

**AKUMULASI MERKURI PADA IKAN BAUNG (*Mytus nemurus*)
DI SUNGAI KAHAYAN KALIMANTAN TENGAH
(*The Accumulation of Mercury on Baung Fish (Mytus nemurus)*
in the Kahayan River of Central Kalimantan)**

Adventus Panda*, Kamiso Handoyo Nitimulyo, Tjut Sugandawaty Djohan*****

*Alumnus Program Studi Ilmu Lingkungan, Program Pasca Sarjana, UGM, Yogyakarta.

**Fakultas Peternakan, Jurusan Perikanan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

***Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Abstrak

Sungai Kahayan di Kalimantan Tengah mengalami tekanan lingkungan karena adanya limbah merkuri yang berasal dari aktivitas penambangan emas tradisional. Di tempat tersebut terdapat 1014 tempat penambangan emas sepanjang sungai dari hulu sampai hilir. Merkuri dalam sedimen sungai secara berturut-turut mengalami metilasi (*methylation*) oleh reduksi sulfat bakteri. Riset ini merupakan studi akumulasi merkuri (Hg) dalam *Mytus nemurus*, sedimen dan air, dari hulu ke hilir di sungai Kahayan. Total jarak dari hulu sekitar 296 km. Data dikumpulkan dari 3 lokasi sepanjang sungai. Dalam tiap lokasi tapak sampling berada di dataran banjir (*floodplain*). Penelitian dilaksanakan selama musim hujan. Ikan ditangkap menggunakan rengge (*gillnet*). Penentuan metil merkuri digunakan metode "modified CV-AAS (*cold vapor atomic absorption spectrophotometry*)".

Hasil penelitian menunjukkan bahwa diantara sample yang diukur, akumulasi tertinggi masing-masing berada dalam sedimen sungai ($0,336 \mu\text{g.}$) dikutip dengan daging *M. nemurus* ($0,303 \mu\text{g.g}^{-1} \pm 0,342$), dan air ($0,058 \text{ mg.l}^{-1}$). Merkuri memiliki tendensi meningkat menuju hilir. Hal ini disebabkan oleh tekstur sedimen yang didominasi oleh silt. Kondisi ini berpotensi untuk metilasi. Turbiditas, arus, dan pH menyumbangkan kenaikan tingkat merkuri di hilir. Asupan merkuri mingguan yang dapat ditoleransi menurut WHO adalah $171,42 \mu\text{g}$ adalah sama dengan $24,4 \mu\text{g}$ sehari jika seseorang mengkonsumsi 100 g daging *M. nemurus* sehari, dimungkinkan bahwa akan ada $30,3 \mu\text{g.g}^{-1}$ yang masuk ke tubuh. Hal ini berarti bahwa merkuri disepanjang sungai Kahayan mengancam penduduk yang mengkonsumsi ikan dari sungai tersebut.

Kata kunci: Sungai Kahayan, limbah merkuri (Hg), ikan Baung (*Mytus nemurus*), sedimen, pertambangan emas tradisional

Abstract

*The Kahayan River of Central Kalimantan had environmental stress due to mercury waste. This waste came from the traditional gold mining activities. There were 1014 gold mining sites along the river from upstream to downstream. Mercury in river sediment was subsequently methylated by sulfated reduction bacteria. This research were study the accumulation of mercury (Hg) on *Mytus nemurus*, sediment and water, from upstream to downstream in the Kahayan River. Total distance from up to downstream site was approximately 296 km. Data was collected from 3 location along the river. Within each location, sampling sites were at floodplain. Research was carried out during wet season. Fish were caught using rengge (*gillnet*). The determination of methylmercury was using modified CV-AAS (*cold vapor atomic absorption spectrophotometry*) methods.*

*The results showed that among samples being measured, the accumulation was highest in river sediment ($0,336 \mu\text{g.g}^{-1}$), followed by the meat of *M. nemurus* ($0,303 \mu\text{g.g}^{-1} \pm 0,342$), and the water ($0,058 \text{ mg.l}^{-1}$) respectively. Mercury had tendency higher toward downstream. This was due to sediment texture which was dominated by silt. Such condition was potential for methylation. Turbidity, water current and pH contributed to the increasing level of mercury in the downstream. WHO permittable-tolerable weekly intake for mercury*

is 171,42 µg was equal to 24,4 µg daily if one person consume 100 g M. numerus meat daily, it is possible that will be 30,3 µg.g⁻¹ enter the body. This means that mercury along the Kahayan River threaten the people who eat fish up from this river.

Key words: Kahayan River, Mercury (Hg) waste, Baung (Mytus nemurus) fish, sediment, traditional gold mine.

LATAR BELAKANG

Sungai Kahayan terletak di daerah tangkapan air pada 113°30'00" – 114°30'00" BT dan 0°45'00" – 2°15'00" LU dan bermuara di Laut Jawa (Gambar 1). Sungai ini panjangnya mencapai 600 km dan melewati lebih dari 60 desa di 2 Kabupaten dan satu Kotamadya. Di sepanjang anak sungai dan sungai ini dijumpai tambang emas tradisional, mencapai lebih dari 1014 buah lanting penyedot. Dilaporkan bahwa pada pertengahan tahun 2001, limbah merkuri yang dibuang ke badan sungai Kahayan sebanyak 3153,96 gram per bulan atau 105,06 gram per hari (Anonim, 2001).

Appleton et al. (2001), melaporkan bahwa kontaminasi merkuri (Hg) dari penambangan emas merupakan salah satu masalah lingkungan yang terburuk yang terjadi dalam ekosistem. Hal ini seperti yang terjadi pada ekosistem Sungai Amazon dan sungai di Equador. Kondisi buruk ini berhubungan dengan efek jangka panjang (long term effect), toksisitas logam merkuri di ekosistem dan akumulasinya dalam jaring makanan (Appleton et al, 2001; De Oliveira et al. 2001).

Aliran sungai membawa sejumlah besar merkuri utamanya dalam bentuk partikel. Partikel tersebut mengendap sebagai sedimen baik di sepanjang aliran sungai maupun di muara (Graves dan Storm 2002; Gilmour et al, 1998; Helland 2001). Merkuri yang mengendap di sedimen tersebut akan diubah menjadi metilmerkuri (CH₃Hg(I)) oleh bakteri pereduksi sulfat. Proses perubahan merkuri menjadi metilmerkuri oleh bakteri pereduksi sulfat disebut metilasi (methylation). Metilmerkuri tersebut kemudian akan memasuki jaring makanan dan terakumulasi dalam tubuh manusia (Cleckner et al. 1998; Gilmour et al. 1998; Lawson dan Mason 1998, Mauro et al. 2001; Gilmour dan Krabbenhoft 2001; Matilainen et al. 2001; Roulet et al. 2001). Proses terjadinya bioakumulasi metilmerkuri pada ikan di lingkungan perairan melalui dua jalur utama, yakni kontaminasi langsung (direct contamination) dan kontaminasi melalui tingkat tropik (trophic contamination). Metilmerkuri (CH₃Hg(I))

akan terakumulasi pada hati, otak, limpa, otot serta ginjal (Boudou et al. 1983). Rizal (2003), melaporkan bahwa kandungan merkuri pada ikan yang berasal dari anak sungai Kahayan, yang dijual di pasar Kelurahan Tangkiling, Kecamatan Bukit Batu, Kotamadya Palangkaraya sangat bervariasi dalam konsentrasi. Ikan Gabus (0,78 µg.g⁻¹), ikan pipih (0,44 µg.g⁻¹), dan ikan Baung (0,29 µg.g⁻¹). Berdasar rerata konsumsi di Kelurahan Tangkiling sebesar 87,52 gram per orang per hari maka untuk ikan Gabus diketahui jumlah merkuri yang masuk ke dalam tubuh penduduk sebesar 68,26 µg.g⁻¹ per hari. Nilai ini lebih besar dari konsumsi mingguan yang dapat ditolerir (permissible-tolerable weekly intake) WHO.

Panda et al. (2003), melaporkan bahwa ikan Baung (*Mytus nemurus*) terdistribusi luas mulai dari hulu sampai hilir Sungai Kahayan. Ikan tersebut termasuk golongan omnivora (pemakan segala). Ikan Baung ini merupakan jenis ikan yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat disepanjang aliran sungai Kahayan. Oleh karena itu dalam penelitian ini ikan Baung digunakan sebagai ikan uji untuk pencemaran di Sungai Kahayan.

Karena sifat merkuri yang akumulatif dalam tiap tingkat jaring makanan dan berdampak jangka panjang, maka perlu diteliti akumulasinya di ekosistem sungai Kahayan yaitu pada ikan, sedimen dan air sungai. Terutama untuk menjawab pertanyaan berikut, berapa besarnya kandungan merkuri pada daging ikan Baung, sedimen dan air sungai di hulu, antara hulu-hilir dan di hilir Sungai Kahayan?

Metode Penelitian

Daerah Kajian- Penelitian dilaksanakan pada musim hujan, tanggal 18 Maret – 25 April 2003. Ada 3 lokasi kajian mulai dari hulu ke hilir (Tabel 1). Lokasi kajian di hulu adalah di Sungai Mirih. Semula diasumsikan tidak terdapat aktivitas penambangan sehingga dapat digunakan sebagai acuan kontrol. Namun hasil analisis menunjukkan adanya kandungan merkuri pada ikan Baung di hulu. Ini menunjukkan bahwa ada aktivitas penambangan di sana. Lokasi di antara hulu hilir

adalah Desa Tuwung dan lokasi di daerah hilir adalah Desa Kalawa. Pada tiap lokasi kajian, panjang sungai yang diteliti adalah 100 m. Panjang aliran sungai dapat lurus 100 m atau dalam segmen yang jumlah total panjangnya 100 m. pada tiap lokasi kajian, koleksi data dilakukan pada enam titik sampling sebagai ulangan. Titik sampling diletakkan pada segmen sungai yang lurus.

Sampel ikan Baung untuk analisis merkuri – Ikan dicuplik pada akhir musim hujan. Alat tangkap yang digunakan adalah rangge (jaring insang) ukuran 4 inch, dipasang tegak (perpendicular) di bagian tepi sungai. Lama pemasangan adalah 12 jam (06.00 wib - 18.00 wib), kemudian rangge tersebut diangkat dan ikan yang tertangkap diukur panjang, lebar dan beratnya (Rosenfeld et al. 2001). Untuk analisis merkuri pada ikan, pada setiap titik pencuplikan, ikan Baung dengan ukuran tubuh besar dan masih hidup, dijadikan sebagai sampel komposit. Pemilihan ikan Baung besar ini didasarkan pada asumsi bahwa akumulasi paling besar pada organisme sejenis yang dewasa atau tua mempunyai ukuran tubuh besar.

Jadi ukuran tubuh yang besar digunakan sebagai acuan. Sampel ikan Baung dengan panjang standar 30 – 32 cm dan lebar 5 – 7 cm, dipilah dan dikomposit. Ikan Baung hidup dicuci dengan aquades, kemudian dimasukkan ke dalam plastik berisi air dan dibekukan. Plastik yang berisi ikan tersebut dimasukkan ke dalam cooler yang telah berisi dengan es batu (Darrel Slotton 2002: UC. Davis, komunikasi pribadi).

Sampel komposit sedimen – Pada setiap lokasi, sedimen sungai dicuplik dengan menggunakan pipa PVC. Kedalaman sedimen untuk analisis adalah 2 – 5 cm dari dasar sungai (Philips et al. 1997). Sedimen yang telah diangkat, diberi asam nitrat (HNO_3). Ini dimaksudkan untuk menghindari kehilangan merkuri volatil dan homogenitasnya sebelum didekomposisi (Helland 2001). Kemudian sedimen tersebut dimasukkan ke dalam plastik zip-lock, dimasukkan ke dalam cooler dan ditutup rapat untuk diangkut ke laboratorium.

Sampel komposit air – Pada setiap titik sampling dalam stasiun penelitian, sampel air dicuplik dengan menggunakan cara memasukkan air ke dalam botol aqua 60 ml (Appleton, et al, 2001).

Kemudian semua sampel baik ikan, sedimen dan air sungai diangkut ke Laboratorium Kimia Analitik Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju (P3TM) Batan, Yogyakarta, untuk dianalisis kandungan merkurnya.

Tanda Δ adalah lokasi sampling di hulu (Sungai Mirih), antara hulu hilir (Desa Tuwung) dan hilir (Desa Kalawa) Sungai Kahayan. Pembagian ini didasarkan pada aktivitas penambangan emas tradisional di sepanjang sungai Kahayan.

Analisis merkuri – Metode yang digunakan adalah metode cold vapor-atomic absorption spectrophotometric (CV-AAS). Spesiasi merkuri dilakukan dengan menggunakan metode ekstraksi yang dipadukan dengan metode CV-AAS.

Pengukuran kualitas air – Kualitas air meliputi

Tabel 1. Lokasi Penelitian di Sungai Kahayan, Kalimantan Tengah

No	Lokasi	Desa	Koordinat	
			°LS	°BT
1	Sungai Mirih (Hulu)	Sungai Mirih, Wilayah Administrasi Kabupaten Gunung Mas	00°55'8.6"	113°28'4.00"
2	Antara hulu-hilir	Tuwung Kecamatan Bukit Rawi Kabupaten Pulang Pisau	02°4'3.25"	113°55'32.5"
3	Hilir	Kalawa, Kecamatan Kahayan hilir Kabupaten Pulang Pisau	02°46'30.3"	114°16'30.3"

pH, temperatur dan turbiditas in situ menggunakan alat ukur WQC-22A TOA Electronics, Japan. Pengukuran kecepatan arus menggunakan bola pingpong yang telah diisi air, kemudian diukur waktunya dengan menggunakan stopwatch. Stopwatch akan dihentikan setelah bola pingpong melewati jarak 100 m.

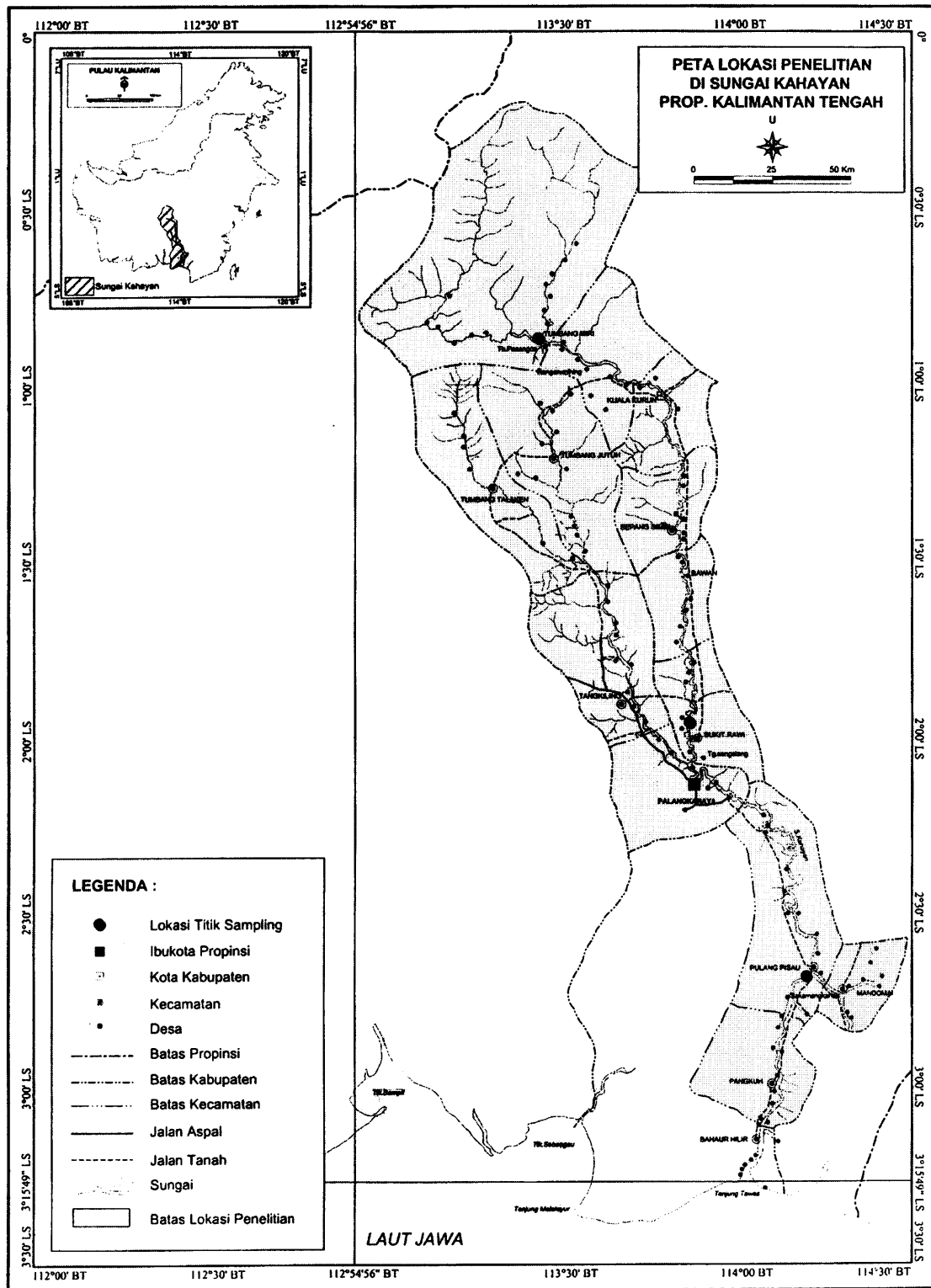
Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan suatu kecenderungan naiknya konsentrasi metil merkuri pada daging ikan Baung, sedimen dan air sungai Kahayan (Gambar 3). Diantara ketiga bagian ekosistem yang diuji ini, yang paling tinggi adalah sedimen sebesar $0,336 \mu\text{g.g}^{-1}$.

Besarnya kandungan merkuri di bagian hilir sungai Kahayan, disebabkan oleh beberapa hal, yaitu tekstur sedimen (Tabel 2), kekeruhan air, pH air, kecepatan arus (Tabel 3), masukan Hg ke lingkungan dan proses metilasi, serta proses

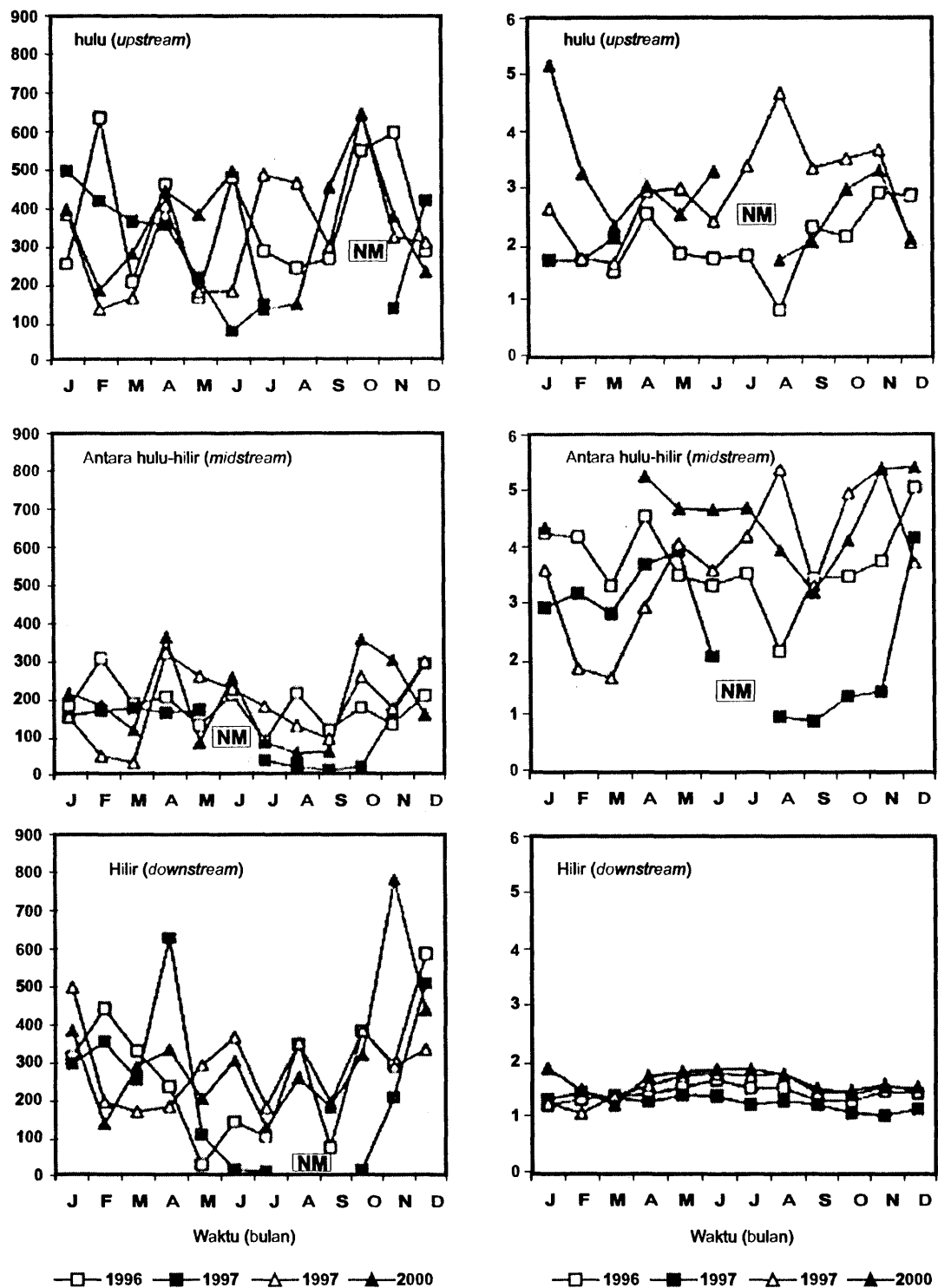
pengambilan bahan organik secara langsung oleh ikan Baung.

Karakteristik sedimen, terutama tekstur sedimen yakni pasir, debu dan lempung menunjukkan persentase yang bervariasi. Pada bagian hulu, material didominasi pasir (52,60%) sedangkan dibagian hilir didominasi oleh debu (44,03%). Hal ini mempunyai efek yang berbeda, terutama dalam proses metilasi. Debu, memungkinkan proses metilasi berlangsung dibandingkan dengan pasir. Tingkat kekeruhan air sungai (Gambar 4), menunjukkan kenaikan ke arah hilir sungai. Merkuri yang terikat pada partikel akan terangkut ke arah hilir, dan mengendap. Kecepatan arus air sungai di hilir yang sangat lambat memungkinkan merkuri mengendap seiring dengan proses sedimentasi di sungai. Kecepatan arus, memperlihatkan beda nyata di hulu ($0,198 \text{ ms}^{-1}$) ke hilir ($0,1708 \text{ ms}^{-1}$) sungai Kahayan.

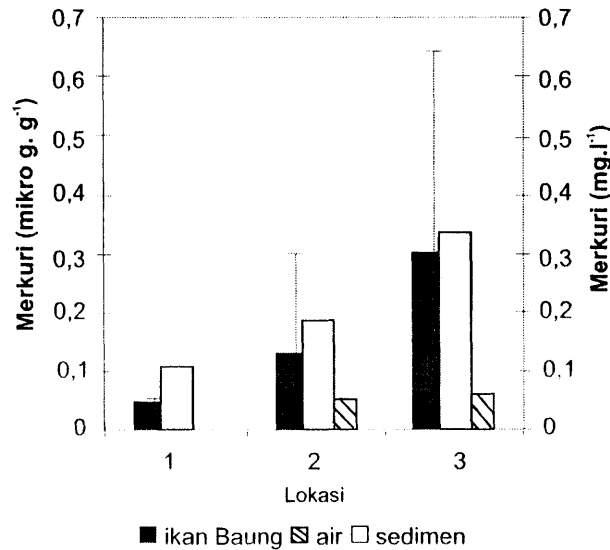


Gambar 1. Peta lokasi penelitian di Sungai Kahayan, Kalimantan Tengah.

Akumulasi Merkuri pada Ikan Baung



Gambar 2. Curah Hujan (mm/Bulan) dan Tinggi Muka air (m) di Tiga Stasiun Pengukuran Kuala Kurun (hulu), Palangkaraya (antara hulu-hilir) dan Mantaren (Hilir) Tahun 1996, 1997, 1998 dan 2000. PU Pengairan Propinsi, Kalimantan Tengah



Gambar 3. Kandungan merkuri pada daging ikan Baung (*Mytus nemurus*), sedimen dan air sungai di lokasi Hulu (Sungai Mirih), lokasi antara hulu-hilir (Desa Tuwung) dan lokasi hilir (Desa Kalawa) Sungai Kahayan, Kalimantan Tengah.

Tabel 2. Karakteristik sedimen pada tiap lokasi kajian di Sungai Kahayan, Kalimantan Tengah.

Karakteristik sedimen	Lokasi		
	Hulu	Hulu-hilir	Hilir
Pasir (%)	52.60	44.75	26.76
Debu (%)	18.50	34.98	44.03
Lempung (%)	28.90	20.27	29.21
Kelas tekstur	Geluh lempung pasiran	Geluh	Geluh lempungan
Bahan Organik (%)	3.67	2.75	3.48
Total organic karbon (%)	2.13	1.60	2.02

Derajat keasaman (pH) menunjukkan kenaikan (asam) ke arah hilir, yakni 6,78 (hulu) – 4,83 (hilir). Hal ini kemungkinan terkait dengan konsentrasi sulfat tinggi di sungai. Walaupun konsentrasi sulfat tidak diukur dalam penelitian ini, kemungkinan ini terkait dengan pH yang asam di daerah hilir. Menurut Gilmour dan Krabbenhorf (2001), sulfat (SO_4^{2-}) akan menstimulasi aktivitas mikroorganisme yang memproduksi merkuri. Jadi, gabungan beberapa faktor tersebut mengakibatkan tingginya kandungan merkuri di daerah hilir sungai Kahayan. Dengan kata lain, faktor-faktor

ini memungkinkan suatu kondisi yang sesuai, sehingga sifat akumulatif merkuri lebih signifikan di daerah hilir.

Sumber Hg dari limbah buangan pemurnian emas ke badan Sungai Kahayan saat ini diduga sudah melebihi angka tahun 2001 sebesar 3151,96 gram per bulan (Anonim 2001). Aliran air yang membawa merkuri dalam bentuk partikel ke arah hilir dari 1014 lanting di daerah hulu-hilir, akan berakibat masukan Hg di daerah hilir semakin banyak.

Tabel 3. Perbandingan antar parameter kualitas air (n=6) lokasi Hulu (Sungai Mirih), lokasi antara hulu-hilir (Desa Tuwung) dan lokasi hilir (Desa Kalawa) Sungai Kahayan, Kalimantan Tengah.

Parameter	Lokasi Penelitian					
	Hulu		Hulu-hilir		Hilir	
	Rerata	SD	Rerata	SD	Rerata	SD
Turbiditas (NTU)	47.67 ^a	±2.73	69.83 ^b	±1.47	90.67 ^c	±1.37
Kecepatan arus (ms ⁻¹)	0.1981 ^a	±0.001	0.1896 ^b	±0.0005	0.1708 ^c	±0.0005
PH	6.78 ^a	±0.083	5.71 ^b	±0.317	4.83 ^b	±0.02
Temperatur air (°C)	26.78 ^a	±0.31	27.950 ^b	±0.05	29.05 ^c	±0.27

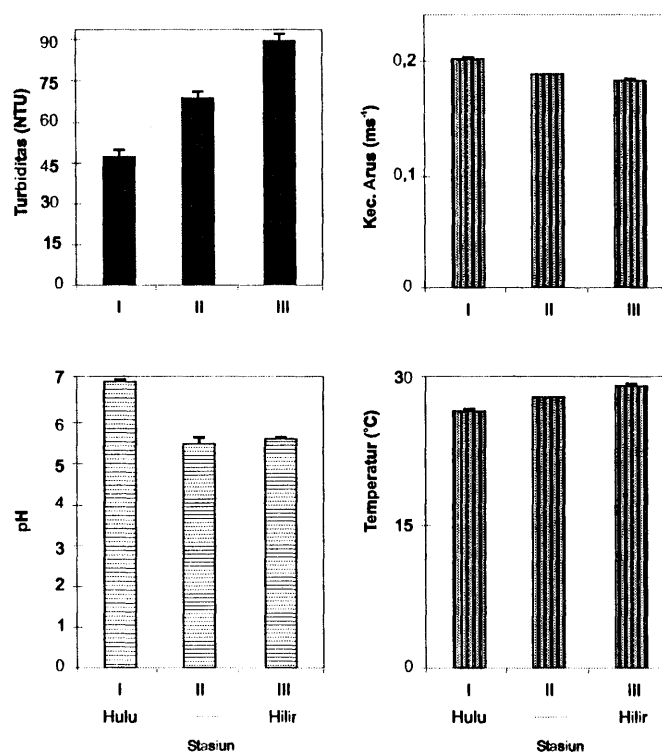
Keterangan:

SD = Standar deviasi

Nilai tanpa huruf^{abc} tidak menunjukkan perbedaan (ANOVA)

Nilai dengan huruf^{abc} yang sama tidak menunjukkan perbedaan (Uji LSD)

Huruf^{abc} menunjukkan perbedaan signifikan diantara lokasi penelitian



Gambar 4. Turbiditas (NTU), kecepatan arus (ms-1), temperatur air (oC) dan pH yang diukur (n=6) pada lokasi hulu (Sungai Mirih), lokasi hulu-hilir (Desa Tuwung) dan lokasi hilir (Desa Kalawa) Sungai Kahayan Kalimantan Tengah, A dan D; cenderung naik ke arah hilir B dan C; cenderung turun ke arah hilir

Faktor utama terjadinya proses metilasi di sedimen sungai adalah masukan Hg. Semakin banyak masukan Hg ke lingkungan, semakin banyak merkuri yang diubah menjadi metilmerkuri oleh bakteri pereduksi sulfat.

Akumulasi merkuri terbesar pada ikan Baung yang ditangkap pada lokasi hilir ($0,303 \mu\text{g.g}^{-1}$). Hal ini terkait dengan perilaku makan ikan Baung. Pada bagian terdahulu telah disebutkan bahwa ikan ini termasuk golongan pemakan segala (omnivora) dan merupakan ikan yang secara morfologi teradaptasi pada substrat yang berlumpur. Kandungan bahan organik pada substrat ditambah masukan Hg dari penambangan emas, menjadikan sedimen di lokasi hilir merupakan lokasi yang ideal bagi proses metilasi. Menurut Wiener (2001), merkuri masuk ke dalam sistem tubuh ikan hampir seluruhnya melalui perilaku makannya. Perilaku ini

dipengaruhi oleh ukuran, pola makan (amnivora, karnivora dan herbivora), dan struktur makan-dimakan (rantai makanan).

Akumulasi merkuri dalam daging ikan Baung, dapat digunakan untuk memprediksi besarnya merkuri yang masuk ke dalam tubuh manusia melalui ikan Baung yang mereka makan (Tabel 5). Andai kata, setiap harinya penduduk di bagian hilir memakan ikan Baung seberat 100 g, maka secara tidak langsung, ada penambahan merkuri sesar $30,3 \mu\text{g}$ dalam tubuh. Secara umum, kalkulasi di tiga lokasi penelitian ini masih di bawah batas aman (safety margin) konsumsi merkuri sebesar $50 \mu\text{g}$ per hari. Asupan yang diperkenankan dalam seminggu (permissible tolerate weekly intake/PWTI) oleh WHO (Rizal 2003) untuk merkuri direkomendasikan $200 \mu\text{g}$ dengan berat badan 70 kg.

Tabel 4. Kandungan merkuri pada daging ikan Baung (*Mytus nemurus*), sedimen dan air sungai di lokasi Hulu (Sungai Mirih), lokasi antara hulu-hilir (Desa Tuwung) dan lokasi hilir (Desa Kalawa) Sungai Kahayan, Kalimantan Tengah.

Bagian Lingkungan	Lokasi					
	Hulu	SD	Hulu-hilir	SD	Hilir	SD
Ikan Baung ($\mu\text{g g}^{-1}$)	0.047	± 0.005	0.130	± 0.173	0.303	± 0.342
Sedimen ($\mu\text{g g}^{-1}$)	0.018	0	0.183	0	0.336	0
Air sungai ($\mu\text{g g}^{-1}$)	0.003	0	0.049	0	0.058	0

Keterangan:

SD = Standar deviasi

Tabel 5. Kalkulasi kandungan merkuri pada ikan Baung (berat rerata 100 gr) dibandingkan dengan actual daily intake dan safety margin untuk merkuri (van Leeuwen 1995) dan permissible tolerate weekly intake (WHO).

Lokasi	Berat x kandungan merkuri ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Actual daily intake (μg)	Safety margin (μg)	Permittable tolerate weekly intake
Hulu	4.7	63	50	24.4
Hulu-hilir	13	63	50	24.4
Hilir	30.3	63	50	24.4

Untuk penduduk Indonesia yang mempunyai berat rerata 60 kg, asupan merkuri yang direkomendasikan adalah sebesar 171,42 µg per minggu atau 24,4 µg per hari. Ini berarti bahwa tingkat kontaminasi merkuri sudah membahayakan masyarakat di sepanjang aliran anak sungai dan sungai Kahayan. Dengan demikian, para penentu kebijakan harus segera mencari cara atau metode untuk mengurangi limbah buangan merkuri ke dalam anak sungai dan sungai Kahayan.

Ucapan Terima Kasih

Ir. Alfred Edy, Dinas Pertambangan dan Energi atas bantuan peta dan kimia. Ir. Taryono Buchar, M.Si. dan Ir. Andi Hutu, Fakultas Perikanan Universitas Palangkaraya (UNPAR) atas bantuannya dalam identifikasi ikan. Drs. Samin, APU, Lab. P3TM Badan Teknologi Atom Nasional (BATAM) Yogyakarta, atas analisis merkuri.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2001. Inventarisasi Pemanfaatan Air Raksa (merkuri) oleh Penambang Emas Tradisional dan Pembeli Emas di Sepanjang DAS Kahayan. BAPEDALDA Propinsi Kalimantan Tengah.
- Appleton, J. D., T. M. Williams, H. Orbea dan M. Carasco. 2001. Fluvial Contamination Associated With Artisanal Gold Mining in The Ponce Enriquez, Portovelo-Zaruma and Nambija Areas, Ecuador. *Water, Air dan Soil Pollution* (131): 19-39.
- Boudon A., D. Georgescauld dan J.P. Desmazes. 1983. Ecotoxicological role of the membrane barriers in transport and bioaccumulation of mercury compounds. *Aquatic Toxicology*. Wiley series advanced in Environmental toxicology and technology. Vol. 13. pp. 118-136.
- Cleckner L.B., P.J. Garrison, J.P. Hurley, M.M. Olson dan D.P. Krabbenhoft. 1998. Trophic transfer of methylmercury in the northern Florida Everglades. *Biogeochemistry* (40) : 347 – 361.
- De Oliveira S.M.B., A.J. Melfi, A.H. Fostier, M.C. Forti, D.I.T. Favaro dan R. Boulet. 2001. Soils as an important sinks for mercury in the Amazon. *Water, Air and Soil Pollution* (26): 321-337.
- Duis, K. 2001. Toxicity of acidic post-mining lake water to early life stages of Tench, Tinca Tinca (Cyprinidae). *Water, Air and Soil Pollution* (132): 373-388.
- Gilmour C.C. dan D.P. Krabbenhoft. 2001. Status of Methylmercury Production Studies. Everglades consolidated report. <http://www.sfmd.gov/org/ema/everglades/consolidated01/chapter%2007/chapter%2007%20appendices/A07-04.pdf>.
- Gilmour, C.C., 1998. Methylmercury concentrations and production rates across a trophic gradient in the northern Everglades. *Biogeochemistry* (40) : 327-345.
- Graves, G.A dan Douglas G. Strom. 2002. Draft Comprehensive Everglades restoration monitoring and assessment plan. Mercury monitoring : Scientific foundation and hypothesis. http://www.evergladesplan.org/recover/recover_docs/wqt/052202_wqt_mercury_mon.pdf.
- Helland A. 2001. The importance of selective transport and sedimentation in trend monitoring of metals in sediments, an example from the Glomma Estuary, East Norway. *Water, Air and Soil Pollution* (126) : 339-361.
- Hofer, R., R. Lackner, J. Kargl, B. Thaler, D. Tait, L. Bonetti, R. Vistocco, G. Flaim. 2001. Organochlorine and accumulation in fish (*Phonixus phonixus*) along a north-south transects in The Alps. *Water, Air and Soil Pollution* (125) : 189-200.
- Hylander, L.D., 2001. Global mercury pollution and it's expected decrease after a mercury trade ban. *Water, Air and Soil Pollution* (125) : 331-344.
- Lawson N.M. dan R.P. Mason. 1998. Accumulation of mercury in estuarine food chains. *Biogeochemistry* (40) : 235-247.
- Matilaninen, T., M. Verta, H. Korhonen, A. Uusi Rauva dan M. Niemi. 2002. Behavior of mercury in soil profiles: impact of increased precipitation, acidity and fertilization on mercury methylation. *Water, Air and Soil Pollution* (125): 105-119.
- Panda, A., Tjut. Djohan, Kamiso, N.H. 2003. Distribusi dan Kemelimpahan Ikan di Sungai Kahayan, Kalimantan Timur (dalam persiapan).
- Philips, P.J., K. Riva Murray, H.M. Ollister, E.A. Flanary. 1997. Distribution of DDT, chlor-dane, and total PCB'S in bed sediments in the

- Hudson River Basin. NYES & E (3) 1:26-47.
- Rizal, Ayomi. 2003. Kadar merkuri rambut kepala dan faktor-faktor yang mempengaruhinya pada penduduk Kelurahan Tangkiling Kecamatan Bukit Batu, Kota Palangkaraya (Unpublished). Tesis S-2. Program Pasca Sarjana UGM. 68-72.
- Rosenfeld, J., M. Porter, M. Perason, B. Wicks, P. van Dishoeck, T. Patton, E. Parkinson, G. Haas dan D. McPhail. 2001. The influence of temperature and habitat on the distribution of chiselmouth, *Acrocheilus alutaceus*. *Env.Biol.of Fisher* (62): 401-413.
- Roulet, M., J. R. D. Guimaraes dan M. Lucotte. 2001. Methylmercury production in sediments and soils of an Amazonian floodplain effect of seasonal inundation. *Water, Air and Soil Pollution* (128): 41-60.
- Suheryanto. 2001. Spesiasi Metilmerkuri dan Merkuri Anorganik di Perairan Sungai Musi dengan Metode Ekstraksi dan CV-AAS. *Jurnal Kimia Lingkungan*. Vol 2 (2): 107-112.
- Wiener G. 2001. Status of Metylmercury Production Studies. *Everglades Consolidated Report*.
http://www.sfmd.gov/org/ema/everglades/consolidated_01/chapter%2007/chapter%2007%20appendices/A07-04.pdf.