

## DISTRIBUSI LOGAM BERAT MERKURI (Hg) DI KAWASAN PESISIR TELUK RATATOTOK, KABUPATEN MINAHASA, SULAWESI UTARA

Rachmansyah, Syarifuddin Tonnek, Makmur, Kamaruddin, dan Muharijadi Atmomarsono

### ABSTRAK

Studi ini telah dilakukan di kawasan pesisir Teluk Ratatotok, Kabupaten Minahasa Selatan, Sulawesi Utara dari tanggal 26 Juli - 1 Agustus 2004, bertujuan untuk mengetahui distribusi kandungan merkuri (Hg) dalam komponen ekosistem di kawasan pesisir T. Ratatotok. Metode survei dipadukan dengan Sistem Informasi Geografi digunakan dalam studi ini. Sampel meliputi (1) sedimen laut, sungai, dan lumpur penambangan emas; (2) air laut, sungai, sumur, dan air limbah penambangan emas; (3) ikan jenis pelagis dan demersal, moluska, (4) vegetasi mangrove dan makroalga. Hasil studi menunjukkan bahwa lingkungan perairan T. Ratatotok telah terkontaminasi logam merkuri (Hg). Kadungan Hg dalam daging ikan masih di bawah level *Maximum Permitted Concentration* (MPC) dan *Tolerable Daily Intake* (TDI), sehingga aman dikonsumsi. Disarankan untuk tidak mengkonsumsi ikan swangi (*Priacanthus* sp.) ukuran >15 cm, tetengkek (*Megalopsis* sp.) ukuran >20 cm, selar kuning (*Selaroides* sp.) ukuran >20 cm, layang (*Decapterus* sp.) ukuran >20 cm, bubara atau ikan kuwe (*Caranx* sp.) ukuran >20 cm serta organ dalam untuk semua jenis ikan. Penataan kawasan dan perbaikan pengolahan limbah penambangan perlu dilakukan. Vegetasi mangrove, padang lamun, terumbu karang perlu dijaga kelestariannya sebagai pendukung kehidupan dan kualitas lingkungan perairan T. Ratatotok dan T. Buyat.

**ABSTRACT:** *Distribution of mercury on coastal ecosystem of Ratatotok Bay, South Minahasa Regency, North Sulawesi. By: Rachmansyah, Syarifuddin Tonnek, Makmur, Kamaruddin, and Muharijadi Atmomarsono*

*This study was carried out in Ratatotok Bay from July 26 to August 1, 2004 aiming at determination of distribution of mercury on ecological component of coastal Ratatotok Bay. Survey method in combination with Geographical Information Systems (GIS) was applied in this study. Collected samples were (1) sediments of the sea, river, and the gold mining sludge, (2) waters from the sea, river, surrounding wells, and the waste water from gold mining, (3) pelagic and demersal fish, and mollusk, (4) mangrove, and macro algae. The result showed that Ratatotok Bay have contaminated of mercury (Hg). All the sample fish are safely consumable, since the mercury concentration in the fish flesh is still lower than Maximum Permitted Concentration and Tolerable Daily Intake. However, it is recommended not to eat "swangi" (big eyes), *Priacanthus* sp. >15 cm, "tetengkek" (hardtail scad), *Megalopsis* sp. >20 cm, "selar" (trevallies), *Selaroides* sp. >20 cm, "layang" (scads), *Decapterus* sp. >20 cm, kuwe (jacks trevallies), *Caranx* sp. >20 cm and all the fish of visceral organs. Improvement of coastal planning, management, and mining waste treatment should be done soon. In addition, mangrove, seagrass, coral reef, and bivalve (oyster) beds should be maintained naturally to improve environmental condition in Ratatotok Bay.*

**KEYWORDS:** *accumulation, mercury (Hg), Ratatotok Bay, gold mining sludge*

### PENDAHULUAN

Kondisi lingkungan perairan menjadi acuan penting bagi pemilihan lokasi pengembangan kawasan perikanan budi daya. Keberhasilan dan keberlanjutan perikanan budi daya sangat ditentukan antara lain oleh karakteristik lingkungan perairan yang mencerminkan daya dukung lingkungan bagi proses bioekologi dalam sistem budi daya. Di lain pihak keberlanjutan manfaat sumber daya perairan pesisir bagi perikanan budi daya

sangat dipengaruhi oleh keberadaan dan kegiatan yang berlangsung di kawasan daratan serta dinamika kualitas lingkungan pesisir akibat adanya interaksi antar pengguna di wilayah pesisir, di samping kegiatan perikanan budi daya itu sendiri.

Salah satu masalah lingkungan wilayah pesisir yang akhir-akhir ini mendapat perhatian serius adalah masalah pencemaran logam berat di perairan pantai. Pencemaran logam berat dapat merusak lingkungan perairan dalam hal stabilitas, keanekaragaman, dan

kedewasaan ekosistem (Heath, 1987). Lebih jauh disebutkan, bahwa dari aspek ekologis, kerusakan ekosistem perairan akibat pencemaran logam berat ditentukan oleh faktor kadar dan kesinambungan polutan yang masuk ke dalam perairan, sifat toksisitas, bioakumulasi, dan persistensinya baik terhadap proses fisika, kimia, maupun biologi. Pencemaran logam berat akan menyebabkan perubahan struktur komunitas perairan, jaring makanan, tingkah laku, efek fisiologi, genetik, dan resistensi (Moriarty, 1987). Pencemaran perairan oleh logam berat selain berpengaruh terhadap kehidupan organisme akuatik dan kerusakan lingkungan hidup perikanan juga membawa dampak buruk terhadap kesehatan manusia akibat mengkonsumsi hasil laut yang terkontaminasi logam berat. Selain itu, dengan diberlakukannya perdagangan global yang menuntut pasok produk perikanan yang memenuhi standar mutu dan sanitasi yang ketat dan tidak bisa ditawar, maka pencemaran logam berat di wilayah pesisir merupakan ancaman serius bagi perdagangan produk perikanan di masa datang.

Teluk Ratatotok berada di pantai Selatan Sulawesi Utara, terletak pada posisi 124°41'24"—124°44'24" BT dan 0°50'24"—0°54'00" LU dengan luas sekitar 1.360 ha. Secara administratif T. Ratatotok masuk ke dalam Desa Ratatotok Timur, Kecamatan Ratatotok, Kabupaten Minahasa Selatan, meliputi enam dusun. Di sekitar teluk terdapat jalan aspal yang dapat menjangkau daerah bagian dalam teluk. Jaringan listrik telah terpasang sampai di pelosok desa di sekitar teluk. Dermaga terdapat tiga yaitu di Lakban, Ratatotok, dan Bungan sebagai tempat pendaratan ikan. Jumlah penduduk Desa Ratatotok Timur adalah 293 kepala keluarga atau 1.121 jiwa dengan mata pencaharian dominan (90%) adalah nelayan.

Teluk Ratatotok dimanfaatkan sebagai *fishing ground* nelayan pancing ulur, bagan apung, dan jaring insang, kawasan budi daya tiram mutiara, keramba jaring apung (KJA) dengan komoditas budi daya ikan kuwe. Berdasarkan ketersediaan infrastruktur dan kemudahan jangkauan wilayah dan kemudahan memperoleh akuainput (benih ikan dan pakan ikan rucah) maka perairan T. Ratatotok merupakan lahan yang potensial bagi pengembangan perikanan budi daya dengan sistem KJA. Namun demikian, tingkat kelayakannya ditentukan oleh karakteristik kualitas lingkungan perairan.

Kawasan pesisir Ratatotok merupakan kawasan penambangan emas potensial yang telah dieksploitasi sejak awal abad-19. Kegiatan penambangan emas diduga memberikan kontribusi terhadap bahan pencemaran yang masuk ke sungai dan bermuara di perairan Teluk Ratatotok, Kabupaten Minahasa Selatan, Sulawesi Utara. Dalam semua kasus, *tailing*

atau *sludge* dari penambangan mineral yang telah diekstraksi akan mengandung campuran air, lumpur, dan bahan kimia yang digunakan dalam proses ekstraksi (ADB, 1991). Karena itu, buangan limbah dari penambangan yang umumnya dibuang ke sungai pada gilirannya akan mempengaruhi kelayakan habitat wilayah pesisir bagi kehidupan berbagai biota termasuk manusia.

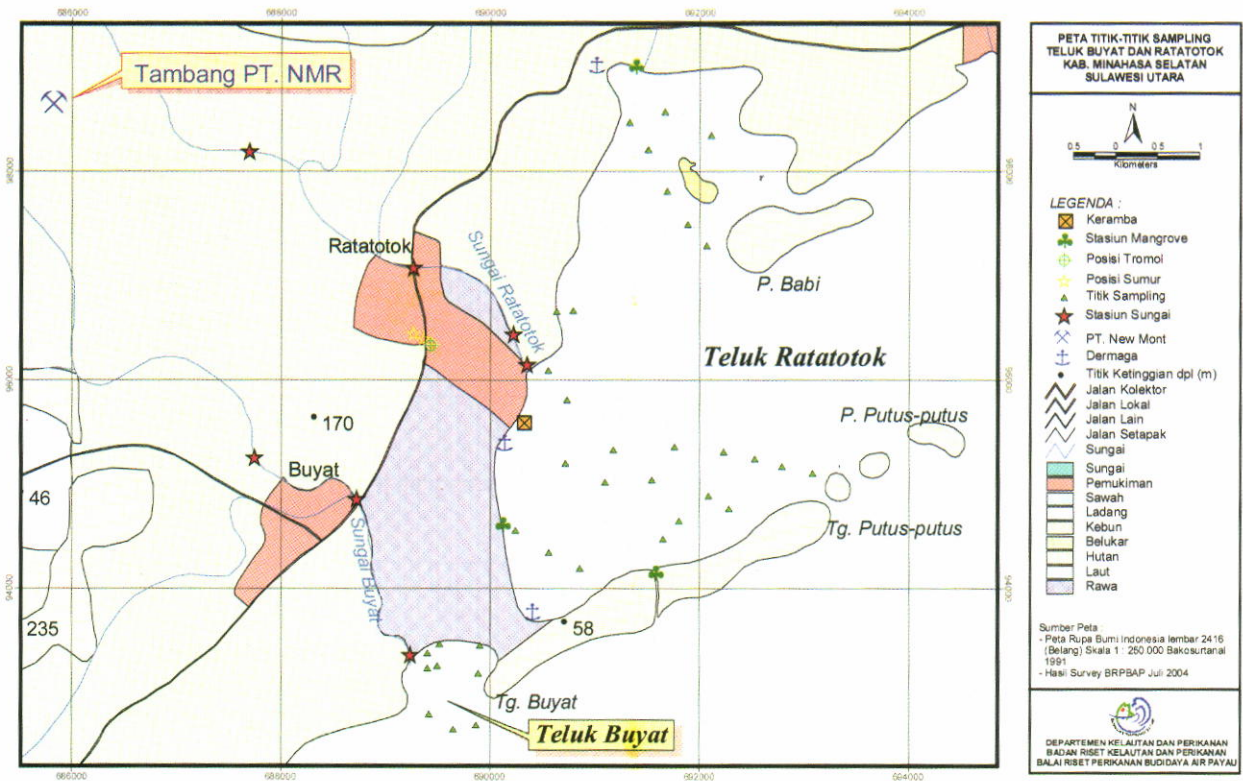
Aliran air permukaan (*run off*) yang berasal dari daerah tangkapan hujan (*catchment area*) akan mengalir melalui sungai dan bermuara di estuaria. Sepanjang perjalanannya, massa air akan membawa sedimen dan lumpur, nutrisi, limbah padat, dan cair, serta bahan kimia. Karena itu aktivitas di daerah hulu (pertanian, pemukiman, kehutanan, perkebunan, industri, pertambangan), dan karakteristik *upland*, topografi, serta kondisi iklim sangat mempengaruhi dinamika aliran massa air ke wilayah estuaria. Aliran massa air dari daratan akan mempengaruhi proses pencampuran massa air dan karakteristik lingkungan perairan pantai, sekaligus dapat menimbulkan berbagai dampak baik secara alami maupun yang bersifat *anthropogenic* terhadap ekosistem di wilayah pesisir, satu di antaranya adalah pencemaran logam berat.

Oleh karena wilayah pesisir memiliki peran ekonomi dan lingkungan yang potensial, namun memiliki tingkat ancaman lingkungan yang cukup besar (Scialabba, 1998), maka pencemaran logam berat perlu menjadi perhatian di dalam proses perencanaan dan pengelolaan serta pemanfaatan wilayah pesisir yang berkelanjutan. Studi ini bertujuan untuk mengetahui distribusi logam berat di perairan T. Ratatotok sebagai acuan dalam penentuan kelayakan lokasi untuk budi daya ikan dalam keramba jaring apung.

## METODOLOGI

Studi ini dilakukan dengan metode survei yang dipadukan dengan sistem informasi geografis. Posisi pengambilan sampel (Gambar 1) ditentukan dengan alat bantu GPS (*Global Positioning Systems*). Analisis logam berat Hg dilakukan terhadap sampel (1) sedimen sungai dan laut, (2) air (sumur, sungai, dan laut pada kedalaman 5 m dari permukaan dan 1 m dari dasar perairan), (3) mangrove (akar, batang, daun, dan buah), (4) makroalga, serta (5) ikan.

Contoh sedimen diambil sebanyak 5--10 cm bagian atas sedimen yang terambil oleh *Ekman dredge*, dimasukkan ke dalam kantong plastik dan disimpan pada suhu dingin sampai dianalisis. Contoh air diambil menggunakan *cammerer water sampler*, kemudian disimpan dalam botol polyethylene dan ditambahkan HNO<sub>3</sub> sampai pH mencapai 2. Contoh



Gambar 1. Peta lokasi studi dan posisi pengambilan sampel di Teluk Rataotok  
 Figure 1. Map study and sample location in Rataotok Bay

mangrove diambil dari bagian kulit batang, akar, daun, dan buah kemudian disimpan dalam plastik klip. Contoh ikan diperoleh dari hasil tangkapan nelayan setempat kemudian dipisahkan bagian daging, insang, dan organ dalam kemudian diasamkan dengan menambahkan  $HNO_3$ . Contoh makroalga diambil dari daerah pasang surut dan disimpan dalam plastik klip. Semua contoh dimasukkan ke dalam *cool box* dan ditambahkan es balok. Teknik preparasi sampel dan metode analisis sampel mengacu pada Darmono (1995) dan pembacaan sampel dengan perangkat *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) Merk Simadzu A6200. Kondisi AAS: (a) *Element Hg*, (b) *Wave length* (190,00—9.000 nm) 253.7, (c) *Socket* 1, (d) *Lamp current* (0—40 mA) 4, (e) *Slit width* 0.7, (f) *Lamp mode Emission*, (g) Standar regresi logam Hg:  $Abs. = 0.0135875 Conc + 0$  ( $r = 0,9936$ ). Data logam merkuri yang diperoleh disajikan dalam tabel, gambar, dan dianalisis secara deskriptif.

**HASIL DAN BAHASAN**

**Kandungan Hg dalam Sedimen dan Air**

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa perairan T. Rataotok memiliki kandungan logam Hg dalam sedimen antara 40,89—927,34 ( $187,15 \pm 194,46$ ) ppb

(Tabel 1). Menurut Hart (2002), nilai pemicu kualitas sedimen untuk logam Hg adalah 150 ppb dan nilai berisiko tinggi adalah 1.000 ppb. Sedangkan menurut CEQG (2002), menyarankan 130 ppb dan *level* yang mungkin berdampak adalah 700 ppb. Mengacu pada ketentuan tersebut, maka kadar logam Hg dalam sedimen T. Rataotok, sebagian besar lokasi sampel (95% dari  $n=20$ ) belum melebihi batas ambang yang dinilai berdampak terhadap lingkungan (Gambar 2). Sedimen berkadar logam Hg tertinggi terpusat di daerah dekat mulut teluk mencapai 927 ppb dan cenderung berkorelasi dengan kedalaman perairan (Gambar 3 dan 4) atau mengendap di daerah cekungan. Hal ini diduga terjadi akibat pola arus di dasar perairan memiliki arah yang berlawanan dengan arah arus permukaan sehingga terjadi pemusatan sedimen pada cekungan dasar perairan (Mansyur *et al.*, 2004). Syarifuddin *et al.* (1994) melaporkan kandungan logam Hg dalam sedimen di perairan Pelabuhan Lembar, NTB berkisar ttd-5 mg/L, sedangkan di kolam Pelabuhan Tanjung Priok pernah dilaporkan mencapai 0,087--1,702 mg/L (Hutagalung, 1994). Jadi tingkat cemaran Hg baik di Pelabuhan Lembar maupun di kolam Pelabuhan Tanjung Priok pada tahun 1994, cenderung lebih tinggi dibandingkan cemaran Hg di T. Rataotok.

Tabel 1. Kadar merkuri Hg dalam air dan sedimen di T. Ratatotok  
 Table 1. Mercury content in water and sediment at Ratatotok Bay

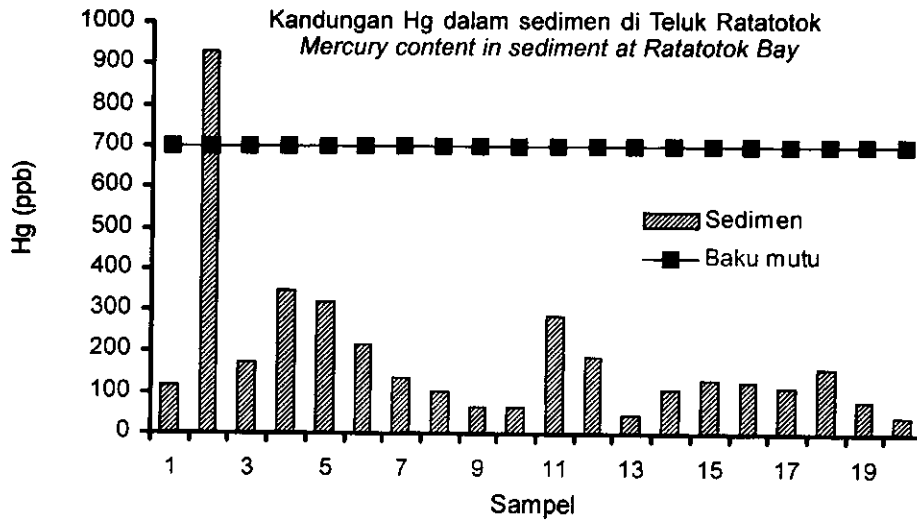
Jenis sampel Types of sample	Kadar merkuri Hg (ppb) Mercury content Hg (ppb)
Sedimen laut (Sea sediment)	40.89–927.34 (n=20) (187.15 ± 194.46)
Sedimen sungai (River sediment)	681.38–1,222.63 (n=4) (960.56 ± 229.85)
Sedimen PETI (Sludge from illegal gold mining)	266.66
Air laut (1m dari dari dasar) Sea water (1 m from seabed)	0.39–14.59 (n=24) (3.13 ± 3.26)
Air sungai (River water) Air sumur sekitar PETI	ttd (not detected)
Well from illegal gold mining	
- 50 m	0.81
- 100 m	ttd (not detected)
- 300 m	ttd (not detected)
Air sumur PETI (Water well from illegal gold mining)	1.26
Air buangan PETI (Water discharge from illegal gold mining)	2.64
Baku mutu Hg dalam sedimen air laut adalah 1.000 ppb (Hart, 2002); 700 ppb (CEQG, 2002)	
Baku mutu Hg dalam sedimen air tawar adalah 170 ppb (CEQG, 2002)	
Baku mutu Hg untuk organisme akuatik adalah 0,1 ppb (ANZECC, 2000; Anonim, 2002)	
Baku mutu Hg untuk air minum adalah 1 ppb (Anonim, 1986; WHO, 2004)	

Kondisi redoks potensial dari sedimen laut berkisar dari negatif 35 sampai negatif 17 (Utojo *et al.*, 2004) cukup memberikan peluang bagi kestabilan logam dalam sedimen karena proses oksidasi memiliki peluang yang kecil. Williams *et al.* (1994) melaporkan bahwa akumulasi, mobilitas, dan *bioavailability* logam berat di dalam lingkungan perairan estuaria dan sedimen laut tergantung pada sejumlah proses fisika dan kimia. Faktor-faktor lingkungan yang berpengaruh pada bioakumulasi logam di dalam organisme adalah suhu, salinitas, bahan organik, pH, redoks potensial, pengkelat, dan surfaktan, dan logam-logam lainnya, serta proses-proses yang terjadi di dalam usus (Campbell *et al.*, 1988; Hawker, 1995).

Kandungan Hg dalam sedimen S. Ratatotok cukup tinggi. Keberadaan penambang emas tanpa ijin (PETI) yang berjumlah sekitar 160 unit, berlokasi di sekitar aliran S. Ratatotok diduga memberikan kontribusi cukup signifikan terhadap tingginya kadar Hg dalam sedimen sungai. Hasil pengukuran kadar Hg sedimen PETI diperoleh nilai 266,66 ppb. Sementara kadar Hg sedimen di sungai tersebut telah melebihi ambang

yang diperkenankan sebesar 170 ppb untuk sedimen air tawar (CEQG, 2002).

Sampel air di dasar perairan T. Ratatotok di seluruh titik pengambilan sampel (n=24) terdeteksi mengandung Hg antara 0,39–14,59 (3,13 ± 3,26) ppb (Tabel 1 dan Gambar 5). Mengacu standar yang diperkenankan untuk peruntukan kehidupan organisme akuatik sebesar 0,1 ppb (ANZECC, 2000; Anonim, 2002) maka perairan tersebut telah berada pada kategori tidak layak bagi kehidupan organisme akuatik (Gambar 6). Kadar Hg dalam air S. Ratatotok tidak terdeteksi, namun di air sumur penduduk yang berjarak 50 m dari kolam pengendapan PETI telah terdeteksi sebesar 0,80 ppb, sementara sumur yang berjarak 100 dan 300 m dari pengendapan PETI tidak terdeteksi mengandung Hg. Kadar Hg di air sumur yang digunakan sebagai sumber air baku dalam proses penambangan dan air buangan PETI telah terdeteksi masing-masing 1,26 ppb dan 2,64 ppb. Berdasarkan *Maximum acceptable concentration* untuk total merkuri adalah 0,001 mg/L atau 1 ppb (Anonim, 1986; WHO, 2004), maka air sumur penduduk yang berjarak <50 m dari kolam



Gambar 2. Kandungaan Hg dalam sedimen di T. Ratatotok dan nilai baku mutu Hg untuk sedimen  
 Figure 2. Mercury content in sediment at Ratatotok Bay

pembuangan PETI diduga telah terjadi rembesan cemaran Hg namun masih di bawah ambang yang diperkenankan.

**Kandungaan Hg dalam Ikan dan Moluska**

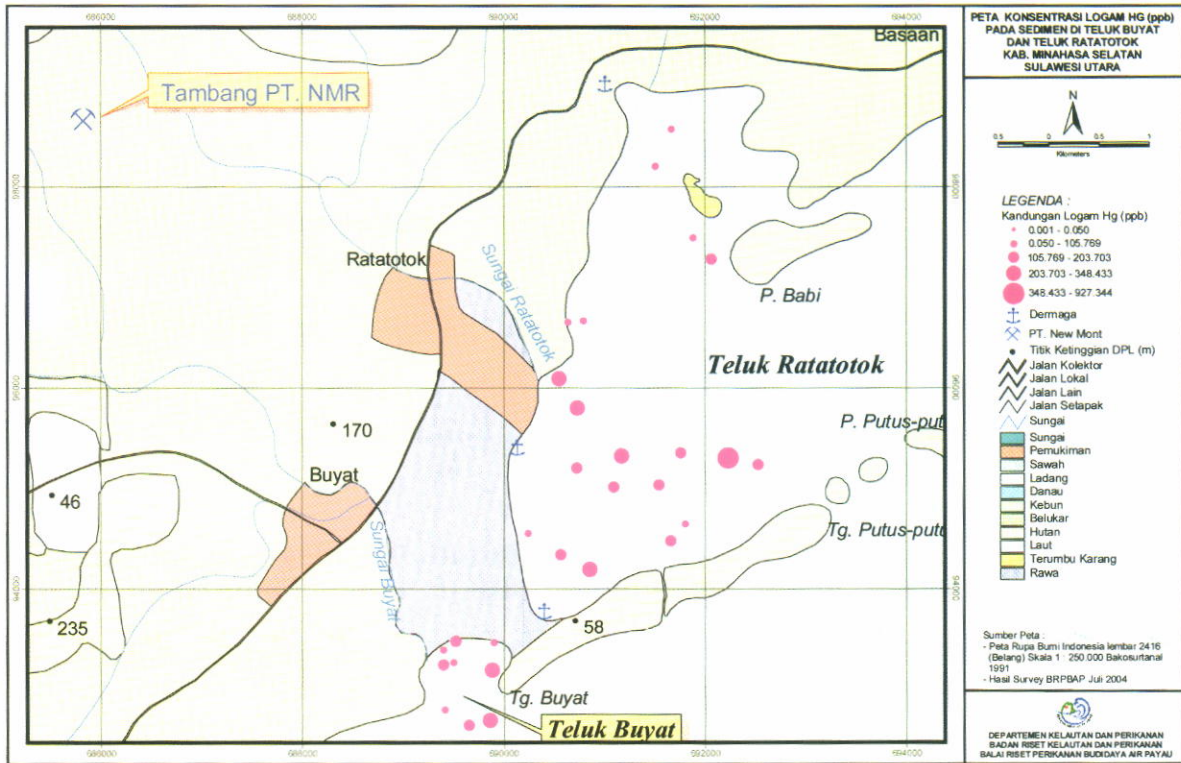
Menurut Clark (1996), sebagian besar polutan berupa bahan kimia yang masuk ke dalam ekosistem akuatik secara cepat akan terikat ke dalam partikel suspensi dan terakumulasi ke dalam sedimen di dasar perairan untuk kemudian dapat diabsorpsi oleh tanaman, binatang yang mendiami habitat tersebut. Logam berat mungkin diakumulasi oleh bivalvae dan ikan yang tumbuh di perairan pantai yang terkontaminasi dengan limbah industri dan pertanian (Chua, 1992). Keberadaan logam berat di perairan pantai dapat mempengaruhi kesehatan manusia dan merusak ekosistem akibat kontaminasi logam berat.

Terdapat empat cara logam berat masuk ke dalam tubuh ikan dari lingkungan perairan yaitu melalui insang, pakan, minum air, dan kulit (Heat, 1987). Khusus ikan air laut selalu meminum air untuk menjaga keseimbangan tekanan osmotik cairan tubuhnya dengan lingkungan perairan. Disfungsi osmoregulasi dapat menyebabkan anemia atau sebaliknya polycythemia, meskipun organ pembentuk darah tidak dipengaruhi oleh polutan (Heat, 1987). Hawker (1995) menyebutkan bahwa jalur dan mekanisme bioakumulasi logam meliputi (a) biokonsentrasi, (b) bioakumulasi dari partikulat tersuspensi, (c) bioakumulasi dari makanan, (d) bioakumulasi dari sedimen dan air interstisi.

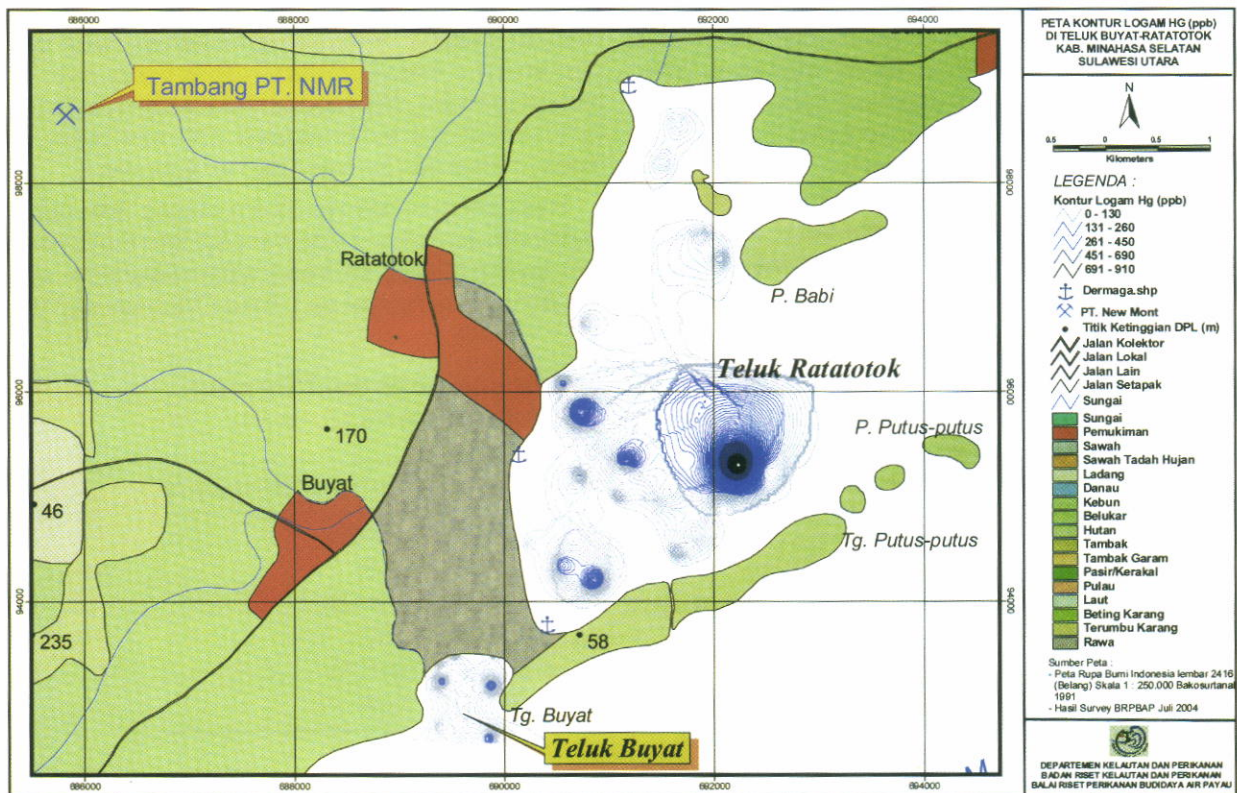
Hasil pengukuran Hg dalam daging ikan cukup bervariasi. Jenis ikan pelagis seperti teri (*Stolephorus* sp.), layang (*Decapterus* sp.), selar (*Selaroides* sp.), kembung (*Rastrelliger* sp.), tuna (*Thunnus* sp.) dan

Tabel 2. Kadar merkuri Hg (ppb) pada ikan yang diperoleh dari T. Ratatotok  
 Table 2. Mercury content on flesh fish and mollucs from Ratatotok Bay

Sampel (Samples)	Kandungaan merkuri (Mercury content) (ppb)
<b>Ikan (Fish)</b>	<b>3.51–330.90 (n=32)</b>
	(75.62 ± 60.19)
Pelagis (Pelagic)	3.51–134.29 (n=12)
	(72.84 ± 31.30)
Demersal (Demersal)	8.86–330.90 (n=20)
	(77.28 ± 73.05)
<b>Moluska (Mollusc)</b>	
Cumi-cumi (Squid)	13.97
Gonggong (Strombus)	10.83
Teripang (Seacucumber)	119.22



Gambar 3. Peta distribusi Hg dalam sedimen di perairan T. Raratotok  
 Figure 3. Map distribution of mercury in sediment at Raratotok Bay



Gambar 4. Kontur Hg dalam sedimen di Teluk Raratotok  
 Figure 4. Countur of mercury in sediment at Raratotok Bay

cakalang (*Katsuwonus* sp.) terdeteksi mengandung Hg antara 3,51--134,30 (72,84 ± 31,30) ppb. Ikan kembung, tuna, dan cakalang sebagai ikan perenang cepat dengan ruaya yang jauh diduga terkontaminasi logam Hg bukan saja berasal dari perairan T. Ratatotok. Untuk ikan demersal seperti ikan kuwe (*Caranx* sp.), tetengek (*Megalapsis* sp.), kerapu (*Epinephelus* sp.), lencam (*Lutjanus* sp.), kurisi (*Nemipterus* sp.), ikan swanggi (*Priacanthus* sp.), ekor kuning (*Caesio* sp.), biji angka (*Perupeneus* sp.) terdeteksi mengandung Hg antara 8,86--330,90 (77,28 ± 73,05) ppb (Tabel 2). Logam Hg juga terdeteksi pada jenis teripang pasir (*Holothuria scabra*) dan cumi-cumi (*Sepioteuthis lessoniana*) masing-masing 119,22 ppb dan 13,97 ppb.

Kandungan Hg dalam hati ikan kerong-kerong (*Therapon* sp.) adalah 49,88 ppb, ikan merah (*Ostichthys* sp.) (53,62 ppb), dan kerapu kowak (*Epinephelus merra*) mencapai 972,42 ppb. Sementara di insang ikan antara 33,94--1.698,10 (418,31 ± 598,87) ppb serta di organ usus antara 165,50--632,42 (285,56 ± 196,90) ppb. Hasil

pengukuran menunjukkan bahwa organ dalam ikan cenderung mengakumulasi Hg lebih tinggi dibandingkan daging. Monitoring kandungan Hg dalam ikan dan *shellfish* yang dilakukan oleh FDA dari 1991-2003, ditemukan konsentrasi pada *level* yang tinggi pada ikan *mackerel king* 0,73 (0,23--1,67 mg/L), *shark* 0,99 (ttt -- 4,54 mg/L), *swordfish* 0,97 (0,10--3,22 mg/L), dan *tilefish* 1,45 (0,65--3,73 mg/L) sehingga disarankan untuk tidak mengkonsumsi jenis ikan tersebut. Sementara *level* Hg yang rendah dilaporkan antara ttd -- 0,85 dengan rata-rata 0,0572 mg/L atau 57,2 ppb. Jika dibandingkan dengan *Maximum Permitted Concentration* (MPC) pada *level* 0,5 mg/L atau 500 ppb, maka rata-rata kandungan Hg dalam daging ikan sebagian besar masih di bawah batas ambang yang diperkenankan (Gambar 7).

Akumulasi total Hg dalam jaringan ikan *sea bass* (*Dicentrarchus labrax*) terdistribusi di liver jauh lebih tinggi dibandingkan di dalam daging, insang, dan isi usus (Abreu *et al.*, 2000). Heat (1987) menyatakan bahwa liver merupakan organ utama bagi petunjuk adanya bahan pencemar di dalam tubuh ikan, karena

Tabel 3. Kadar merkuri Hg dalam vegetasi mangrove dan makroalgae di T. Ratatotok  
 Table 3. Mercury level in mangrove vegetation and macroalgae at Ratatotok Bay

Sampel (Sample)	n sampel (sample)	Rentang ± sd (Range ± sd)
<b>Mangrove</b>		
- <i>Rhizophora</i> sp.		
a. Pohon (Tree)		
- Daun (Leaves)	3	23.80--41.61 (31.31 ± 9.22)
- Buah (Fruit)	3	3.18--656.10 (225.45 ± 373.02)
- Batang (Tree)	3	18.05--26.14 (20.83 ± 4.60)
- Akar (Root)	3	10.60--341.81 (123.46 ± 189.13)
b. Belta		
- Daun, Batang (Leaves, Tree)	2	53.97--268.46 (163.33 ± 93.14)
c. Semai		
- Daun, Batang (Leaves, Tree)	2	57.56--225.70 (132.92 ± 70.00)
- <i>Bruguiera</i> sp.		
- Daun (Leaves)	1	114.84
- Buah (Fruit)	1	16.56
- Batang (Tree)	1	33.59
- Akar (Root)	1	42.96
- <i>Sonneratia</i> sp.		
- Daun (Leaves)	1	415.24
- Buah (Fruit)	1	3.70
- Batang (Tree)	1	36.56
- Akar (Root)	1	27.12
- Makroalgae		
- <i>Enhalus</i> sp.	1	3,464.19
- <i>Padina</i> sp.	1	299.04
- <i>Halimeda</i> sp.	1	79.78

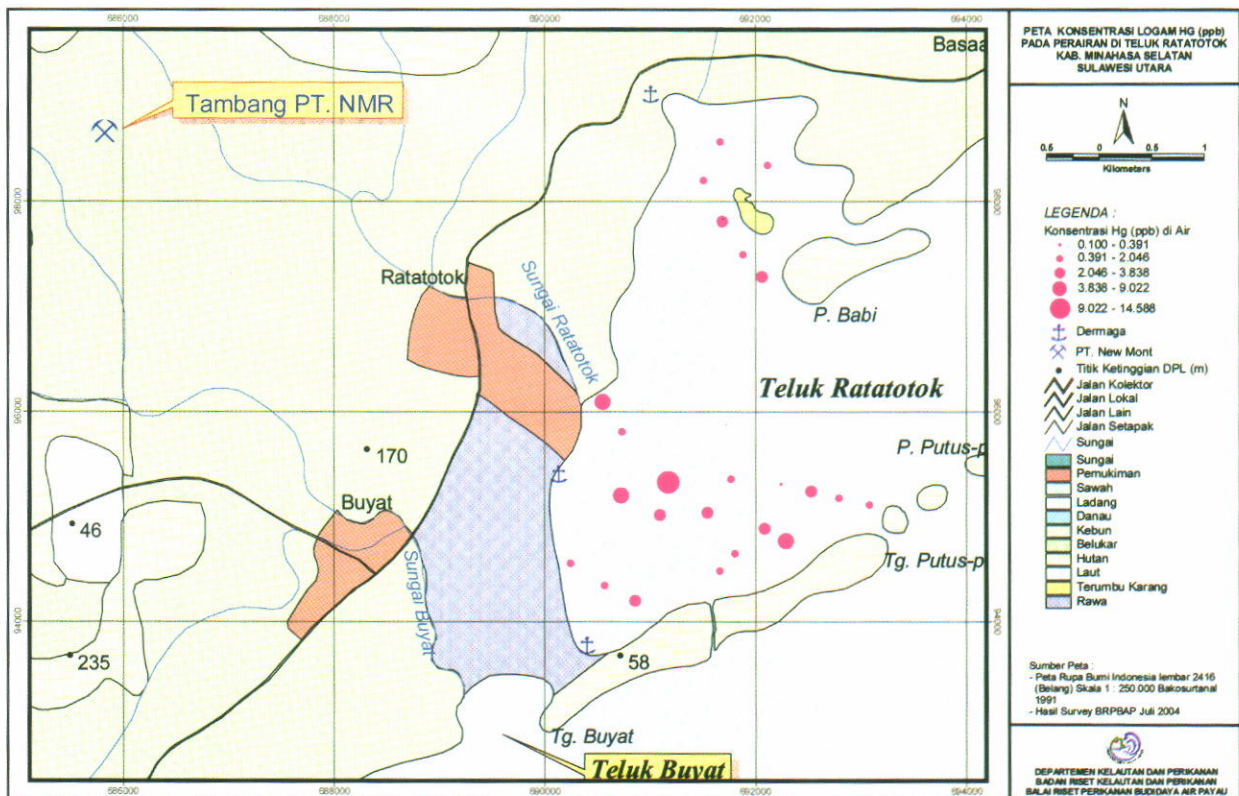
liver akan melakukan biotransformasi *xenobiotic* organik, kemungkinan juga mengekskresi logam-logam yang berbahaya ketika logam telah terakumulasi dalam konsentrasi yang tinggi. Liver juga menjalankan sejumlah fungsi yang berhubungan dengan aktivitas *physiology* seperti kontrol endokrin pada reproduksi, dan *interconversion* pada bahan pakan. Hasil penelitian Lai Man So *et al.* (1999) mendapatkan konsentrasi logam Cd, Cu, dan Zn di dalam liver ikan beronang (*Siganus oramin*) yang ditangkap dari perairan Pelabuhan Tolo, Victoria, dan perairan luar Hongkong, lebih tinggi dibandingkan dengan yang ada pada insang dan otot. Pada *Daphnia magna*, terlihat bahwa eksoskeleton merupakan akumulator jaringan terbesar. Kandungan Hg di dalam daging kepiting yang didapat dari perairan Sungai Brisbane Australia adalah 0,263 mg/g (Mortimer, 2000). Rachmansyah *et al.* (1998), mendapatkan nilai  $LC_{50-96}$  jam untuk logam Hg terhadap benur udang windu adalah 0,0840 mg/L Hg, sedangkan terhadap nener bandeng adalah 1,5444 mg/L Hg. Dengan mengambil *level* aman 10%  $LC_{50-96}$  jam, maka konsentrasi Hg yang aman bagi benur windu dan nener bandeng masing-masing adalah 8,4 ppb dan 154 ppb.

Hasil pemantauan Hutagalung (1989) dan Hutagalung *et al.* (1993), melaporkan bahwa sebagian

kerang hijau yang dibudidayakan di perairan Pulau Onrust dan Ancol, Teluk Jakarta mengandung logam berat Hg dan Cd melebihi nilai ambang batas. Kerang hijau (*Perna perna*) dapat mengakumulasi logam Hg dari konsentrasi 0,13 (*pre-immersion*) menjadi 87 mg/g setelah 24 hari pemaparan dan menyebabkan perubahan morfologi pada insang dengan indikasi peningkatan diameter *microvilli* secara bertahap, deplesi abfrontal cilia, abnormalitas, nekrotik sel, dan meningkatkan jumlah cilia pada permukaan lateral insang (Gregory *et al.*, 1999). Menurut Denton & Burdon-Jones (1981), oyster *Saccostrea echinata* mengabsorpsi Hg > Cd > Pb pada temperatur 20°C, dan jaringan insang mengakumulasi logam paling besar dibandingkan organ lainnya. Absorpsi tersebut paling efisien terjadi pada temperatur 30°C dari pada 20°C untuk logam Hg dan Cd.

### Kandungan Hg dalam Vegetasi Mangrove dan Makro Algae

Hasil pengukuran kandungan Hg dalam vegetasi mangrove di T. Ratatotok bervariasi baik antar spesies maupun bagian tanaman (Tabel 3). Jenis *Rhizophora* sp. (pohon) terdeteksi mengandung Hg antara 3,18--656,10 (100,26 ± 198,14) ppb, belta 53,97--268,46 (163,34 ± 93,14) ppb, semai 57,56--225,69 (132,92 ±



Gambar 5. Peta distribusi Hg di perairan T. Ratatotok  
 Figure 5. Map distribution of mercury in waters at Ratatotok Bay



70,00) ppb. Jenis *Sonneratia* sp. dan *Bruguiera* sp. masing-masing 3,70--415,24 (120,65 ± 196,88) ppb dan 16,56--114,84 (51,98 ± 43,30) ppb. Kandungan Hg cenderung lebih tinggi didapatkan pada bagian daun (*Sonneratia* sp., *Bruguiera* sp. dan *Rhizophora* sp. semai serta belta) dan buah pada jenis *Rhizophora* sp. ukuran pohon.

*Salt marshes* sangat efisien mengakumulasi logam berat meskipun konsentrasi logam di dalam *halophytes* tidak umum merefleksikan tingkat kontaminasi lingkungan (Kennish, 1990; Williams *et al.*, 1994). Jaringan akar mangrove juga memperlihatkan pola akumulasi Pb>Cu>Ni (Ong Che, 1999). Yim & Tam (1999), melaporkan bahwa logam berat yang terakumulasi di dalam tanah tidak saja menghambat pertumbuhan mangrove bahkan bersifat toksik, tetapi juga berpengaruh terhadap komunitas mikroba dan kesuburan tanah. Konsentrasi Zn di dalam daun mangrove *Osbornia octodonta*, *Exocarut agalocha*, dan *Aegialitus annulata* ditemukan sebesar 30--65 mg/g bobot kering dibandingkan dengan yang ditemukan di *Ceriops tagal* dan *Avicennia marina* sebesar 5--10 mg/g bobot kering (Jones *et al.*, 2000).

*Enhalus* sp. dari vegetasi padang lamun (*seagrass*) di T. Raratotok terdeteksi mengandung Hg 3.464,19 ppb. Prange & Dennison (2000), memperoleh konsentrasi logam berat di dalam *seagrass* (*Zostrea capricorni*) baik di daun maupun akar rhizoma berturut-turut adalah Fe > Al > Zn > Cr > Cu. Makroalgae jenis *Padina* sp. dan *Halimeda* sp. dari T. Raratotok masing-masing mengandung Hg 299,04 ppb dan 79,78 ppb. Mengacu pada data kandungan Hg dalam vegetasi pantai, maka terbukti bahwa ekosistem mangrove dan padang lamun memiliki peran ekologis yang penting dalam mengabsorpsi Hg dari lingkungan perairan T. Raratotok.

**Pendugaan Risiko Konsumsi Ikan**

Untuk mengestimasi asupan Hg dalam tubuh manusia, maka data rata-rata konsentrasi Hg ikan yang

diperoleh dari studi ini dan asumsi tingkat konsumsi ikan/kapita/tahun masyarakat Raratotok terdistribusi merata, dijadikan acuan perhitungan (Tabel 4).

Pada umumnya nilai MPC disajikan dalam basis material basah (*wet basis*), sedangkan konsentrasi Hg sampel dalam studi ini disajikan dalam *dry basis*. Jika diasumsikan konsumsi ikan penduduk wilayah studi adalah 25 kg/kapita/tahun atau 68,5 g/kapita/hari, maka asupan Hg harian penduduk Raratotok sebanyak 0,0685 kg/hari x (1-0,7 x 0,075 mg/kg, dengan asumsi kadar air ikan 70%) = 0,0015 mg Hg/hari atau sekitar 4,5% (0,0015/0,0329) dari TDI/70 kg. Sedangkan untuk penduduk berbobot badan 20 kg, maka asupan Hg dari konsumsi ikan baru mencapai 16% TDI/20 kg.

Jika nilai MPC dinyatakan dalam *dry basis*, maka asupan Hg dari konsumsi ikan hasil tangkapan di perairan T. Raratotok baru mencapai 0,0685 x 0,075 = 0,0051/0,0329 = 15,5% TDI/70 kg. Namun untuk penduduk berbobot badan 20 kg (anak-anak), dengan asumsi konsumsi ikan 25 kg/kapita/tahun, maka asupan Hg dari konsumsi ikan sudah melebihi 54,2% TDI/20 kg.

Dari estimasi sederhana tersebut, maka kontribusi asupan Hg yang bersumber dari konsumsi ikan hasil tangkapan di T. Raratotok masih di bawah *Tolerable Daily Intake*. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa ikan dari hasil tangkapan di T. Raratotok masih aman dikonsumsi oleh manusia.

Untuk menghindari asupan Hg melalui konsumsi ikan di Raratotok, maka direkomendasikan untuk mengkonsumsi ikan yang mengandung kadar Hg di bawah 500 ppb. Jenis ikan yang memiliki potensi risiko Hg tinggi adalah ikan swangi (*Pricanthus* sp.) ukuran >15 cm, tetengek (*Megalopsis* sp.) ukuran >20 cm, ikan selar kuning (*Selaroides* sp.) ukuran >20. cm, ikan layang (*Decapterus* sp.) ukuran >20 cm dan organ dalam untuk semua jenis ikan.

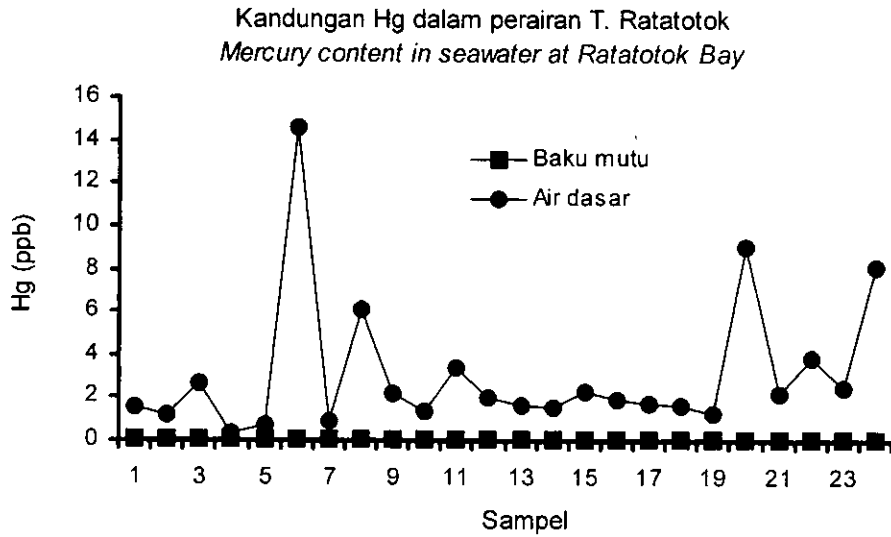
Tabel 4. Tingkat asupan Hg yang bersumber dari konsumsi ikan  
Table 4. Daily Hg intake from fish consumption

Lokasi Location	Konsentrasi <sup>1)</sup> Concentration (mg/kg)	MPC <sup>2)</sup> (mg/kg)	TDI <sup>2)</sup> (mg/kg/hr)	TDI/70 kg	TDI/20 kg
Raratotok	0.075	0.5	0.00047	0.0329	0.0094
Buyat	0.342				

Keterangan: <sup>1)</sup> dry basis; <sup>2)</sup> Allen *et al.* (1997)

MPC = Maximum Permitted Concentration (mg/Kg)-ANZFA-Australia New Zealand Food Authority: Code 12, Metals and Contaminants in Food-edible portion

TDI = Tolerable Daily Intakes (mg/kg body weight/day)-WHO



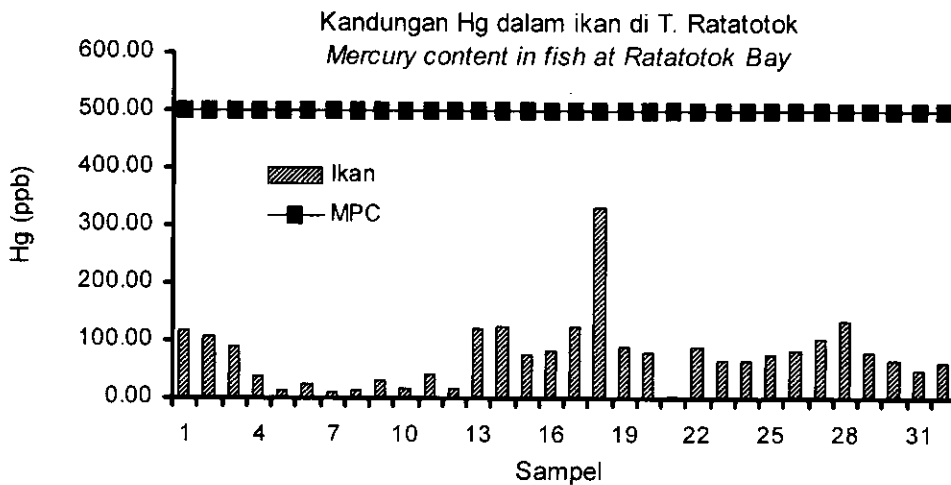
Gambar 6. Kandungan Hg dalam perairan (kolom air dasar) di T. Ratatotok dan nilai baku mutu untu organisme akuatik

Figure 6. Mercury content in seawater (1 m from seabed) at Ratatotok Bay and safe level for aquatic organism

**Implikasi terhadap Lingkungan Hidup Perikanan**

Pencemaran logam berat di wilayah pesisir dipicu oleh meningkatnya kegiatan pembangunan yang kurang dan bahkan tidak mengindahkan kaidah-kaidah yang diisyaratkan oleh pertimbangan lingkungan. Pembuangan limbah industri, pemukiman dan kota, pertambangan, emisi transportasi, kesemuanya merupakan potensi penyebab pencemaran logam berat di wilayah pesisir. Hal ini sangat ditunjang oleh perilaku kebiasaan yang menganggap bahwa laut merupakan tempat pembuangan sampah/limbah yang paling mudah dan murah.

Meningkatnya kegiatan industri, pemukiman, penambangan, dan transportasi darat dan laut menjadi penyebab bertambahnya limbah logam berat ke dalam perairan. Kondisi tersebut akan memicu peningkatan kerusakan ekosistem wilayah pesisir, sehingga berdampak pada kegiatan ekonomi, kesehatan, dan sosial masyarakat. Sebagai lahan yang berpotensi untuk memproduksi komoditas perikanan, maka pencemaran logam berat yang terjadi di wilayah pesisir perlu dihindari dan dicegah sedini mungkin. Untuk itu, diperlukan upaya pengelolaan kawasan pesisir yang terpadu, berkesinambungan bagi upaya memproduksi bahan pangan (komoditas



Gambar 7. Kandungan Hg dalam daging ikan yang ditangkap di T. Ratatotok dan konsentrasi maksimum yang diizinkan

Figure 7. Mercury content on flesh fish from Ratatotok Bay and maximum permitted concentration (MPC)

perikanan) yang higienis dan aman bagi konsumen. Di samping itu, wilayah pesisir yang bebas dari pencemaran logam berat, merupakan aset yang potensial bagi estetika lingkungan dan kesehatan manusia serta sumber pendapatan melalui kegiatan wisata.

Berdasarkan beberapa hasil penelitian terbukti bahwa pencemaran logam berat di wilayah pesisir dapat mengancam kehidupan biota perairan, terganggunya fungsi ekosistem di wilayah pesisir, dan mengancam kesehatan manusia. Proses distribusi, absorpsi, adsorpsi, bioakumulasi, dan biomagnifikasi dalam komponen-komponen ekosistem serta faktor-faktor lingkungan biofisik dan kimia akan mempengaruhi nasib (*fate*) dan *uptake* logam berat di dalam lingkungan pesisir. Sebagai lahan potensial untuk produksi komoditas perikanan, maka pencemaran logam berat dapat terakumulasi ke dalam sistem biotik dan abiotik yang pada gilirannya produk perikanan yang dihasilkan dari wilayah yang terkontaminasi logam berat, justru dapat mengancam keamanan pangan bagi konsumen (manusia). Terlebih dengan diberlakukannya perdagangan global yang menuntut standardisasi mutu dan higienis yang ketat, maka pencemaran logam berat merupakan ancaman yang serius bagi produk perikanan. Di samping itu, pencemaran logam berat di wilayah pesisir juga menjadi pertimbangan prasyarat baku mutu dan sanitasi lingkungan bagi kegiatan pemukiman dan wisata pantai.

Berbagai peraturan pemerintah telah dibuat, di antaranya baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri yang merupakan salah satu upaya untuk meminimasi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh berbagai aktivitas industri yang beroperasi. Namun demikian, pencemaran logam berat masih tetap berlangsung dan bahkan menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan untuk kawasan pusat industri, pertambangan, dan pemukiman. Untuk itu, diperlukan kesadaran semua pihak akan peran, fungsi, dan manfaat kelestarian lingkungan hidup. *Law enforcement* bagi pelanggar perlu ditegakkan dengan ditindaklanjuti pemberian sanksi dan penghargaan bagi pelaku yang bertanggung jawab.

Pemantauan pencemaran lingkungan perlu dilakukan secara periodik dengan memperhatikan sumber dan perilaku masuknya bahan pencemaran ke lingkungan, meningkatkan metode analisis dan kemampuan pelaksana. Dokumentasi hasil pemantauan perlu mudah diakses dan didiseminasikan secara luas sebagai acuan dalam sosialisasi dan upaya pembelajaran kesadaran lingkungan. Aksi dan kebijakan yang mungkin membantu dalam pengontrolan ancaman pencemaran logam berat terhadap lingkungan pesisir dan laut

meliputi: (a) penemuan sumber-sumber pencemaran logam berat, (b) perencanaan pengembangan (*target*, *jadwal*, *spesifik sektor*) untuk mengurangi dan mengeliminasi emisi dan buangan logam berat dari semua sumber, (c) memperbaiki sistem monitoring polusi logam berat, (d) implementasi program dan pengukuran logam berat dengan mengacu pada prinsip pendekatan pencegahan dan membantu pelaksanaan dan penggunaan teknologi terbaik yang ramah lingkungan, (e) mengembangkan dan mengimplementasikan fiskal dan insentif terhadap usaha-usaha yang ditujukan untuk pengurangan dan eliminasi buangan limbah logam berat, (f) mengembangkan kampanye pembelajaran dan penerapan *law enforcement*, serta pemberian penghargaan kepada publik dan sektor industri yang mampu mengurangi dan eliminasi limbah logam berat.

Pengelolaan wilayah pesisir secara terpadu dengan melibatkan seluruh *stakeholder* perlu diprioritaskan melalui penataan kawasan sesuai peruntukan dan daya dukung lingkungan, dengan memperhatikan sistem sosial dan kelembagaan yang ada.

## KESIMPULAN DAN SARAN

1. Berdasarkan data kandungan Hg dalam komponen ekosistem perairan, maka T. Ratatotok telah terkontaminasi Hg.
2. Kandungan Hg dalam sedimen di T. Ratatotok masih lebih rendah dari batas ambang yang dapat menyebabkan dampak negatif terhadap ekosistem. Hanya sedimen yang berlokasi di cekungan di dekat mulut T. Ratatotok memiliki kandungan Hg di atas batas ambang yang diperkenankan.
3. Kandungan Hg dalam sedimen S. Ratatotok telah melebihi batas ambang diperkenankan.
4. Air sumur yang berdekatan <100 m dengan tempat pembuangan limbah PETI telah terkontaminasi Hg dan disarankan tidak digunakan untuk keperluan rumah tangga.
5. Kandungan Hg dalam perairan di T. Ratatotok telah melebihi batas ambang yang diperkenankan untuk kehidupan organisme akuatik.
6. Kandungan Hg dalam daging ikan masih di bawah batas *Maximum Permitted Concentration* dan sebagian besar aman untuk dikonsumsi.
7. Dengan asumsi konsumsi ikan penduduk sebesar 25 kg/kapita/th, maka asupan Hg melalui konsumsi ikan telah mencapai 4,5% TDI/70 kg, masih di bawah *level Tolerable Daily Intake* dan aman dikonsumsi.
8. Untuk menghindari asupan Hg melalui konsumsi ikan di T. Ratatotok, maka direkomendasikan untuk

mengonsumsi ikan yang mengandung kadar Hg di bawah 500 ppb.

9. Jenis ikan yang memiliki potensi risiko Hg tinggi adalah ikan swangi (*Prichanthus* sp.) ukuran >15 cm, tetengek (*Megalopsis* sp.) ukuran >20 cm, ikan selar kuning (*Selaroides* sp.) ukuran >20 cm, ikan layang (*Decapterus* sp.) ukuran >20 cm, ikan kuwe, *Caranx* sp. ukuran 20 cm, organ dalam untuk semua jenis ikan serta jenis kekerangan.
10. Ekosistem mangrove, padang lamun, dan terumbu karang perlu dipertahankan sebagai penopang perbaikan kualitas lingkungan perairan T. Ratatotok.
11. Perlu dilakukan studi lebih rinci dan menyeluruh tentang alur distribusi dan dinamika kontaminan Hg dalam ekosistem perairan T. Ratatotok.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abreu, S.N., E. Pereira, C. Vale, and A.C. Duarte. 2000. Accumulation of Mercury in Sea Bass from a Contaminated Lagoon (Ria de Aveiro, Portugal). *Marine Pollution Bulletin*, 40 (4): 293--297.
- Allen, R., M. Bek, M. Cardona, G. Cook, S. Cannata, and S. Hatzl. 1997. Environmental healthy assessment of fish and oyster from the Cook River-heavy metals and organochlorine pesticides. *CSHS Public Health Unit Technical Report*. [www.Canterbury.nsw.gov.au/cooks/technic.htm](http://www.Canterbury.nsw.gov.au/cooks/technic.htm) [4-8-2004].
- Anonim. 1986. *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality*. [www.ec.gc.ca/CEQG-RCQE/English/Ceqg/Water/default.cfm](http://www.ec.gc.ca/CEQG-RCQE/English/Ceqg/Water/default.cfm) [11-8-2004].
- Anonim. 2002. *Summary of Existing Canadian Environmental Quality Guideline*. [www.ccme-cal/initiatives/water.html?category\\_id=41](http://www.ccme-cal/initiatives/water.html?category_id=41) [11-8-2004].
- ANZECC (Australian and New Zealand Environmental and Conservation Council). 2000. *Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality*. [www.streamwatch.org.au/pdf/manual\\_section10.pdf](http://www.streamwatch.org.au/pdf/manual_section10.pdf) [11-8-2004].
- Asian Development Bank (ADB). 1991. Environmental Evaluation of Coastal Zone Projects: Methods and Approaches. *ADB Environment Paper* No. 8, 72 pp.
- Campbell, P.G.C., A.G. Lewis, P.M. Chapman, A.A. Crowder, W.K. Fletcher, B. Imber, S.N. Louma, P.M. Stokes, and M. Winfrey. 1988. *Biologically Available Metals in Sediments*. Publication No.NRCC 27694, Ottawa, Canada, 298 pp.
- CEQG. 2002. *Summary of Existing Canadian Environmental Quality Guidelines*. [www.ccme-cal/initiatives/water.html?category\\_id=41](http://www.ccme-cal/initiatives/water.html?category_id=41) [11-8-2004].
- Chua, T.E., 1992. Coastal aquaculture development and the environment, The role of coastal area management. *Marine Pollution Bulletin*, 25(1--4): 98-103.
- Clark, J.R. 1996. *Coastal Zone Management Handbook*. CRC Press, Inc. Lewis Publishers, Boca Raton, New York, London, Tokyo, 694 pp.
- Darmono. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press), 140 pp.
- Denton, G.R.W. and C. Burdon-Jones. 1981. Influence of temperature and salinity on the uptake, distribution and depuration of mercury, cadmium and lead by black lip oyster *Saccostrea echinata*. *Marine Biol.*, 64: 317--326.
- De Winter-Sorkina, R., M.I. Barker, G. van Donkersgoed, and J.D. van Klaveren. 2003. Dietary intake of heavy metals (cadmium, lead and mercury) by the Dutch population. *RIVM report 320103001/2003*. [[www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/32010300.pdf](http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/32010300.pdf) 11-8-2004].
- Gregory, M.A., R.C. George, D.J. Marshall, A. Anandraj, and T.P. McClurg. 1999. The effects of mercury exposure on the surface morphology of gill filaments in *Perna perna* (Mollusca: Bivalvia). *Marine Pollution Bulletin*, 39(1--12): 116--121.
- Guo, Q., N.P. Psuty, and J. Bongiovanni. 2000. Hydrographic study of Barneget Bay, year 3: Two-dimensional numerical modeling of flow and salinity. *Division of Watershed Management, NJDEP, 2000*. [www.civeng.rutgers.edu/water/abstracts/barneget/breport2.htm](http://www.civeng.rutgers.edu/water/abstracts/barneget/breport2.htm) - 13k. [November 2002].
- Hart, B.T. 2002. Water quality guideline. In: Burden, F.R., McKelvie, I., Forstner, U. and Guenther, A. (Eds.). 2002. *Environmental Monitoring Handbook*. McGraw-Hill Handbooks, p. 1.1--1.26.
- Hawker, D.W. 1995. Bioakumulasi zat yang mengandung logam dan senyawa organologam. Dalam Connell, D.W. (Ed.). *Bioakumulasi Senyawa Xenobiotik*. Penerjemah Y.R.H. Koestoer. Penerbit UI-Press, Jakarta, p. 198--219.
- Heath, A.G. 1987. *Water Pollution and Fish Physiology*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Ann Arbor, Boston, 245 pp.
- Hutagalung, H.P. 1989. Mercury and cadmium content in green mussel, *Mytilus edulis* L. from Onrust Waters, Jakarta Bay. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 42(6): 323-324.
- Hutagalung, H.P. 1994. Kandungan logam berat dalam sedimen di kolam Pelabuhan Tanjung Priok, Jakarta. *Prosiding Seminar Pemantauan Pencemaran Laut, Jakarta, 7--9 Februari 1994*. P30-LIPI, Jakarta, p. 9--14.
- Hutagalung, H.P., A.G. Samad, dan S. Sidabutar. 1993. Kandungan logam berat dalam kerang hijau, *Mytilus edulis* yang dibudidayakan di perairan Ancol Teluk Jakarta. *Seminar Biologi Nasional di Universitas Hasanuddin, Ujung Pandang, 20--23 Juli 1993*.
- Jones, G.B., P. Mercurio, and F. Olivier. 2000. Zinc in fish, crabs, oyster, and mangrove flora and fauna from Cleveland Bay. *Marine Pollution Bulletin*, 41(7--12): 345--352.
- Kennish, M.J. 1990. *Ecology of Estuaries, Volume II Biological Aspects*. CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, Boston, 391 pp.
- Lai Man So, R.Y.H. Cheung, and K.M. Chan. 1999. Metal concentration in tissues of rabbitfish (*Siganus oramin*)

- collected from Tolo Harbour and Victoria Harbour in Hongkong. *Marine Pollution Bulletin*, 39(1--12): 234--238.
- Mansyur, A., Hasnawi, dan Rachmansyah. 2004. *Pola arus di perairan Teluk Ratatotok*. Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau, Maros.
- Moriarty, P. 1987. *Ecotoxicology*. Second Edition. Academic Press, Harcourt Jovanovich Publisher, London.
- Mortimer, M.R. 2000. Pesticide and trace metal concentration in Queensland estuarine crabs. *Marine Pollution Bulletin*, 41(7--12): 359--366.
- Ong Che, R.G. 1999. Concentration of 7 heavy metals in sediments and mangrove root samples from Mai Po, Hongkong. *Marine Pollution Bulletin*, 39(1--12): 269--279.
- Prange, J.A. and W.C. Dennison. 2000. Physiological responses of five seagrass species to trace metals. *Marine Pollution Bulletin*, 41(7--12): 327--336.
- Rachmansyah, Dalfiah, P.R. Pongmasak, dan T. Akhmad. 1998. Uji Toksisitas Logam Berat terhadap Benur Udang Windu (*Penaeus monodon*) dan Nener Bandeng (*Chanos-chanos*). *J. Pen. Per. Indonesia*, IV(1): 55--66.
- Scialabba, Nadia (Ed.). 1998. *Integrated Coastal Area Management and Agriculture, Forestry and Fisheries*. FAO Guidelines. Environment and Natural Resources Service, FAO, Rome, 256 pp.
- Syarifuddin, A.R., Wildan, dan A. Roehyadi. 1994. Kadar logam berat dalam air laut dan sedimen di perairan pantai Lombok Barat. *Prosiding Seminar Pemantauan Pencemaran Laut, Jakarta, 7--9 Februari 1994*. P3O-LIPI, Jakarta, p. 5--8.
- Utojo, Hasnawi, dan Rachmansyah. 2004. *Kondisi dasar laut perairan Teluk Ratatotok*. Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau, Maros.
- WHO. *Chemicals of Health Significance in Drinking Water*. [www.who.int/global/water/wqs\\_chemic.htm](http://www.who.int/global/water/wqs_chemic.htm) [11-8-2004].
- Williams, T.P., J.M. Bubb, and J.N. Lester. 1994. Metal accumulation within salt marsh environments: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 28(5): 277--290.
- Yim, M.W. and N.F.Y. Tam. 1999. Effects of wastewater-borne heavy metals on mangrove plants and soil microbial activities. *Marine Pollution Bulletin*, 39(1--12): 179--186.

