.

Keywords: mercury, gold mines, bioaccumulation, hepatopancreas, pathological structure.

PENDAHULUAN

Penggelondongan batuan yang mengandung emas di muara sungai Lampon dilakukan melalui

proses amalgamasi menggunakan Merkuri. *Tailing* (limbah) dibuang langsung ke lingkungan sekitar tambang. Batuan yang diduga mengandung emas digiling menggunakan gelondong sederhana

(*trommel* dengan ukuran panjang \pm 60 cm diameter 25-30 cm dan penggiling dari besi). Limbah diduga banyak mengandung Merkuri dan mencemari lingkungan sekitar.

Bioakumulasi Merkuri pada biota akuatik sangat tinggi di sekitar tambang tetapi melalui biomagnifikasi akumulasi pada organisme dengan tingkat tropik tinggi lebih bersifat toksik. Bioakumulasi berlangsung dari *uptake* dari perairan melalui insang, jaringan epitelium, dan dari makanan melalui saluran pencernaan (Heath, 1987; Newman, 1995; Callil dan Junk, 2001; Wolf dkk., 2001; Setiabudi, 2005; Herman, 2006; Blackwood dan Edinger, 2007; Edinger dkk., 2007; Manisseri dan Menon, 2006; Liang, 2007; Darmono, 2008; Palar, 2008; Lasut dkk., 2010). Eisler (1987) melaporkan bahwa metil Merkuri jauh lebih toksik dibandingkan Merkuri anorganik. Secara alami Merkuri lebih sering dijumpai dalam bentuk metil Merkuri jika telah masuk ke tubuh organisme.

Konsentrasi Merkuri dapat sangat tinggi dalam tubuh Gastropoda di pertambangan emas. Tiap jenis mempunyai konsentrasi berbeda-beda walaupun pengambilan pada tempat yang sama (Callil dan Junk, 2001; Wolf dkk., 2001). Hepatopankreas dapat mengakumulasi logam berat, bahkan bisa mengarahkan proses bioakumulasi logam berat melalui rantai makanan. Beberapa menyimpulkan bahwa melalui bioakumulasi dapat memutuskan jaring-jaring makanan pada daerah yang tercemar logam berat (Hopkin dan Martin, 1985; Burghardt dan Wägele, 2004; Böer dkk., 2006). Manisseri dan Menon (2006) membuktikan, terjadi kerusakan pada ultrastruktur hepatopankreas yang terpapar Merkuri. Berdasar hal tersebut, sangat penting dikaji bioakumulasi merkuri dan struktur hepatopankreas Gastropoda, sehingga dapat memberi gambaran tingkat cemar Merkuri di Lampon

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui efek cemar Merkuri di muara Lampon, berdasar bioakumulasi Merkuri dan stuktur patologi hepatopankreas bioindikator (*Terebralia sulcata*; *Nerita argus*: Gastropoda). Penelusuran ini dapat menjadi tolok ukur, bahwa pencemaran Merkuri dan dampaknya tidak dapat hilang secara cepat meskipun tambang emas relatif kecil dan berhenti

beroperasi beberapa waktu lama. Waktu tinggal Merkuri di atmosfer sangat singkat, sekitar 11 jam. Namun, waktu tinggal Merkuri di sedimen (tanah) jauh lebih lama yaitu 1.000 tahun, sedangkan di perairan laut hingga 2.100-3.200 tahun di samudera bahkan dapat > 250 juta tahun di sedimen samudera, dan diestimasi sekitar 1 bulan – 5 tahun berada di perairan yang terkontaminasi Merkuri (NAS 1978, Smith dan Loring, 1981 dalam Eisler, 1987).

Tabel atrofi dapat digunakan sebagai acuan tingkat kerusakan hepatopankreas karena proses detoksifikasi (Kim dkk., 2002). Skala 0 merupakan struktur normal, sedangkan skala 1 sampai skala 4 merupakan tingkatan degradasi dan atrofi tubulus menuju kerusakan yang terparah (Tabel 1).

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Lampon merupakan salah satu muara sungai dan pantai di Kabupaten Banyuwangi yang menghadap ke samudera Hindia. Secara administratif Lampon terletak di Kecamatan Pesanggaran Kabupaten Banyuwangi Jawa Timur.

Letak Geografis Lampon: 8°37'05.39"S 144°05'11.46"E. Curah hujan: 1.000 – 2.500 mm/tahun. Spesimen kontrol *Terebralia sulcata* diambil dari Taman Nasional Alas Purwo/TNAP sektor Bedul (mangrove), spesimen kontrol *Nerita argus* diambil dari pantai Grajagan. Pengambilan sampel, preparasi dan analisis dilakukan pada Agustus 2011-Mei 2012. Sampel diambil setelah aktivitas dihentikan 6-7 bulan. Pembagian site pengambilan sampel: site I berada di mangrove sebelum limbah, site II di area limbah, site III di muara (setelah site II), masing-masing site berjarak \pm 300 m.

Pengambilan Sampel

Analisis Merkuri dilakukan terhadap limbah amalgam, sedimen di sekitar lokasi penggondongan dan muara sungai, timbunan limbah, bagian tubuh lunak *Terebralia sulcata* dan *Nerita argus*. Masing-masing sedimen dan limbah diambil sebanyak 300-400 g (\pm 80 mesh), dengan tiga kali ulangan. Sampel *T. sulcata* diambil secara

Tabel 1. Skala semi-kuantitatif untuk atrofi kelenjar digesti (Kim dkk., 2002)

Skor	Deskripsi
0	Normal, kebanyakan tubulus tebal (100%), lumen cenderung tertutup, beberapa tubulus tampak sedikit mengalami atrofi.
1	Rata-rata tubulus tebal dibanding normal, namun lebih dari 50% tebal, beberapa tubulus menunjukkan atrofi, sebagian lainnya normal.
2	Tubulus rata-rata 50% tebal dibanding normal
3	Tubulus tebal kurang dari 50% dibanding normal, secara signifikan kebanyakan tubulus mengalami atrofi, beberapa sangat tipis (<i>fully atrophied</i>).
4	Tubulus sangat tipis (100%), cenderung keseluruhan mengalami atrofi.

purposive random dari mangrove sekitar kawasan, sampel *N. argus* diambil dari muara Lampon. Masing-masing spesimen diambil 3 ekor. Selanjutnya dibius menggunakan $MgCl_2$ 7,5-10% hingga mati lemas. Spesimen yang telah mati lemas dikeluarkan dari cangkang (*concha*). *Soft body part* yang didapat secara keseluruhan difiksasi sementara menggunakan formalin 4% sebelum dilakukan prosedur penelusuran akumulasi Merkuri dan preparasi histologis struktur hepatopankreas.

Analisis Merkuri

Analisis Merkuri dalam sampel (per individu sampel) berdasar metode SNI 06-6992.2-2004. Pembacaan konsentrasi Merkuri berdasar metode uap dingin dengan perangkat *Mercury-Analyzer* di LPPT UGM Yogyakarta. Hasil penelusuran akumulasi Merkuri dianalisis secara deskriptif kualitatif. Kisaran baca pada *Mercury-Analyzer* ditentukan berdasar metode semi log.

Preparasi Struktur Hepatopankreas

Bagian tubuh lunak bioindikator dipreparasi menggunakan metode parafin. Pewarnaan struktur hepatopankreas menggunakan Hematoksin-Ehrlich's dan Eosin (Disbrey dan Rack, 1970 dengan modifikasi). Pengamatan struktur hepatopankreas menggunakan mikroskop perbesaran 100x dan 400x.

Pengukuran Parameter Lingkungan

Pengukuran parameter lingkungan dilakukan *in* kenaikan air, debit air muara, suhu (sedimen, air dan udara), dissolved oxygen (air dan udara), pH (air dan sedimen), dan salinitas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Akumulasi Merkuri dalam sedimen dan parameter lingkungan

Konsentrasi Merkuri pada limbah sangat tinggi, hal ini menandakan amalgamasi Merkuri tidak sempurna sehingga banyak Merkuri yang terbuang bersama limbah. Limbah Merkuri didapatkan sebelum aktivitas penggondongan dihentikan. Konsentrasi Merkuri dalam limbah sebesar 137,54 ppm (Gambar 1). Konsentrasi Merkuri dalam timbunan limbah sebesar 634,19 ppm, sedimen site I mengakumulasi Merkuri 0,45 ppm, sedimen site II 65,52 ppm dan sedimen di site III mengakumulasi hingga 1,17 ppm. Konsentrasi tersebut sangat tinggi dan melebihi baku mutu yang ditetapkan.

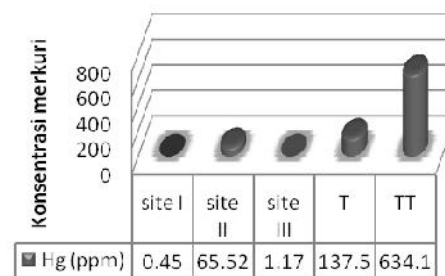
Pada batuan di alam, Merkuri ditemukan dalam kisaran 0,1-20 ppm. Pada lapisan tanah Merkuri terkonsentrasi 0,1 ppm, jumlah tersebut

bervariasi pada batasan yang lebih kecil. Pada perairan sungai, Merkuri mempunyai rentang variasi yang luas, yaitu $5 \times 10^{-3} - 10^{-4}$ ppm. Dalam lapisan udara dengan ketinggian 400 kaki dari permukaan tanah, kisaran Merkuri adalah 10^{-5} ppm (Palar, 2008). Konsentrasi Merkuri di lingkungan perairan secara alamiah dengan kisaran 0,15 $\mu\text{g/L}$ dalam air laut sedangkan dalam air sungai 0,07 $\mu\text{g/L}$. Standar yang direkomendasikan di Indonesia adalah 0,001 mg/L (Kep. MenLH No.51 Tahun 2004). Berdasar SNI 7387:2009 belum ditentukan standar Merkuri biota laut, namun mengacu pada negara lain misal Jepang dan Canada, baku mutu maksimal sebesar 0,3 ppm. Jadi, konsentrasi Merkuri di kawasan bekas penggondongan emas Lampon sangat tinggi.

Kenaikan air ± 129 cm di muara, di sekitar tambang $\pm 70,25$ cm, dan di hutan mangrove sebelum tambang $\pm 31,75$ cm saat pasang tertinggi. Kenaikan air paling jauh hingga jarak ± 2.200 m dari muara ke arah Timur percabangan hulu sungai. Berdasarkan kenaikan air saat pasang dapat diduga dispersi pencemar Merkuri dapat terangkut ke arah hulu sungai. Jika kenaikan air hingga 2.200 m ke arah hulu, berdasarkan kinetika arus pasang diduga penyebaran pencemar Merkuri hingga jarak tersebut. Namun akumulasi Merkuri berdasar proses biotransformasi dan bioakumulasi dapat lebih jauh dari jarak kenaikan tersebut, karena sifat organisme yang terlibat dapat bergerak bebas, kecuali pada organisme yang bersifat sesil. Hasil pengukuran parameter lingkungan tampak pada Tabel 2.

Bioakumulasi Merkuri dalam *T. sulcata* dan *N. argus*

Tingginya konsentrasi Merkuri di sedimen, merupakan indikasi pencemaran telah terjadi di kawasan bekas penggondongan emas muara sungai Lampon. Eisler (1987) menuliskan, bioakumulasi berlangsung dari *uptake* dari perairan melalui insang, jaringan epitelium, dan dari makanan melalui saluran pencernaan.



Gambar 1. Konsentrasi Merkuri dalam sedimen site I, II, III serta limbah (T) dan timbunan limbah (TT) setelah 6-7 bulan pertambangan ditutup.

Tabel 2. Hasil pengukuran parameter lingkungan di muara sungai Lampon

Parameter lingkungan	Site I	Site II	Site III
DO udara	5,96 ± 0,11	6,92 ± 0,03	6,04 ± 0,05
DO air	6,46 ± 0,04	6,64 ± 0,01	6,22 ± 0,03
Suhu udara (°C)	38,44 ± 1,01	34,74 ± 0,29	31,2 ± 0,08
Suhu air (°C)	31,00 ± 0,37	31,08 ± 0,01	28,78 ± 0,74
Suhu sedimen (°C)	37,60 ± 1,86	33,20 ± 0,16	31,9 ± 0,44
Salinitas air (‰)	25,80 ± 0,16	29,20 ± 1,24	29,8 ± 0,16
pH air	8,10 ± 0,11	7,20 ± 0,16	8,88 ± 0,01
pH sedimen	6,28 ± 0,11	6,94 ± 0,01	7,52 ± 0,05

Catatan: DO=Dissolved Oxygen; pH=Potential of Hydrogen

Baku mutu Konsentrasi Merkuri dalam tubuh Gastropoda (Moluska) dalam Badan Standarisasi Nasional (SNI 7387:2009) belum ditentukan jelas, namun mengacu beberapa negara lain misalnya Jepang dan Canada, baku mutu maksimal sebesar 0,3 ppm. Hasil penelusuran bioakumulasi Merkuri dalam *T. sulcata* bervariasi dalam kisaran $< 7 \times 10^{-5}$ ppm hingga 3,10 ppm. *N. argus* dapat mengakumulasi dengan kisaran 0,89 ppm hingga 3,03 ppm. Konsentrasi bioakumulasi Merkuri dalam *Nerita argus* cenderung lebih bervariasi pada nilai yang tinggi dibandingkan *T. sulcata*, walaupun salah satu sampel signifikan sangat tinggi. *T. sulcata* diambil dari hutan mangrove, site I menunjukkan konsentrasi Merkuri lebih tersebar lebih tinggi (0,02 ppm – 3,10 ppm) sedangkan di site II dalam kisaran sama yaitu $< 7 \times 10^{-5}$ ppm. Sebaran bioakumulasi Merkuri yang tinggi di site I diduga merupakan akibat paparan limbah yang lebih sering terjadi dibandingkan di mangrove site II. Selain itu, luasan hutan mangrove site I lebih sempit dibandingkan mangrove site II.

Jika pengambilan sampel dilakukan setelah aktivitas penggondongan emas berhenti selama 7 bulan, diduga spesimen yang terpapar Merkuri segera mati, kemudian setelah tambang ditutup sekian lama individu migran berdatangan dari bagian mangrove yang lain. Menurut Wells dan Lalli (2003), predasi cukup tinggi saat kondisi kekeringan (saat surut) dan saat mereka diam mengubur diri untuk mengurangi penguapan berlebih. Berdasar pada Wells dan Lalli (2003) tersebut, dapat diduga bahwa banyak individu *T. sulcata* di site II melemah dan diam. Kondisi lemah dan diam diduga merupakan kesempatan bagi kepiting hermit dan *Anadara* sp (predator *Terebralia* spp) mempredasi dengan mudah. Rentang waktu pengambilan sampel diduga merupakan kesempatan bagi individu migran berdatangan ke lokasi pengambilan sampel karena frekuensi paparan limbah berkurang saat tambang berhenti beroperasi, namun hal ini perlu ada pembuktian lebih lanjut.

N. argus dapat mengakumulasi lebih tinggi dalam kisaran tiap individu dibandingkan *T. sulcata*. Site III merupakan muara, air pasang yang naik ke

hulu akan menyebarkan limbah Merkuri hingga ke hulu, namun aliran pasang surut tetap membawa limbah ke arah muara. Saat surut mulai berlangsung, maka site III tetap terpapar limbah. Berdasarkan kinetika pasang surut air di muara ini, memungkinkan site III selalu terpapar oleh limbah Merkuri. Walaupun dalam sedimen perairan terdeteksi 1,17 ppm, namun Merkuri masih dapat masuk melalui banyak jalan, di antaranya dari aliran air hujan yang membawa limbah Merkuri.

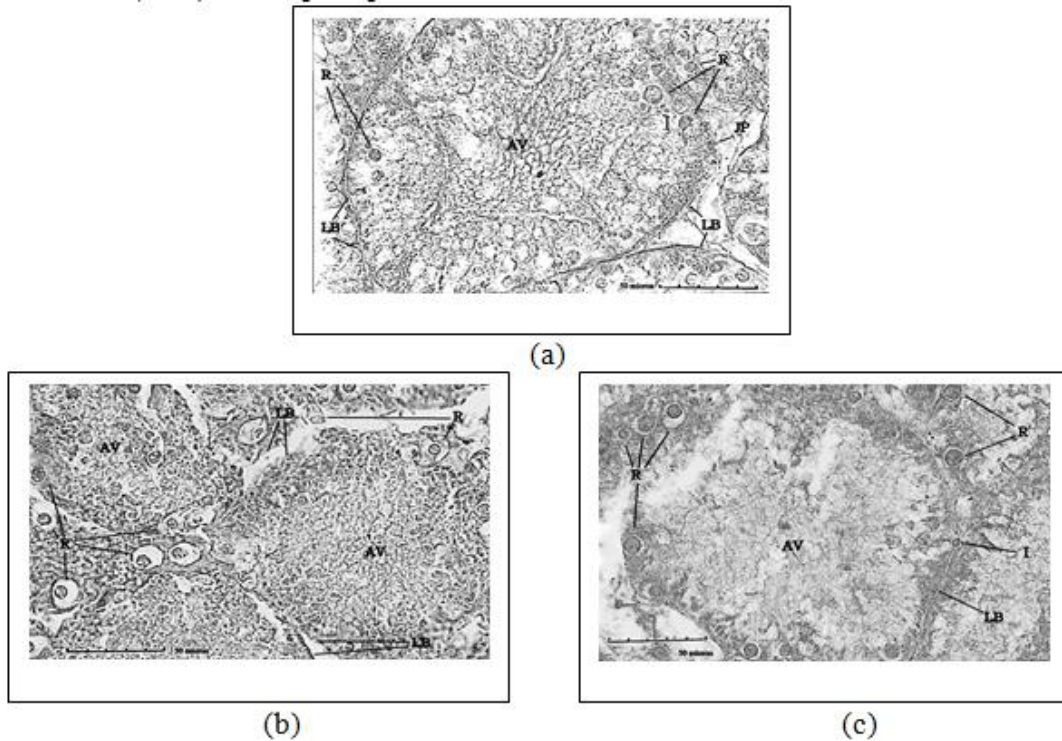
Struktur patologis hepatopankreas

Endpoint pada toksisitas Merkuri adalah toksisitas akut, bioakumulasi, biomagnifikasi, sintesis protein (*methallothionine proteine*), gangguan pada proses mitosis serta histopatologi (Devlin, 2006). Manisseri dan Menon (2006) menyatakan, beberapa tanda kerusakan hepatopankreas akibat terpapar Merkuri adalah, terdapat inklusi berupa pematatan elektron (*Electron-dense inclusions*) di dekat lamina basal. Vesikula mengalami penyatuan disebabkan material-material pematatan elektron sehingga menjadi vakuola residu yang besar (*residual vacuoles*). Kim dkk. (2002) memberikan skala tingkat histopatologi tubulus hepatopankreas karena polutan. Atropi tubulus hepatopankreas ditandai dengan melebarnya lumen, atropi berdasar rasio ketebalan lumen dengan diameter tubulus. Disintegrasi tubulus hepatopankreas ditandai dengan menebalnya lamina basal dan regangnya jarak antar tubulus.

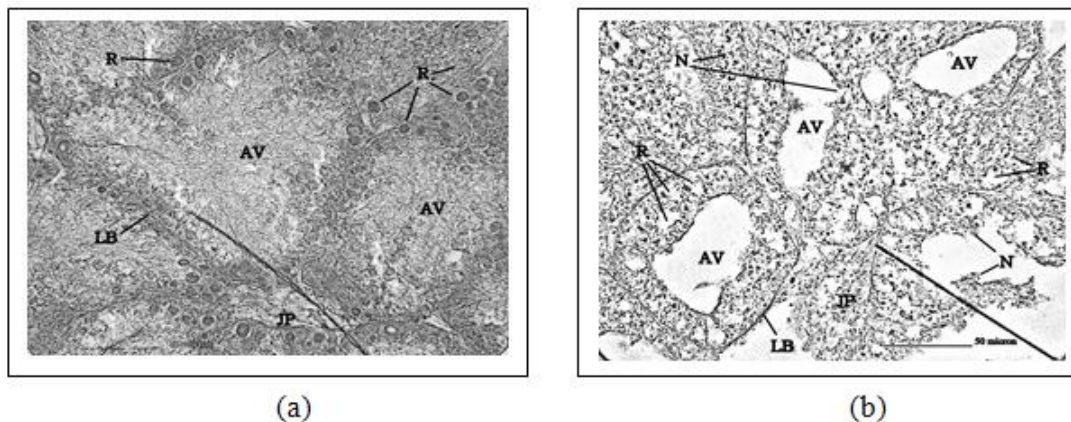
Hepatopankreas merupakan organ vital dalam mendetoksifikasi polutan atau materi asing yang masuk dalam tubuh. Fungsi faal lain juga terjadi dalam hepatopankreas sebagai kelenjar pencernaan. Walaupun tidak mengalami atropi yang berarti, pada struktur hepatopankreas spesimen *T. sulcata* di site I tampak lebih banyak mengandung inklusi dalam lumen tubulus (Gambar 2), jika dibanding struktur normal spesimen dari TNAP sektor Bedul. Vesikula residu dalam sel resorptif spesimen site I sangat banyak, menandakan hepatopankreas sedang menjalankan proses detoksifikasi. Walaupun terpapar Merkuri dalam konsentrasi cukup tinggi, detoksifikasi dapat terjadi karena pengaruh lainnya.

Vesikula residu yang mencapai lumen (alveolus) tubulus sangat bervariasi dalam ukuran. Struktur hepatopankreas spesimen kontrol tidak menunjukkan struktur tersebut, walaupun pada bagian basal tetap ada vesikula residu. Integritas alveolus tubulus spesimen site I dan site II menunjukkan perbedaan signifikan dibandingkan spesimen kontrol dari TNAP sektor Bedul. Menurut Kim dkk. (2002), atropi pada tubulus hepatopankreas dapat terjadi karena banyak

penyebab termasuk kontaminasi polutan. Atropi dilihat dari tubulus hepatopankreas, yaitu epitelium tubulus mengalami penipisan. Akurasi estimasi atropi tubulus berdasarkan rasio diameter tubulus terhadap ketebalan tubulus, atau dengan memperhatikan langsung ketebalan tubulus. Integritas tubulus hepatopankreas spesimen site I tampak berubah, ditandai dengan menebalnya beberapa bagian lamina basal.



Gambar 2. Struktur hepatopankreas *T. sulcata* dengan pewarnaan Hematoksilin Ehrlich's dan Eosin (dengan modifikasi). (a) Spesimen TNAP sektor Bedul, (b) Spesimen site I, (c) Spesimen site II. AV: alveolus/lumen tubulus, R: sel resorptif dengan vesikula residu, I: inklusi, LB: lamina basal, JP: jaringan pengikat. Walaupun integritas tubulus masih bagus, namun lebar dan banyaknya vesikula residu menunjukkan hepatopankreas melakukan detoksifikasi yang cukup tinggi.



Gambar 3. Struktur hepatopankreas *N. argus* dengan pewarnaan Hematoksilin Ehrlich's dan Eosin (dengan modifikasi). (a) Spesimen kontrol dari Pantai Grajagan, (b) Spesimen dari site III. AV: alveolus/lumen tubulus, R: sel resorptif, N: fusi nukleus yang mengalami nekrosis, LB: lamina basal. Integritas tubulus hepatopankreas dan atropi tubulus menandakan bahwa hepatopankreas mengalami gangguan.

Penyatuan nukleus juga terjadi pada sel-sel epitel tubulus spesimen site I. Struktur demikian tidak dijumpai pada spesimen site II. Struktur hepatopankreas spesimen site I dan II termasuk skala 1 dalam Tabel Atropi Kim dkk. (2002).

Heath (1987) menuliskan, peningkatan metabolisme menandai peningkatan sintesis protein untuk mengeluarkan toksikan selama proses detoksifikasi. Saat hepar (hepatopankreas) terpapar toksikan logam berat, akan mensintesis protein metalotionin lebih banyak. Protein yang disintesis tersebut merupakan hasil ikatan dengan ion logam sehingga dapat dengan mudah dikeluarkan dari dalam tubuh. Struktur demikian dijumpai pada tubulus hepatopankreas spesimen *T. sulcata* di site I. Spesimen dari site II tidak menunjukkan struktur patologis seperti spesimen di site I.

Konsentrasi Merkuri yang tinggi dalam tubuh spesimen *N. argus* di site III menyebabkan integritas sel-sel hepatopankreas berubah. Tingginya aktifitas detoksifikasi oleh hepatopankreas menyebabkan atropi tubulus. Sel-sel hepatopankreas banyak yang mengalami degenerasi, lisis dan nekrosis (Gambar 3). Perubahan integritas tubulus ditandai dengan jaringan pengikat antar tubulus meregang. Sel-sel epitelium mengalami pembengkakan dengan peningkatan permeabilitas membran, terbukti dengan tampak lepasnya membran sel pada banyak tempat. Sel resorbtif, tampak mengandung banyak vakuola berisi inklusi yang sudah mengalami penyusutan. Proses pepadatan dan penimbunan inklusi dalam vakuola, dilanjutkan dengan pelepasan inklusi ke dalam lumen tubulus hepatopankreas. Pada proses ini menimbulkan pembengkakan pada membran plasma bahkan nekrosis. Proses ini menjadi alasan bahwa Merkuri menyebabkan kerusakan membran plasma, terutama jika proses detoksifikasi Merkuri berlangsung terus menerus dalam jangka waktu yang lama. Tubulus yang mengalami penipisan disebabkan proses detoksifikasi, sehingga pelepasan inklusi dalam lumen tubulus melebihi kerja normal hepatopankreas. Lumen yang melebar adalah hasil proses detoksifikasi yang dilakukan oleh sel-sel hepatopankreas. Histopatologis hepar juga berdasarkan dosis Merkuri yang masuk dalam tubuh hewan ini. Jika paparan Merkuri semakin sering dan dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan kerusakan yang lebih parah. Struktur hepatopankreas *N. argus* site III termasuk skala 4 dalam Tabel Atropi Kim dkk. (2002).

KESIMPULAN

Bioakumulasi Merkuri dalam tubuh *T. sulcata* dan *N. argus* di muara sungai Lampon cukup tinggi dan melebihi batas baku mutu. *T. sulcata* terdeteksi mengakumulasi Merkuri hingga 3,10 ppm, dan *N. argus* hingga 3,03 ppm.

Pada struktur hepatopankreas *T. sulcata*, tidak dijumpai atropi tubulus hepatopankreas yang cukup berarti, namun proses detoksifikasi yang tinggi dapat ditunjukkan melalui banyaknya vesikula residu, inklusi, penebalan lamina basal dan fusi nukleus pada beberapa bagian tubulus. Struktur hepatopankreas *N. argus*, mengalami disintegrasi dan atropi cukup parah.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimus, 2009. *Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan. SNI 7387:2009. ICS 67.220.20*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Blackwood, G.M., dan Edinger, E.N., 2007. Mineralogy and Trace Element relative solubility patterns of shallow marine sediments affected by submarine tailings disposal and artisanal gold mining, Buyat-Ratatotok district, North Sulawesi, Indonesia. *Environ Geol.* 52:803-818.
- Böer, M., Graeve, M., dan Kattner, G., 2006. Exceptional Long-term Starvation Ability and Sites of Lipid Storage of the Arctic Pteropod *Clione limacina*. *Polar Biology.* 30(5):571-580.
- Burghardt, I., dan Wägele, H., 2004. A New Solar Powered Science of the Genus *Phyllodesmium* Ehrenberg, 1831 (Mollusca: Nudibranchia: Aeolidioidae) from Indonesia with Analysis of Its Photosynthetic Activity and Notes on Biology. *Zootaxa.*596:1-8.
- Callil, C.T., dan Junk, W.J., 2001. Aquatic Gastropods as Mercury Indicators in the Pantanal of Pocone Region (Mato Grosso, Brasil). *Water, Air, and Soil Pollution.* 319:319-330.
- Darmono, 2008. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran, Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam*. UI-Press. Jakarta.
- Devlin, E.W., 2006. Acute Toxicity, Uptake and Histopathology of Aqueous Methyl Mercury to Fathead Minnow Embryos. *Ecotoxicology.* 15:97-110.
- Edinger, E.N., Raja Siregar, P., dan Blackwood, G.M., 2007. Heavy Metal Concentrations in Shallow Marine Sediments Affected by

- Submarine Tailings Disposal and Artisanal Gold Mining, Buyat-Ratatotok District, North Sulawesi, Indonesia. *Environ. Geol.* 52:701-714.
- Eisler, R., 1987. Mercury Hazards to Fish, Wildlife and Invertebrates. A Synoptic Review. *Biological Report*: 85(1):10.
- Heath, A.G., 1987. *Water Pollution and Fish Physiology*. CRC Press Inc. Boca Raton. Florida.
- Herman, D.Z., 2006. Tinjauan terhadap Tailing mengandung Unsur Pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) dari Sisa Pengolahan Bijih Logam. *Jurnal Geologi Indonesia*, 1(1):31-36.
- Hopkin, S.P., dan Martin, M.H., 1985. Assimilation of Zinc, Cadmium, Lead, Copper and Iron by the Spider *Dysdera crocata*, a Predator of Woodlice. *Bull. Environ. Contamin. & Toxicol.* 34:183-187.
- Kim, Y., Powell, E.N., dan Ashton-Alcox, K.A., 2006. *Histopathology Analysis*. Rutgers University. Port Norris. NJ 08349.
- Lasut, L.T., Yasuda, Y., Edinger, E.N., dan Pangemanan, J.M., 2010. Distribution and Accumulation of Mercury Derived from Gold Mining in Marine Environment and Its Impact on Residents of Buyat Bay, North Sulawesi, Indonesia. *Water, Air and Soil Pollution*. 208:153-164.
- Liang, Y., 2007. Field Assesment of Sediment Toxicities Within a Subtropical Estuarine Wetland in Hongkong, Using a Local Gastropods (*Sermyla tornatella*). *Bull Environ. Contam. Toxicol.* 78:494-498.
- Manisseri, M.K., dan Menon, N.R., 2006. Ultrastructural Aberration in the Hepatopancreas of *Metapenaeus dobsoni* (Miers) Exposed to Mercury. *J. Mar. Biol. Ass. India*. 48(1): 89-94.
- Newman, M.N., 1995. *Quantitative Methods in Aquatic Ecotoxicology. Advances in Trace Substance Research*. Lewis Publisher. Boca Raton.
- Palar, H., 2008. *Pencemaran dan toksikologi logam berat*. Penerbit Rineka Cipta. Jakarta.
- Setiabudi, B.T., 2005. *Penyebaran Merkuri Akibat Usaha Pertambangan Emas di Daerah Sangon Kabupaten Kulon Progo DI Yogyakarta*. Kolokium Hasil Lapangan-DIM:1-17.
- Wells, F.E., dan Lalli, C.M., 2003. *Aspects of the Ecology of the Mud-whelks Terebralia pallustris and T. Smistriata in Northwestern Australia*. The Marine Flora dan Fauna of Dampier. Western Australia Museum.
- Wolf, H.D., Ulomi, S.A., Backeljau, T., Pratab, H.B., dan Blust, R., 2001. Heavy Metal Levels in The Sediments of Four Dar es Salaam Mangroves Accumulation in, and Effect on the Morphology of Periwinkle, *Littoraria scabra* (Mollusca: Gasrtopoda). *Environ. Int.* 26:243-249.