

PENGARUH PENCEMARAN MERKURI DI SUNGAI CIKANIKI TERHADAP BIOTA TRICHOPTERA (INSEKTA)

Gunawan Pratama Yoga ^{a,b}, Djamar Lumbanbatu ^c,
Etty Riani ^c, dan Yusli Wardiatno ^c

^a Mahasiswa Pasca Sarjana, Program Studi Sumberdaya Perairan, F-PIK IPB

^b Pusat Penelitian Limnologi-LIPI

^c Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, F-PIK IPB

E-mail : yoga@limnologi.lipi.go.id

Diterima redaksi : 19 November 2013 , disetujui redaksi : 9 April 2014

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan di Sungai Cikaniki, salah satu anak Sungai Cisadane, di Jawa Barat yang melalui kawasan penambangan emas Pongkor dan tercemar oleh merkuri dari ekstraksi emas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh pencemaran merkuri di Sungai Cikaniki terhadap akumulasi merkuri pada larva Trichoptera di sungai tersebut dan dampaknya terhadap penghitaman pada insangnya. Lokasi penelitian berada di Cisarua, Curug Bitung dan Lukut, kecamatan Nanggung, serta satu lokasi yang tidak tercemar di daerah Cikuluwung. Penelitian dilakukan secara time series selama 10 bulan mulai bulan Januari sampai Oktober 2012. Dari hasil penelitian diketahui bahwa konsentrasi merkuri terlarut dari hulu ke hilir berturut - turut adalah 0,114 µg/L, 4,988 µg/L, 4,229 µg/L dan 4,410 µg/L. Rata-rata konsentrasi merkuri dalam bentuk partikulat dan akumulasi merkuri pada tubuh Trichoptera tertinggi teramati di Curug Bitung, berturut – turut adalah 83,963 dan 210,014 mg/Kg. Rata-rata akumulasi merkuri pada Trichoptera di Cisarua dan Lukut hampir sama yaitu berturut-turut adalah 151,116 mg/Kg dan 157,026 mg/kg. Persentase kejadian penghitaman insang trachea, pada Trichoptera, tertinggi terjadi di Curug Bitung yaitu sebesar 91% dan seluruh populasi di lokasi tersebut, sedangkan yang terendah terjadi di Cikuluwung.

Kata kunci: merkuri, bioakumulasi, abnormalitas, Trichoptera, Cikaniki

ABSTRACT

EFFECT OF MERCURY POLLUTION ON TRICHOPTERA (INSECTA) IN CIKANIKI RIVER. This research was conducted in Cikaniki River, one of Cisadane tributaries which pass through Pongkor gold mining region and has been polluted by mercury from gold extraction. The purpose of this study was to reveal the effect of mercury pollution in the river to the accumulation of mercury in Trichoptera larvae and its impact on the biota gill darkening. Research sites were in Cisarua, Curug Bitung and Lukut located in Nanggung district, and one was the unpolluted location, Cikuluwung. Samples were taken in the time series for 10 months starting from January to October 2012. The survey results revealed that the concentrations of dissolved mercury from upstream to downstream were 0.114 mg /L, 4.988 mg /L, 4.229 mg /L and 4.410 mg /L, respectively. The highest average concentration of particulate mercury and mercury accumulation were observed in Curug Bitung, 83.963 and 210.014 mg /kg, respectively. The average mercury accumulation in Trichoptera in Cisarua and Lukut were 151.116 mg / kg and 157.026 mg / kg, respectively. Tracheal gill darkening highest percentage was found in Curug Bitung which was 91%, while the lowest was in Cikuluwung.

Keywords : mercury, bioaccumulation, gill darkening, Trichoptera, Cikaniki

PENDAHULUAN

Salah satu penyebab terjadinya pencemaran merkuri di perairan adalah adanya aktivitas penambangan emas rakyat, atau seringkali disebut penambangan emas tanpa ijin (PETI) yang dalam proses ekstraksinya pada umumnya menggunakan logam merkuri (Limbong *et al.*, 2003; Castilhos *et al.*, 2006).

Sungai Cikaniki yang merupakan anak Sungai Cisadane adalah sungai yang melintasi kawasan penambangan emas Pongkor. Menurut Halimah *et al.* (2001), setiap tahun diperkirakan sekitar 4,8 ton larutan merkuri (Hg) dibuang ke Sungai Cikaniki dari PETI, sehingga mengakibatkan kontaminasi logam merkuri di sedimen bantaran sungai tersebut relatif tinggi.

Pencemaran merkuri ke dalam ekosistem perairan memberikan dampak terhadap komunitas biota di dalamnya, termasuk makrovertebrata. Salah satu makrovertebrata air yang merupakan bioindikator penting terhadap gangguan kualitas air adalah Trichoptera. Hal ini dikarenakan kelompok insekta ini memiliki keanekaragaman dan kelimpahan yang tinggi, dan menghuni berbagai macam tipe habitat perairan (Rosenberg & Resh, 1993). Larva Hydropsychidae merupakan salah satu famili pada Trichoptera yang banyak digunakan dalam biomonitoring dan penilaian dampak pencemaran di sungai dikarenakan oleh beberapa alasan, yaitu : i) Memiliki sebaran luas dan melimpah di berbagai jenis perairan mengalir; ii) Memberikan respon terhadap perubahan kualitas air serta perilakunya terhadap adanya pencemaran sudah banyak dipelajari; iii) Memiliki tubuh yang cukup besar, sehingga mudah ditangani dan diamati abnormalitas morfologinya; dan iv) Abnormalitas morfologis yang terjadi pada hydropsychid berkaitan erat dengan adanya gangguan fungsi fisiologis pada hewan tersebut (Vuori, 1994; Vuori & Kokkunen, 2004, Prommi & Thamsenanupap, 2013).

Berdasarkan penelitian Sudarso *et al.*, (2009), di Sungai Cikaniki ditemukan enam jenis Trichoptera yang meliputi *Ceratopsyche* sp., *Hydropsyche* sp., *Homiplecta* sp., *Cheumatopsyche* sp., *Glossosoma* sp., dan *Agapetus* sp. Sedangkan di Sungai Ciliwung, di daerah yang belum mengalami pencemaran, kekayaan taksa Trichoptera mencapai 10 jenis (Sudarso *et al.*, 2013).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh pencemaran merkuri di Sungai Cikaniki terhadap akumulasi merkuri pada larva Trichoptera yang hidup di dalamnya dan dampaknya terhadap gangguan morfologi insang biota tersebut.

METODOLOGI

Waktu

Desain penelitian ini menggunakan pendekatan *post-facto* dan dilaksanakan selama sepuluh bulan dimulai dari bulan Januari 2012 sampai dengan Oktober 2012. Pengambilan contoh di lokasi pengamatan akan dilakukan setiap bulan selama 10 bulan secara berkala (*time series*).

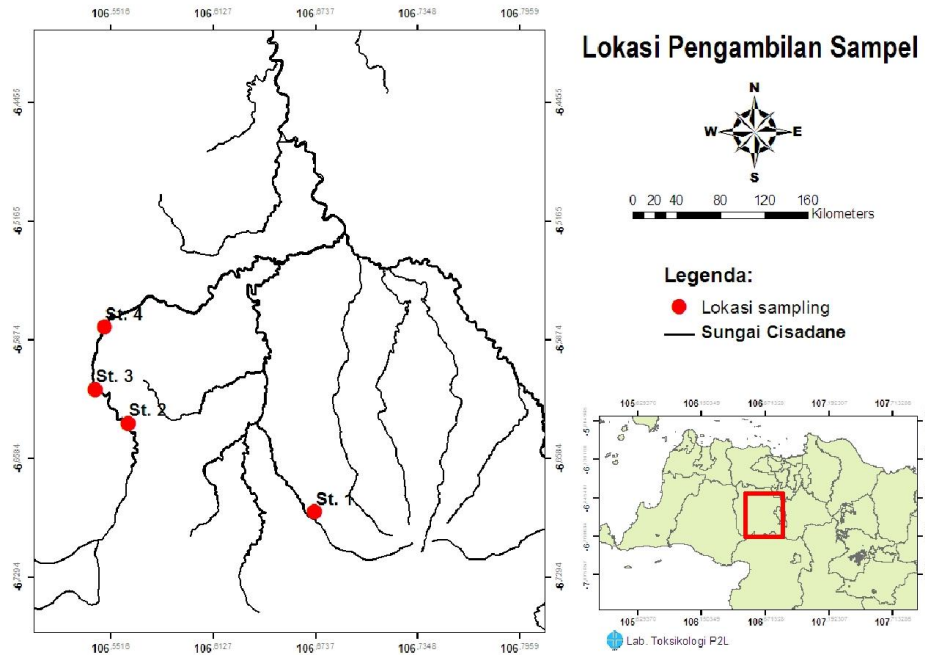
Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ditentukan secara *purposive* yaitu ruas Sungai Cikaniki, Kabupaten Bogor, Jawa Barat yang tercemar oleh logam berat merkuri (Gambar 1). Penentuan lokasi pengambilan contoh dilakukan dengan menggunakan bantuan peta rupa bumi dengan skala 1 : 125.000 yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial dan informasi data sekunder dari penelitian sebelumnya mengenai PETI di S. Cikaniki yang dilakukan oleh Syawal (2000) dan Halimah *et al.*, (2001). Penentuan posisi lokasi pengambilan contoh di lapangan dilakukan dengan menggunakan alat *Global Positioning System* (GPS). Pengambilan contoh air dan biota untuk daerah yang tercemar dilakukan di daerah Cisarua, Curug Bitung dan Lukut yang terletak di bantaran S. Cikaniki, Kecamatan Nanggung,

Kabupaten Bogor. Untuk pengambilan contoh pada daerah yang belum tercemar dilakukan di daerah bagian hulu Sungai Cikuluwung, di kawasan Taman Nasional Gunung Salak, Kabupaten Bogor. Deskripsi mengenai seluruh lokasi pengambilan contoh dapat dilihat pada Tabel 1.

Penetapan Konsentrasi Merkuri dalam contoh Air dan Biota Uji

Untuk penetapan konsentrasi merkuri di air maka, contoh air diambil sebanyak 1 liter dari setiap stasiun pengamatan. Selanjutnya 250 ml contoh air di saring dengan menggunakan kertas saring



Gambar 1. Lokasi pengambilan contoh

Tabel 1. Deskripsi lokasi pengambilan contoh

No. Stasiun	Nama Lokasi	Koordinat	Keterangan
1	Cikuluwung	6° 41' 43,9" LS 106° 40' 25,4" BT	Daerah rujukan yang merupakan kawasan konservasi, dan tidak ada aktivitas pengolahan emas rakyat
2	Cisarua	6° 38' 15,16" LS 106° 33' 39,7" BT	Daerah pengolahan emas rakyat yang berada pada di bantaran sungai
3	Curug Bitung	6° 37' 1,7" LS 106° 32' 31,4" BT	Daerah pengolahan emas rakyat yang berada pada di bantaran sungai dan di tengah sungai
4	Lukut	6° 34' 47,85" LS 106° 32' 51,56" BT	Daerah paling hilir dan tidak ada pengolahan emas.

membrane selulosa nitrat (\varnothing pori 0,45 μm , Whatman). Padatan partikulat yang tertahan oleh kertas saring tersebut kemudian dikeringkan pada suhu 60°C selama 24 jam, lalu ditimbang bobotnya. Air contoh hasil penyaringan tersebut selanjutnya dianalisis kandungan logam beratnya, mengikuti Smoley (1992). Contoh air didestruksi dengan 1 ml H_2SO_4 pekat, 1 ml HNO_3 pekat, 2 ml KMnO_4 (50 g/L), dan 1 ml $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ (80 g/L), kemudian dipanaskan pada suhu 95°C selama 2 jam. Konsentrasi merkuri diukur dengan menggunakan alat *Mercury Analyzer* Hiranuma Hg-300.

Analisis logam merkuri pada contoh biota Trichoptera dan partikulat dilakukan berdasarkan Akagi dan Nishimura (1991). Sebanyak 0,5 gram bagian tubuh Trichoptera dan padatan partikulat yang sudah ditimbang bobot keringnya ditambah dengan 1 ml larutan 36 N H_2SO_4 (1:1), 1 ml 15 N HNO_3 , dan 10 ml 0,1 M KMnO_4 kemudian dikocok, lalu ditambahkan 5 ml $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 5%. Selanjutnya contoh dipanaskan di atas *hotplate* pada suhu 95°C selama 2 jam agar proses dekomposisi berjalan sempurna. Contoh selanjutnya didinginkan pada suhu ruangan, lalu ditambahkan 1 ml $\text{NH}_2\text{OH.HCl}$ 8%, kemudian disaring. Larutan yang tersaring kemudian diambil 1 ml dan ditambahkan air suling sampai tanda tera kemudian dianalisis dengan *Mercury Analyzer* HiranumaHG-300.

Perubahan morfologi insang Trichoptera dilakukan dengan mengamati bintik-bintik hitam yang muncul pada insang trachea di bawah mikroskop stereo. Persentase jumlah Trichoptera yang mengalami penghitaman pada insang tracheanya pada masing-masing stasiun kemudian dihitung. Untuk melihat pengaruh pencemaran merkuri terhadap penghitaman pada insang trachea maka dilakukan analisis korelasi, sehingga diketahui pola hubungan dan keeratan hubungannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi merkuri pada air dan biota

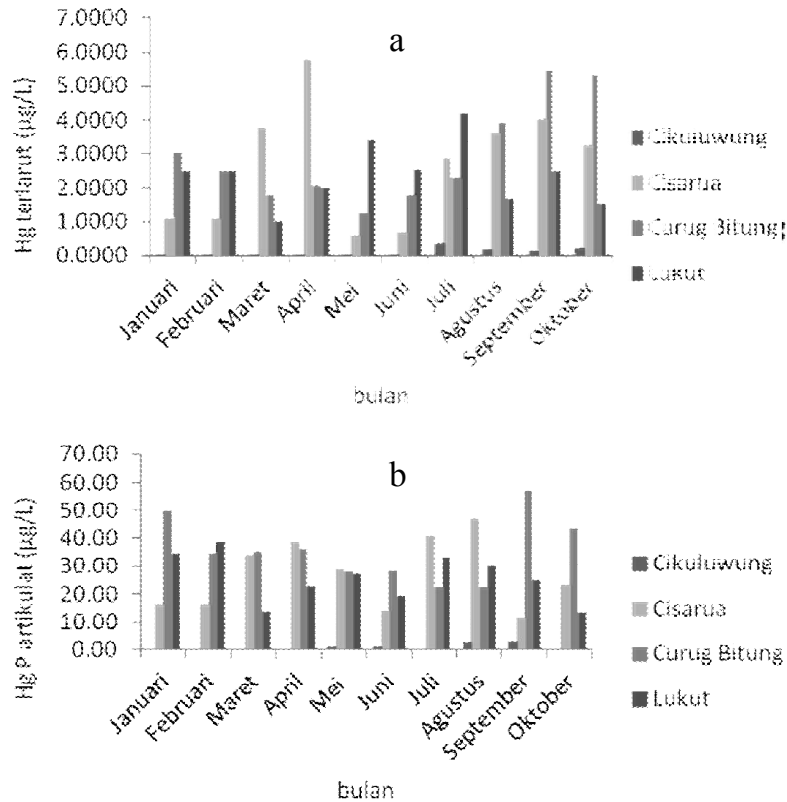
Konsentrasi rata-rata merkuri terlarut, partikulat maupun yang terakumulasi pada Trichoptera di daerah rujukan (Cikuluwung) jauh lebih rendah apabila dibandingkan dengan konsentrasi merkuri di ketiga lokasi lainnya yang mengalami pencemaran merkuri yang berasal dari penambangan emas rakyat. Secara umum pola konsentrasi merkuri terlarut dan partikulat di Sungai Cikaniki mengalami peningkatan pada bulan Januari – Maret, kemudian menurun pada bulan Mei dan Juni, setelah itu meningkat lagi pada bulan Juli sampai dengan Oktober (Gambar 2). Konsentrasi merkuri terlarut tertinggi ditemukan di Cisarua pada bulan April (5,78 $\mu\text{g/L}$) dan di Curugbitung pada bulan September (5,46 $\mu\text{g/L}$), sedangkan konsentrasi merkuri dalam bentuk partikulat tertinggi ditemukan di Curug Bitung pada bulan September (57,24 $\mu\text{g/L}$).

Peningkatan konsentrasi merkuri di air menyebabkan terjadinya bioakumulasi di tubuh Trichoptera yang hidup di lokasi tersebut. Bioakumulasi merkuri tertinggi terjadi pada bulan September di Curug Bitung yaitu, 376,09 mg/Kg (Gambar 3). Bioakumulasi merkuri tersebut terutama disebabkan oleh konsentrasi merkuri dalam bentuk partikulat. Dari hasil analisis regresi didapat nilai korelasi yang sangat kuat ($R^2=0,923$) antara konsentrasi merkuri partikulat dengan bioakumulasinya pada tubuh Trichoptera (Gambar 4).

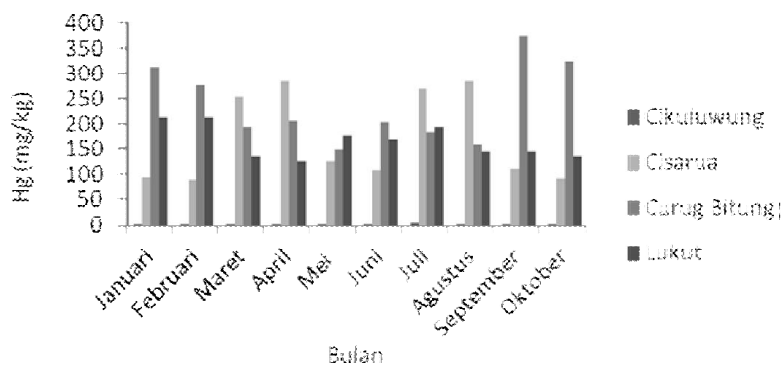
Akibat adanya pencemaran merkuri, terutama yang disebabkan oleh amalgamasi emas dengan menggunakan merkuri, konsentrasi merkuri di daerah Cisarua, Curug Bitung dan Lukut melebihi kriteria konsentrasi merkuri yang aman bagi lingkungan perairan. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan

Pengendalian Pencemaran Air, maka konsentrasi merkuri yang layak untuk baku mutu air golongan I dan II tidak boleh melebihi 0,001 mg/L. Sedangkan menurut Novotny & Olem (1994), untuk melindungi kehidupan hewan-hewan akuatik dari

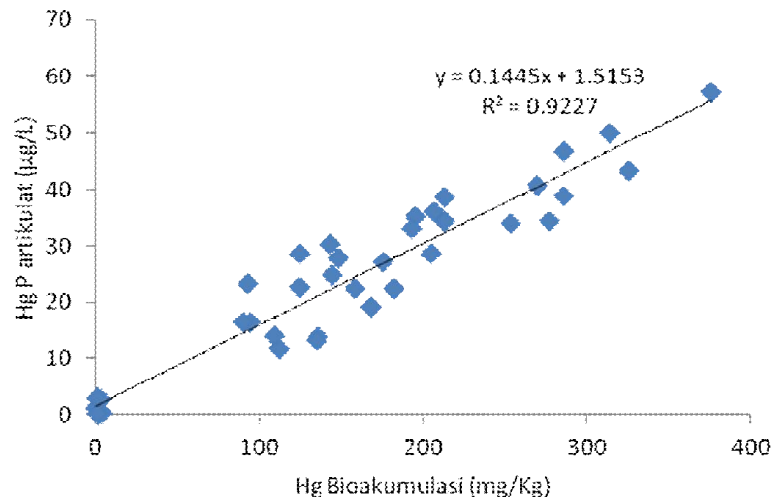
toksitas akut maka konsentrasi merkuri di perairan tidak boleh melebihi 2,4 µg/L. Berdasarkan ketentuan tersebut maka, konsentrasi merkuri di Sungai Cikaniki sudah melewati nilai ambang batas hampir sepanjang tahun.



Gambar 2. Konsentrasi merkuri di air selama waktu penelitian. (a) Hg terlarut ; (b) Hg partikulat



Gambar 3. Bioakumulasi merkuri pada tubuh Trichoptera selama waktu penelitian



Gambar 4. Korelasi antara bioakumulasi merkuri pada tubuh Trichoptera dengan konsentrasi merkuri dalam bentuk partikulat

Larva Trichoptera merupakan salah satu invertebrata air dominan di Sungai Cikaniki memiliki peranan yang sangat penting, selain sebagai perombak bahan organik, menurut Greve *et al.*, (1998) juga sebagai sumber makanan bagi hewan air lain yang berada pada tingkat trofik predator, berupa ikan maupun serangga air. Pada umumnya serangga air predator di Sungai Cikaniki meliputi ordo odonata, plecoptera, coleoptera dan hemiptera (Yoga *et al.*, 2009). Di perairan, larva Trichoptera termasuk pada kelompok yang memiliki kebiasaan makan fungsional penyaring pengumpul (*collector filterer*) (Merritt & Cummins, 2006). Bioakumulasi merkuri yang terjadi pada larva Trichoptera dapat berpotensi menyebabkan terjadinya biomagnifikasi pada predator yang memangsa hewan tersebut. Bioakumulasi merkuri pada Trichoptera di Sungai Cikuluwung, 2,933 mg/Kg (Tabel 2.). Meskipun tidak mengalami pencemaran merkuri, namun nilai tersebut jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan bioakumulasi merkuri pada Trichoptera di Danau Washington, 6 µg/Kg (McIntyre & Beauchamp, 2007), dan Danau Range serta Danau Mouse, di mana konsentrasinya berturut-turut adalah 70,5 µg/Kg dan 92,4

6 µg/Kg (Wong *et al.*, 1997). Bioakumulasi merkuri pada Trichoptera yang terjadi pada semua lokasi pengambilan contoh yang terdampak pencemaran merkuri di Sungai Cikaniki berkisar antara 151,116 – 210,014 mg/Kg (Tabel 2.). Nilai tersebut jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan bioakumulasi merkuri pada jenis biota yang sama yang terjadi di Sungai Indrija, Slovenia yang juga tercemar oleh merkuri karena penambangan emas. Konsentrasi merkuri pada biota tersebut berkisar antara 0,4 – 50,5 mg/Kg (Zizek *et al.*, 2007).

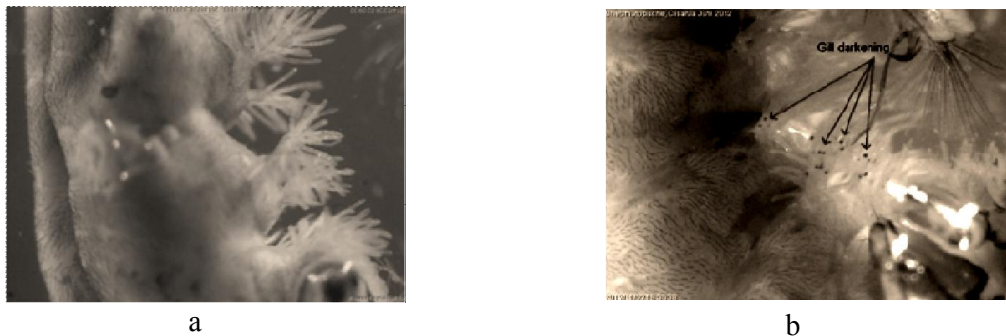
Perubahan Morfologi Insang

Pada biota air, akumulasi merkuri dapat terjadi melalui dua jalur yaitu, melalui saluran pencernaan, yang berasal dari makanan yang dimakan, dan melalui saluran pernafasan (Skinner & Bennet, 2007). Pada ikan-ikan herbivora, kepiting dan lobster penyerapan merkuri terjadi terutama melalui insang (Boening, 2000).

Salah satu pengaruh pencemaran logam terhadap Trichoptera adalah terjadinya abnormalitas morfologi pada hewan tersebut. Abnormalitas morfologi yang terjadi antara lain adalah terjadinya penghitaman pada lembaran-lembaran insang trachea (Vuori & Kukkonen, 1996).

Insang Trichoptera merupakan salah satu organ tubuh yang paling terkena pengaruh gangguan lingkungan perairan karena organ tersebut memiliki luas permukaan yang besar sehingga meningkatkan akumulasi senyawa-senyawa kimia dan gas-gas yang terlarut di perairan (Skinner & Bennet, 2007). Salah satu bentuk abnormalitas yang terjadi pada insang trachea Trichoptera adalah terjadinya penghitaman pada lembar-lembar insangnya (Gambar 5).

Insang merupakan organ tempat terjadinya pertukaran ion-ion utama seperti Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- dari dan ke dalam tubuh organisme perairan. Keberadaan logam berat non esensial seperti merkuri di perairan menyebabkan terhambatnya penyerapan ion-ion utama tersebut (Brix *et al.*, 2011). Defisiensi ion-ion utama tersebut di dalam tubuh Trichoptera menyebabkan peningkatan upaya penyerapan ion-ion utama tersebut oleh sel-sel epitel insang.



Gambar 5. (a) Insang trachea Trichoptera normal dan (b) Insang trachea Trichoptera yang mengalami penghitaman akibat pencemaran merkuri

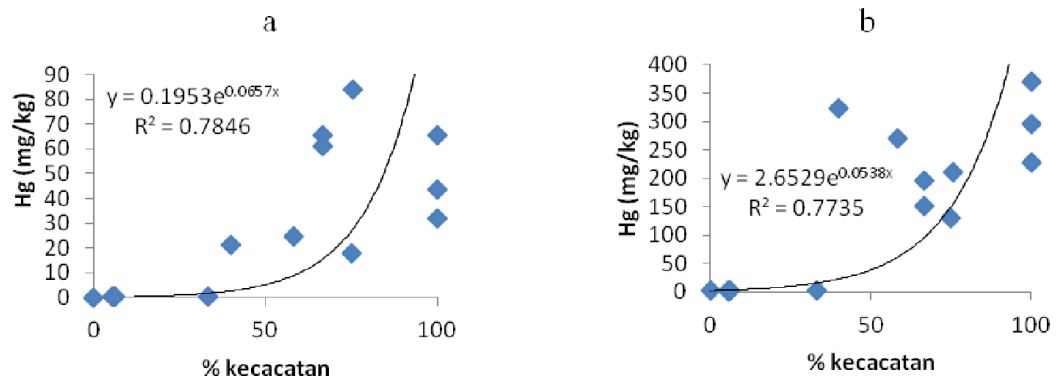
Prosentase kecacatan insang dari 10 bulan pengamatan di lokasi penelitian bervariasi mulai dari 5% di Cikuluwung sampai dengan 91% di Curug Bitung (Tabel 2). Kecacatan yang terjadi pada insang trachea pada penelitian ini berkorelasi positif dengan konsentrasi merkuri dalam bentuk partikulat (0,78) dan akumulasi merkuri pada tubuh biota (0,77) (Gambar 6). Hal tersebut menunjukkan bahwa kecacatan yang terjadi pada insang Trichoptera disebabkan oleh merkuri dalam bentuk partikulat dan karena adanya akumulasi merkuri pada tubuh biota tersebut.

Penyerapan aktif ion-ion utama tersebut diduga menyebabkan terjadinya penghitaman pada insang trachea Trichoptera (Vuori, 1994).

Penghitaman pada insang trachea juga teramati pada Trichoptera yang terpapar oleh beberapa jenis logam berat seperti kadmium (Cd) (Vuori, 1994), aluminium (Al) (Vuori & Kukkonen, 1996), kromium (Cr) (Leslie *et al.*, 1999) dan tembaga (Cu) (Prommi & Thamsenanupap, 2013). Di samping itu pH (Prommi & Thamsenanupap, 2013) dan air yang terklorinasi (Camargo, 1991) juga dilaporkan menyebabkan penghitaman pada organ ini.

Tabel 2. Prosentase penghitaman insang trachea pada Trichoptera di Sungai Cikaniki

Lokasi	Konsentrasi Hg (mg/L)	Insang hitam (%)	Jumlah individu (n)
Cikuluwung	0,099	5	150
Cisarua	2,667	73	26
Curug Bitung	2,933	91	11
Lukut	2,389	64	342



Gambar 6. Kecenderungan hubungan persentase kecacatan dengan (a) konsentrasi merkuri partikulat, (b) akumulasi merkuri dalam tubuh biota

KESIMPULAN

Konsentrasi merkuri di Sungai Cikaniki yang diakibatkan oleh kegiatan ekstraksi emas pada penambangan emas tanpa ijin (PETI), sudah melebihi kriteria konsentrasi merkuri yang aman bagi lingkungan perairan. Konsentrasi merkuri dalam bentuk partikulat di daerah tersebut menyebabkan terjadinya bioakumulasi merkuri yang cukup tinggi pada biota Trichoptera, serta menyebabkan terjadinya kecacatan berupa penghitaman pada insang trachea biota tersebut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari disertasi S3 Karyasiswa Gunawan Pratama Yoga dan dibiayai oleh Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) sebagai bagian dari beasiswa S3. Kami berterima kasih kepada Sdr. Tri Suryono dan Sdr. Yoyok Sudarso yang telah membantu selama pengumpulan contoh di lapangan. Sdr. Supranoto melakukan pemilahan contoh bentos di laboratorium. Sdri. Rosidah dan Sdri. Fajar Sumi memberikan bantuan analisis merkuri di laboratorium. Pimpinan Pusat Penelitian Limnologi-LIPI yang telah menyediakan fasilitas transportasi untuk pengambilan contoh, dan fasilitas laboratorium untuk analisis contoh dan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Akagi, H, H. Nishimura, 1991. Speciation of Mercury in The Soils and Sediments Environment, in: Suzuki T (eds): *Advances in Mercury Toxicology*, Plenum Press New York, 53-76.
- Boening, D.W., 2000. Ecological Effects, Transport, and Fate of Mercury: A General Review. *Chemosphere* 40:1335–1351
- Brix, K.V., DeForest, D.K., Adams, W.J., 2011. The Sensitivity of Aquatic Insects to Divalent Metals: A Comparative Analysis of Laboratory and Field Data. *Sci Total Environ* Vol 409, 4187–4197
- Camargo, J., 1991. Toxic Effects of Residual Chlorine on Larvae of *Hydropsyche pellucidula* (Trichoptera, Hydropsychidae): A Proposal of Biological Indicator. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 47, page 261-265
- Castilhos, Z.C., S. Rodrigues-Filho, A.P.C. rodrigues, R.C. Villas-Boas, S. Siegel, M.M. Veiga, & C. Beinhoff. 2006. Mercury Contamination in Fish from Gold Mining Areas in Indonesia and Human Health Risk Assessment. *Science of the Total Environment*. 368: 320–325

- Eaton, A.D., L.S. Clesceri, E.W. Rice, & A.E. Greenberg, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. 19th ed. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation. Washington D.C. 1085 pp.
- Greve, G.D., H. van Der Geest, S. Stuijzand, S. Engels, & M. Kraak, 1998. Development of Ecotoxicity Tests using Laboratory Reared Larvae of The Riverine Caddisflies *Hydropsyche angustipennis* and *Cyrtus trimaculatus*, in: Proceedings of Experimental and Applied Science of Entomology, N.E.V. Amsterdam. Amsterdam, pp. 205 - 210.
- Halimah, S., Darmaerus, E.H. Netty, & Asrul. 2001. Pencemaran Merkuri di Sungai Cikaniki Akibat Aktivitas Penambangan Emas Tradisional di Kawasan Gunung Pongkor Jawa Barat. Prosiding Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan. Halaman 286 – 292.
- Leslie, H.A., T.I. Pavluk, A. bij de Vaate, & M.H. Kraak. 1999. Triad Assessment of the Impact of Chromium Contamination on Benthic Macroinvertebrates in the Chusovaya River (Urals, russia). Arch Environ Contam Toxicol.; 37(2):182-189.
- Limbong, D., J. Kumampung, J. Rimper, T. Arai, & N. Miyazaki, 2003. Emissions and Environmental Implications of Mercury from Artisanal Gold Mining in North Sulawesi, Indonesia. The Science of the Total Environment. 302. 227–236.
- McIntyre, J.K., & D.A. Beauchamp, 2007. Age and Trophic Position Dominate Bioaccumulation of Mercury and Organochlorines in the Food Web of Lake Washington. Science of the Total Environment 372, page 571–584.
- Merritt, R.W., & K. W. Cummins, 2006. Trophic Relationships of Macroinvertebrates, In: Hauer, F.R. & G. A. Lamberti (Eds). Methods in Stream Ecology, Academic Press. 585 – 609.
- Novotny, V., & H. Olem, 1994. Water Quality Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution. Van Nostrand Reinhold. USA. 1054pp.
- Prommi, T., & P. Thamsenanupap, 2013. Hydropsychid Gill Morphology (Insecta:Trichoptera) in Association with Water Quality Parameters. *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*, Vol. 8, No. 2, page 125 – 134.
- Pudjiastuti, T.N., 2005. The Pressure of Migrant Illegal Miners on the Dynamic of Local Community : on 1998 Pongkor Gold Mining Case. Asia Pacific Learning Event. Phillipines. 15 pages.
- Rosenberg, D.M., & V.H. Resh, 1993. Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. 488 pp. Chapman and Hall.
- Smoley, C.K., 1992. Determination of Mercury in Tissues by Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry. *Dalam USEPA. Methods for Determination of Metals in Environmental Samples*. CRC Press.
- Skinner, K.M., & J.D. Bennett, 2007. Altered Gill Morphology in Benthic Macroinvertebrates from Mercury Enriched Streams in the Neversink Reservoir Watershed, New York. *Ecotoxicology*, Vol. 16, page 311 – 316.
- Sudarso, Y., G.P. Yoga, T. Suryono, M.S. Syawal, & Yustiawati, 2009. Pengaruh Aktivitas Antropogenik di Sungai Cikaniki (Jawa Barat) terhadap Komunitas Fauna

- Makrobentik. *Limnotek*, Vol 16, Nomor 2. Halaman 153 – 166.
- Sudarso, Y., Y. Wardiatno, D. Dj. Setiyanto, & W. Anggaraitoningsih, 2013. Pengaruh Aktivitas Antropogenik di Sungai Ciliwung terhadap Komunitas Larva Trichoptera. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, Volume 20, Nomor 1. Halaman 68 – 83.
- Syawal, M.S., 2000. Pengamatan Kualitas Air Sungai Cikaniki Sub. DAS Cisadane, Leuwiliang Bogor. Skripsi Sarjana Kimia Universitas Pakuan Bogor.
- Wong, A.H.K., D.J. McQueen, D.D. Williams, & E. Demers, 1997. Transfer of Mercury from Benthic Invertebrates to Fishes in Lakes with Contrasting Fish Community Structures. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* Vol. 54, page 1320 – 1330.
- Wong, C.S.C., N. S. Duzgoren-Aydin, A. Aydin, & M.H. Wong, 2006. Sources and Trends of Environmental Mercury Emissions in Asia. *Science of the Total Environment*. 368, 649–662.
- Vuori, K.M., 1994. Rapid Behavioural and Morphological Responses of Hydropsychid Larvae (Trichoptera, Hydropsychidae) to Sublethal Cadmium Exposure. *Environmental Pollution* Volume 84, Issue 3, Pages 291-299
- Vuori, K.M., & J. Kukkonen, 1996. Metal Concentrations in *Hydropsyche pellucidula* Larvae (Trichoptera, Hydropsychidae) in relation to the Anal Papillae Abnormalities and Age of Exocuticle. *Water Research* Vol. 30, No. 10, pp. 2265-2272
- Yoga, G.P., Y. Sudarso, T. Suryono, Awalina, M.S. Syawal, & Yustiawati, 2009. Bioakumulasi Logam Merkuri pada Beberapa Tipe Kebiasaan Makan Fungsional Biota Air di Sungai Cikaniki. *Limnotek Perairan Darat Tropis di Indonesia*. Vol. XVI, Nomor 2. Halaman 167-179.
- Zizek, S., M. Horvat, D. Gibicar, V. Fajon, & M.J. Toman, 2007. Bioaccumulation of Mercury in Benthic Communities of a River Ecosystem Affected by Mercury mining. *Science of the Total Environment* 377 : 407 – 415.