

STUDI KANDUNGAN MERKURI DAN ARSEN DALAM AIR LAUT DAN SEDIMEN DI PERAIRAN TELUK BUYAT DAN RATATOTOK

Arum Prajanti¹, Dyah Aprianti¹ dan RTM Sutamihardja²

ABSTRACT

Gold mining activities has been widely recognized using mercury in traditional way and using cyanide in the modern way for fixing (setting) the gold. Usually the gold is fixed with other metals such as arsenic and mercury which are thrown away as a waste. The waste from the gold mining process was thrown away through tailing pipe to the bottom of Buyat Bay and from the gold mining traditional activities are dumped to the river which ended at the Ratatotok Bay. The aim of this study was eager to know the mercury and arsenic content in the sea water and sediments of the Buyat and Ratatotok Bay, and to know the impact of these wastes to the biotic life of Buyat and Ratatotok Bay. This study was done in the period of January to March 2005, during west monsoon. The results indicated that the mercury and arsenic content of the sea water quality still below the requirement of Ministry Decree of sea water quality standard No. 51/MENLH/2004. On the contrary, the mercury content in the sediment of tailing zone and some areas in Buyat and Ratatotok Bay are indicated as polluted sediment refer to the Guidelines Asean Marine 2004. Moreover, the content of arsenic in the tailing zone, and some areas in the Buyat bay are already categorized as polluted sediment. The arsenic and mercury content in the sea sediment deteriorating the life of sea biota, and it can be seen from the decreasing of the benthic index diversity.

Keywords: Gold mining, Buyat Bay, Ratatotok Bay, Mercury, Arsenic

dalam pemenuhan terhadap Baku Mutu Air Laut tahun 2004 dan Guidelines ASEAN Marine Quality tahun 2004, serta perlu dilihat hubungan antara aktivitas penambangan emas dengan kandungan logam berat merkuri dan arsen dalam perairan Teluk Buyat dan Teluk Ratatotok.

METODOLOGI

Pemantauan dilakukan dengan mengambil sampel air dan sedimen dengan titik *sampling* pipa pembuangan *tailing*, beberapa meter dari jarak pipa di daerah Teluk Buyat dan Ratatotok serta kontrol pada jarak yang diperkirakan cukup jauh dari pencampuran *tailing* dan perairan teluk. Contoh air laut diambil dengan menggunakan tabung niskin, dengan kedalaman yang berbeda, yaitu: lapisan permukaan 0,2d, lapisan tengah 0,4d, dan lapisan dalam

0,8d, (d=kedalaman 1m) perairan lokasi *sampling* diukur dari permukaan⁽⁷⁾. Parameter yang diukur meliputi TSS, sianida (CN) dan kandungan logam berat termasuk merkuri (Hg) dan arsen (As). Beberapa parameter lapangan diukur di lapangan seperti suhu, pH, oksigen terlarut, salinitas, dan konduktivitas.

Peralatan analisis utama yang digunakan adalah Mercury Analyzer HG 5000 untuk analisis merkuri dan alat AAS Graphite Furnace Hitachi 8100 untuk analisis arsen.

Metode yang digunakan untuk analisis merkuri air laut merupakan modifikasi dari *Standard Method for Water and Waste Water Treatment edisi 20 no. 3112, tahun 1998*. Sedangkan untuk analisis merkuri dalam sedimen digunakan metode yang dikembangkan oleh Akagy, Institute for Minamata Disease, yaitu sampel didestruksi dengan air destilat bebas merkuri, 2 ml HNO₃(p): HClO₄(p) 1:1,5 ml H₂SO₄ pekat dan dipanaskan di atas pemanas listrik pada

¹Pusat Sarana Pengendalian Dampak Lingkungan-Deputi VII-KLH Kawasan PUSPIPEK, Serpong, Tangerang, Banten 15310-INDONESIA Telp. 021 75872028

²Universitas Indonesia, Program Studi Ilmu Lingkungan Pasca Sarjana, Salemba

PENDAHULUAN

Pada tahun 1996 sebuah perusahaan multinasional yang bergerak di bidang pertambangan emas mulai beroperasi, terletak di desa Ratatotok, Kecamatan Belaang. Kabupaten Minahasa Propinsi Sulawesi Utara. Perusahaan tambang tersebut memanfaatkan dasar laut sebagai media untuk menempatkan limbah *tailing* yang dihasilkan dari proses penambangan di kedalaman 82 meter pada jarak sekitar 900 meter dari Pantai Buyat melalui pipa dengan diameter dalam ± 20 cm.

Lumpur *tailing* yang merupakan hasil samping kegiatan pertambangan, mempunyai persen berat berkisar antara 45-55% padatan dan mengandung fraksi liat yang memiliki densitas lebih tinggi bila dibandingkan dengan densitas air laut, maka *tailing* diharapkan akan mengendap di dasar laut dan dimungkinkan tidak akan terjadi dispersi ke permukaan laut⁽¹¹⁾. Pada *tailing* masih terdapat berbagai jenis

logam, yang secara alamiah terkandung pada batuan tersebut⁽⁴⁾. merkuri (Hg) dalam bentuk sinabar (HgS) dan arsen (As) dalam bentuk arsenoprit (FeAsS) ditemukan berasosiasi dengan emas, sehingga kedua elemen ini umumnya ditemukan dalam limbah pengolahan emas.

Sifat laut adalah sangat dinamis dimana pencampuran dan sirkulasi arus selalu terjadi melalui proses berskala besar atau kecil⁽¹¹⁾. Selain itu secara normal, laut juga memiliki daya asimilasi untuk memroses dan mendaur ulang bahan-bahan pencemar yang masuk didalamnya. Akumulasi konsentrasi bahan pencemar ke dalam perairan laut akan mengakibatkan daya asimilasi laut sebagai gudang sampah menjadi menurun dan menimbulkan masalah lingkungan. Oleh karena itu perlu dilakukan pemantauan untuk melihat kandungan logam berat merkuri dan arsen di Teluk Buyat dan Teluk Ratatotok dalam air laut dan sedimen



Gambar 1. Peta titik pemantauan lapangan tim terpadu

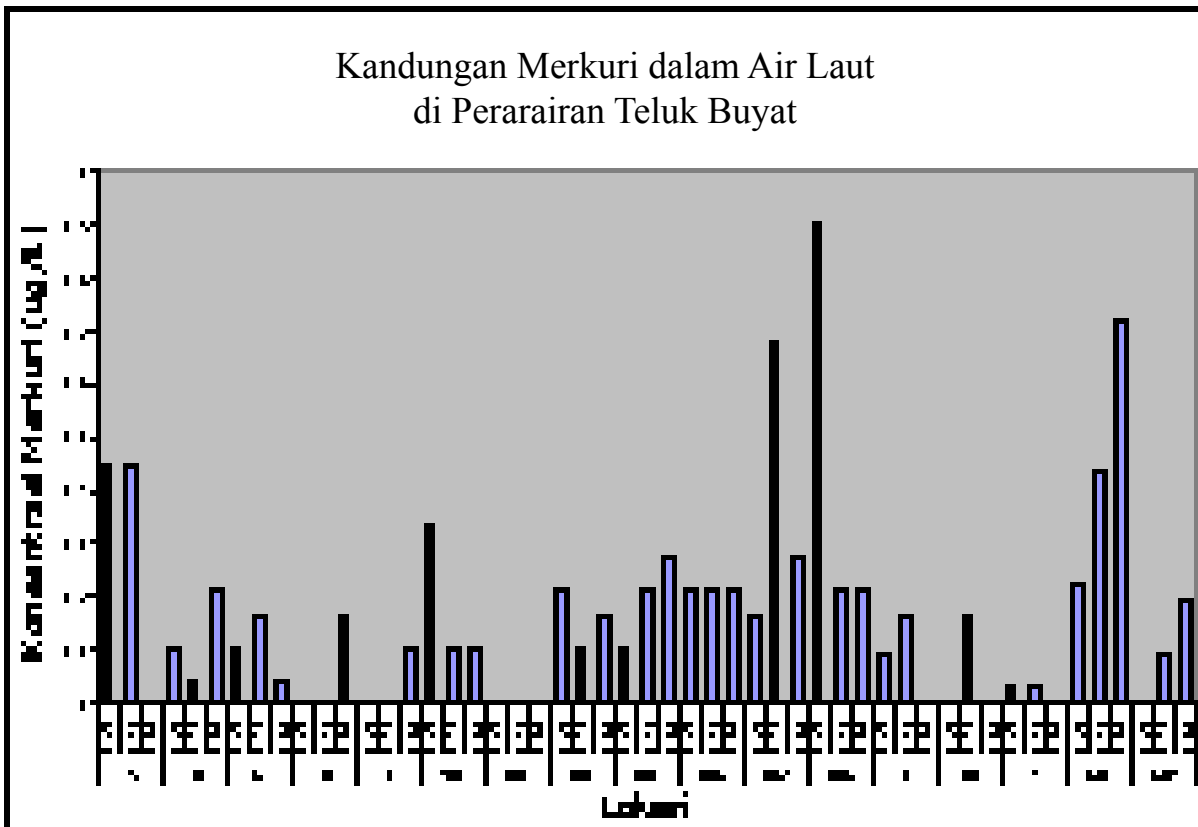
pergantian massa air oleh arus, serta aliran vertikal massa air.

Di teluk Ratatotok hasil pengukuran suhu berkisar pada 25,4 - 27,6°C dengan kedalaman maksimum 64 meter. Hasil pengukuran salinitas 32,96 - 33,2 PSU. Dari hasil pengukuran suhu di Teluk Ratatotok tidak ditemukan adanya lapisan termoklin, karena suhu sampai pada kedalaman maksimum 64 meter adalah homogen. Salinitas terendah ditemukan pada air permukaan di Teluk Ratatotok, yaitu pada titik 5A karena adanya asupan massa air yang berasal dari aliran sungai di sekitar teluk Ratatotok. Salinitas berkisar antara 32,5 - 33,6 PSU. Penempatan *tailing* di perairan Teluk Buyat telah memberikan perubahan bentuk batimetri dimana dari hasil pengukuran ketebalan sedimen diperoleh data telah terjadi tumpukan deposisi *tailing* pada kedalaman 80

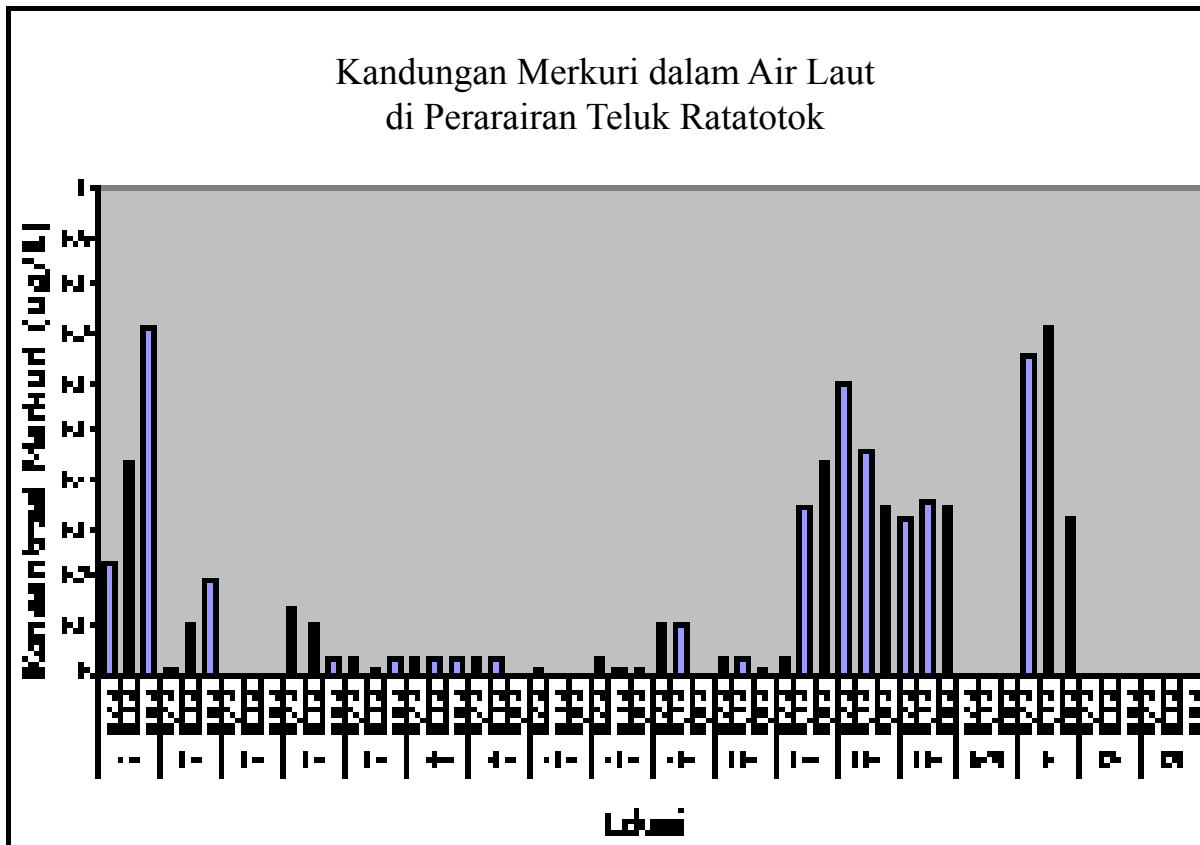
- 90 meter atau di sekitar mulut pipa buangan terdapat *tailing* setebal ± 10 meter. *Tailing* tidak membentuk tumpukan seperti gunung melainkan menyebar atau membentuk lereng yang landai sehingga kedalaman dari perairan teluk Buyat (khususnya di zona penempatan *tailing*) sudah bekurang kedalamannya.

Kandungan merkuri tertinggi dalam air laut di perairan Teluk Buyat pada titik A, BB7, BB9 dan CB1. Titik A merupakan zona penempatan *tailing*, BB7 dan BB9 adalah daerah sekitar Teluk Buyat dan CB1 merupakan daerah kontrol yang berjarak ±5-6 mil dari tepi pantai Teluk Buyat.

Hal ini disebabkan karena *tailing* yang dibuang pada kedalaman 82 meter dapat terbawa oleh air laut dengan proses turbulensi atau adukan air laut, sehingga pada beberapa lokasi pengambilan contoh uji di luar zona penempatan



Gambar 2. Kandungan merkuri dalam air laut di daerah perairan Teluk Buyat



Gambar 3. Kandungan merkuri dalam air laut didaerah perairan Teluk Ratatotok

suhu 230 – 250^o C selama 30 menit. Analisis arsen dalam air laut menggunakan metode CETAC Tech-Standard Method, yaitu sampel diekstrak menggunakan SPR-IDA dan kondisikan pH 8,0-8,5 kemudian di *centrifuge* dengan kecepatan 3000 rpm selama 30 menit. Sebagai kontrol ke dalam sampel ditambahkan SRM untuk memastikan persen kedadaptulan analisis (*recovery*), dan sebagai blanko larutan digunakan air laut buatan.

Pengukuran suhu dan salinitas menggunakan CTD (*conductivity, temperature, depth*) Arop probe sensor type GMI. Satuan untuk suhu adalah Celcius (°C), dan satuan salinitas adalah *practical salinity unit* (PSU).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran parameter fisika di lapangan menunjukkan kedalaman dasar laut 20,6 m sampai 109,1 m, sedangkan luas area *sampling*

= 1,84 km² atau 184 ha.

Secara umum pada lokasi pengambilan contoh uji di perairan teluk Buyat suhu air laut terukur bervariasi menurut kedalaman dengan nilai 19,5-27,5^oC, dan salinitas relatif homogen yaitu berkisar pada 32,2-33,5 PSU dengan kedalaman maksimum 125 meter.

Asumsi bahwa pada kedalaman 82 meter dititik E terdapat lapisan termoklin tidak terbukti, sehingga *tailing* yang dibuang masih berada pada lapisan homogen dimana polutan-polutan yang terkandung dalam *tailing* dapat terbawa oleh arus atau turbulensi yang dapat mencemari lingkungan di sekitar perairan Teluk Buyat. Beberapa faktor yang mempengaruhi keberadaan lapisan termoklin suatu perairan diantaranya adalah proses pasang surut di permukaan air laut, hembusan angin dipermukaan air laut dan aktifitas gelombang,

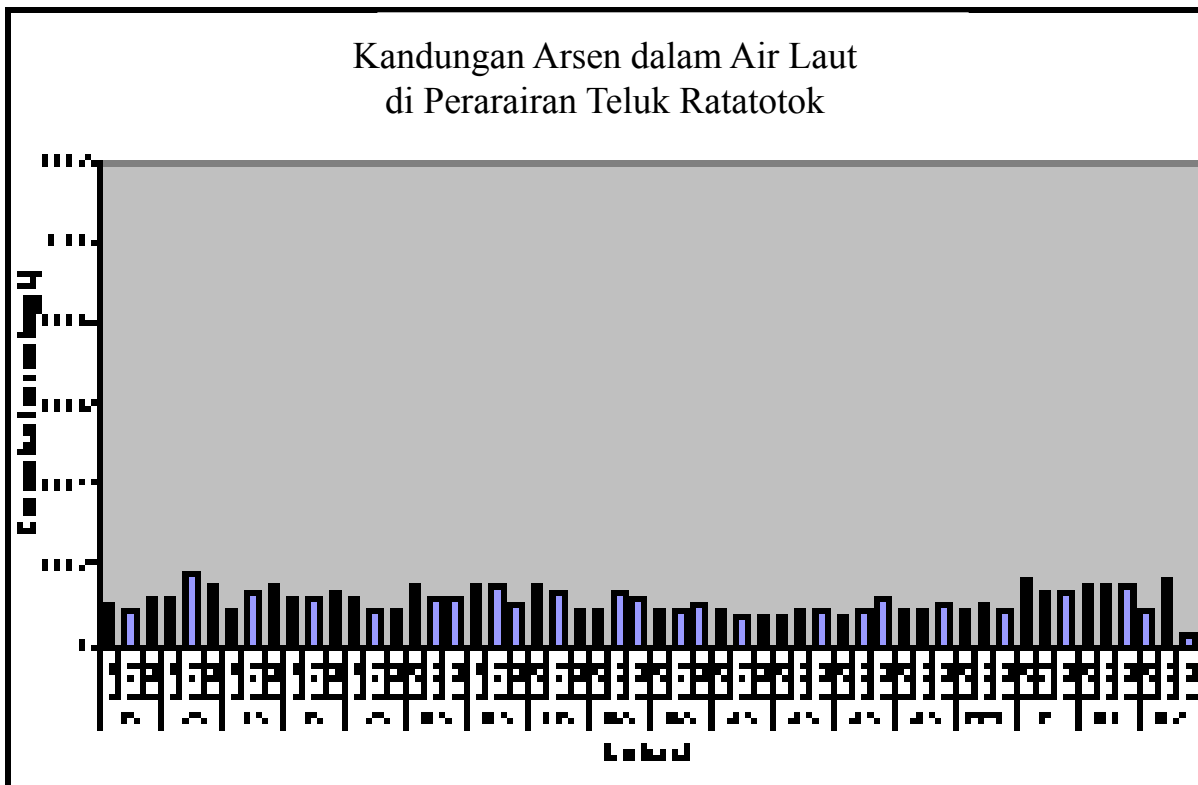
terlarut dalam air permukaan sangat bervariasi dan dipengaruhi oleh musim, dimana terjadi pergantian (*cycling*) antara arsen yang terdapat dalam sedimen di lapisan air.

Konsentrasi arsen terendah terjadi pada musim panas dimana arsen terlarut akan terserap oleh fitoplankton dan terbentuk sebagai partikel-partikel yang tersuspensi. Pada musim hujan, arsen akan diremobilisasi oleh arsen yang terkandung dalam sedimen. Konsentrasi arsen dapat dihubungkan dengan adanya kandungan fosfat dalam air laut, yaitu secara garis lurus distribusi arsen dapat dikontrol oleh aktivitas biologis⁽³⁾.

Dalam sedimen kandungan merkuri di perairan Teluk Buyat berkisar antara 0,144 - 1,697 mg/kg, dan konsentrasi tertinggi pada titik T. Sedangkan di Teluk Ratatotok konsentrasi berkisar antara 0,01 - 5,557 mg/kg, tertinggi

terdapat pada titik 7A. Dalam ASEAN Marine Water Quality Criteria, 2004, dikatakan bahwa *polluted sediment* mempunyai kadar merkuri dengan kisaran 0,4 - 350 mg/kg (*dry weight*). Jika dilihat dari konsentrasinya, maka daerah zona penempatan *tailing* (titik A, B, C, D, E dan TB1), BB4, BB7, K, KB dan T termasuk dalam *polluted sediment*. Sedangkan daerah titik kontrol baik di teluk Buyat maupun Teluk Ratatotok tidak termasuk dalam *polluted sediment*.

Kandungan merkuri di dalam sedimen cukup tinggi jika dibandingkan dalam air laut, karena persenyawaan merkuri yang berbentuk garam mudah mengendap. Di samping itu sedimen mempunyai kemampuan yang besar dalam menyerap ion-ion logam berat. Dengan pH di atas 6 atau bila bereaksi dengan anion halide dalam bentuk $HgCl_4^{2-}$, $HgCl_3^-$, dan $HgCl_2Br^-$, maka logam berat merkuri akan



Gambar 4. Kandungan arsen dalam air laut di daerah perairan Teluk Ratatotok

tailing (diperairan Teluk Buyat) kandungan merkuri ditemukan lebih tinggi daripada titik lokasi zona penempatan *tailing*.

Penyebaran polutan dari limbah *tailing* dalam bentuk suspensi terlarut yang terbawa oleh arus dan turbulensi sudah mencapai daerah CB1 yang juga ditemukan adanya pertambangan emas tradisional. Hal ini ikut memberikan kontribusi pada tingginya kandungan merkuri di titik CB1.

Kandungan merkuri di perairan Teluk Rataotok pada titik 1A, 21A, 23A dan H mempunyai nilai yang lebih tinggi. Titik 1A, 21A, 23A dan H berada didekat perbatasan semenanjung yang memisahkan Teluk Buyat dan Rataotok. Secara proses alamiah dengan pasang surut air laut dan angin, dan adanya semenanjung yang memisahkan Teluk Buyat dan Rataotok, dapat membuat polutan yang berasal dari Teluk Buyat dapat masuk ke perairan teluk rataotok di sekitar dekat perbatasan

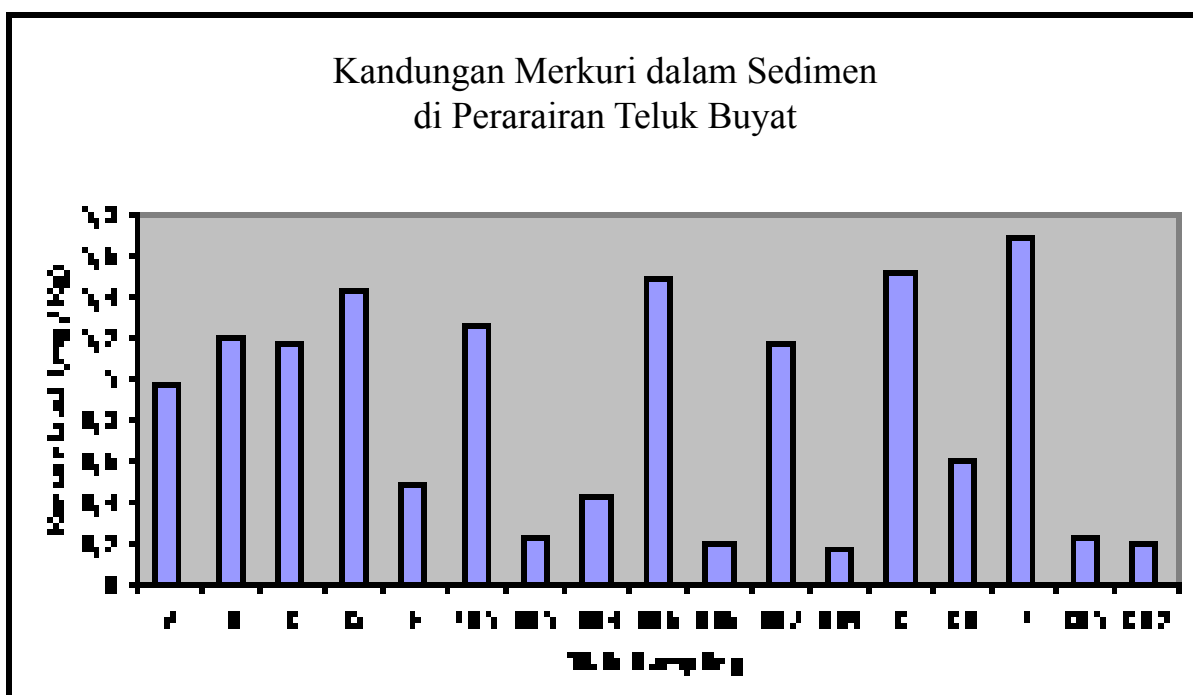
tersebut dan terakumulasi di dalamnya.

Konsentrasi merkuri tertinggi di perairan Teluk Buyat adalah 0,9066 $\mu\text{g/l}$ (titik BB9) dan di perairan Teluk Rataotok adalah 0,7176 $\mu\text{g/l}$ (titik H) masih di bawah Baku Mutu Air Laut yang ditetapkan berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 untuk Biota Laut yaitu 1 $\mu\text{g/L}$.

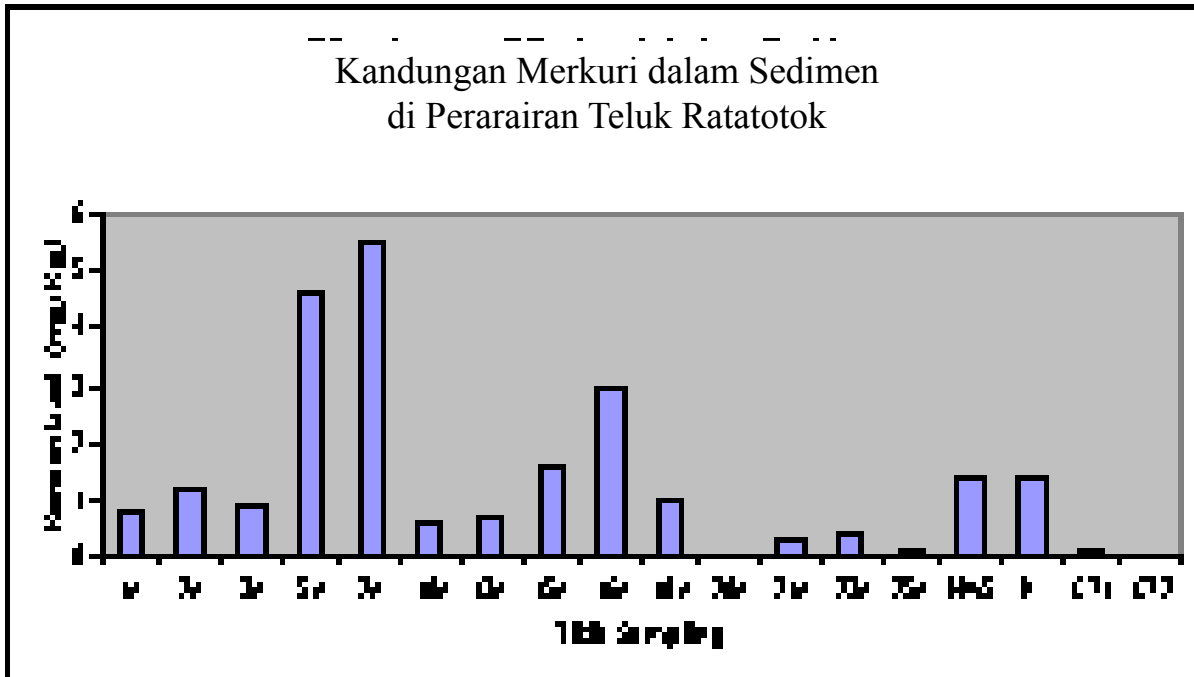
Kandungan arsen dalam air laut, baik di perairan Teluk Buyat maupun Rataotok hampir merata pada setiap lokasi. Konsentrasi arsen tertinggi yaitu di Teluk Buyat pada titik C (0,8d) adalah 0,003 mg/l.

Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut, limit deteksi logam arsen adalah 0,012 mg/l, sehingga secara keseluruhan kandungan arsen di perairan Teluk Buyat dan Rataotok berada di bawah Baku Mutu Air Laut.

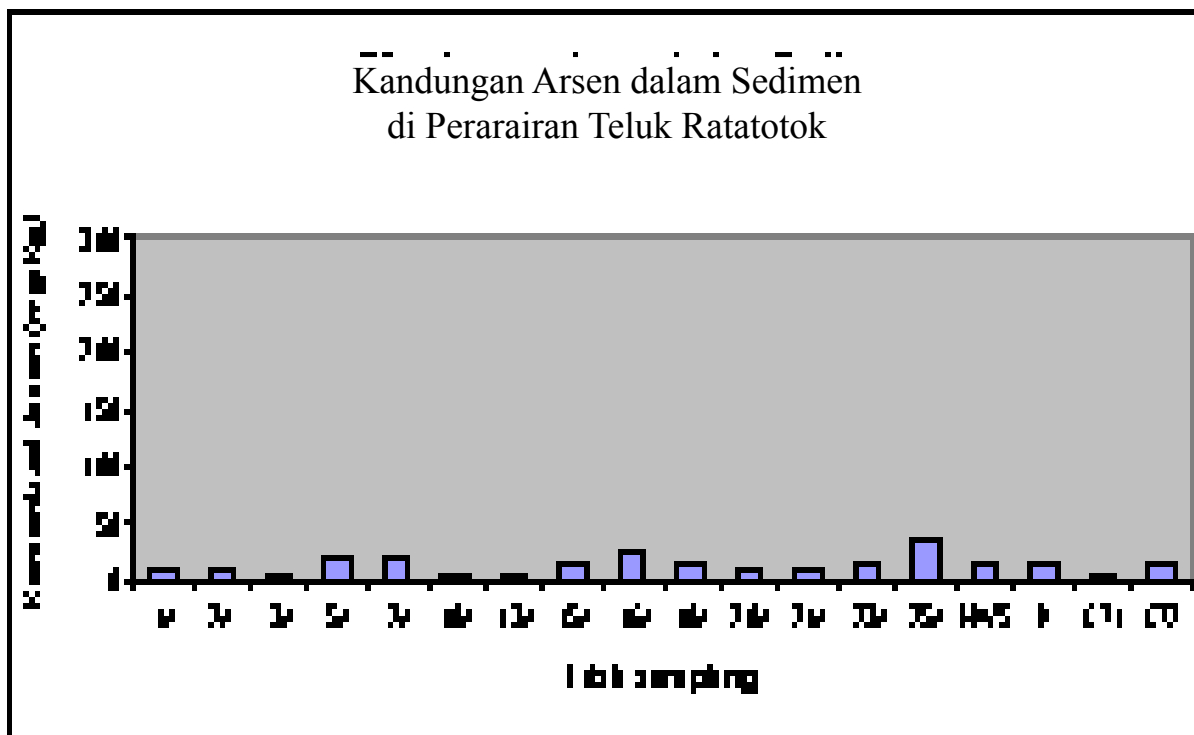
Di dalam lapisan air, konsentrasi arsen yang



Gambar 5. Kandungan merkuri dalam sedimen didaerah perairan Teluk Buyat



Gambar 6. Kandungan merkuri dalam sedimen didaerah perairan Teluk Ratatotok



Gambar 7. Kandungan arsen dalam air laut didaerah perairan Teluk Ratatotok

patan *tailing*: BB1, BB4, BB5 dan BB7), di sekitar Teluk Bohungan (10A, 13A dan 15A, dan T); daerah kontrol terdiri atas: CB1, CB2 dan CT2.

Indeks Diversitas Simpson Fitoplankton

mengalami penurunan di daerah Teluk Buyat terutama di daerah zona penempatan *tailing* (A, B, C, D dan E) yaitu; 0,061 – 0,493 dan kondisi yang sama terjadi juga di daerah Teluk Buyat setelah zona penempatan *tailing* (BB1,

mengendap⁽¹⁶⁾.

Merkuri anorganik mempunyai kelarutan yang sangat kecil di air, mudah membentuk kompleks atau diserap menjadi partikulat dan terendapkan menjadi sedimen⁽³⁾.

Tailing yang dibuang melalui pipa ke perairan Teluk Buyat, memberikan kontribusi pada tingginya kandungan arsen di zona penempatan *tailing* (titik A, B, C, D, E dan TB1).

Arsen terikat kuat dalam lumpur *tailing*, dan dengan densitasnya yang berat membuat arsen cenderung mengendap membentuk sedimen dan hanya sedikit arsen dalam sedimen yang dapat terlepas terbawa arus, sehingga dapat terlihat dari data di atas bahwa pada titik E yang merupakan *outfall* dari *tailing* mempunyai kandungan arsen yang paling tinggi.

Dalam *ASEAN Marine Water Quality Criteria*, 2004, dikatakan bahwa *polluted sediment* mempunyai kadar arsen dengan kisaran 50-300 mg/kg (*dry weight*). Jika dilihat dari konsentrasinya maka daerah zona penempatan *tailing* (titik A, B, C, D, E dan TB1), titik BB4, BB5, BB7, dan T termasuk dalam *polluted sediment*. Sedangkan daerah kontrol Teluk Buyat (CB1 dan CB2) tidak termasuk dalam *polluted sediment*.

Sedangkan kandungan Arsen di perairan Teluk Ratatotok dan daerah kontrolnya tidak termasuk dalam *polluted sediment*. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pengolahan emas secara tradisional, menggunakan batuan tambang yang diambil secara tradisional, sehingga tidak semua bagian batuan dan tanah terambil, hanya bagian yang tampak berwarna kekuningan (diperkirakan mengandung emas). Limbah hasil peng-gelundungan (proses pengikatan emas oleh merkuri) yang berupa air dialirkan

langsung ke sungai sedangkan yang berupa lumpur pekat dipadatkan lagi dan dimasukkan ke dalam karung. Biasanya padatan tersebut diolah lagi karena diperkirakan masih mengandung emas. Lumpur-lumpur yang sudah terbangun ke sungai akan terendapkan secara gravitasi di sepanjang aliran sungai ke laut, sehingga jumlah yang masuk ke dalam air laut diperkirakan sudah semakin berkurang. Hal ini membuat kandungan arsen dalam sedimen di perairan Teluk Ratatotok rendah.

Penyerapan arsen dalam tanah semakin tinggi dengan bertambahnya partikel-partikel lumpur, khususnya partikel dengan diameter <0,001 mm. Penyerapan arsen oleh mineral-mineral lumpur juga semakin besar bersamaan dengan meningkatnya pH, sedangkan penyerapan As (III) meningkat dengan adanya Fe₂O₃ dalam tanah⁽⁴⁾.

Sifat arsen yang terikat kuat dalam lumpur dan dapat terserap baik dalam lumpur yang mengandung logam-logam lain seperti besi, mangan dan aluminium membuat kandungan arsen dalam sedimen air laut di Teluk Buyat tinggi.

Sedimen merupakan salah satu media hidupnya biota laut. Dengan tingginya kandungan logam merkuri dan arsen di dalam sedimen dapat mengganggu kehidupan biota laut. Pengaruh itu dapat diketahui dengan mengambil contoh uji biota, yang tersebar di 25 lokasi di Teluk Buyat dan Ratatotok⁽¹¹⁾. Pengelompokan daerah dilakukan berdasarkan perkiraan gangguan dan sebaran lokasi sebagai berikut: Teluk Ratatotok (7A, 8A, AM, 16A, 20A, 21A, dan 1A), Teluk Buyat (di dekat pantai: AH, MH dan MWR, di zona penempatan *tailing*: A, B, C dan E, di ring kedua setelah zona penem-

rantai makanan sampai pada manusia. Oleh karena itu seberapa pun besar suatu pencemar di lingkungan harus diwaspadai.

Indeks Diversitas berkisar antara 7-14 jenis, jumlah ini sudah menurun jika dibandingkan dengan data hasil penelitian tim terpadu tahun 2004 jumlah jenis berkisar antara 1 – 4 stasiun A, B, C, D, E, M, H dan ah.

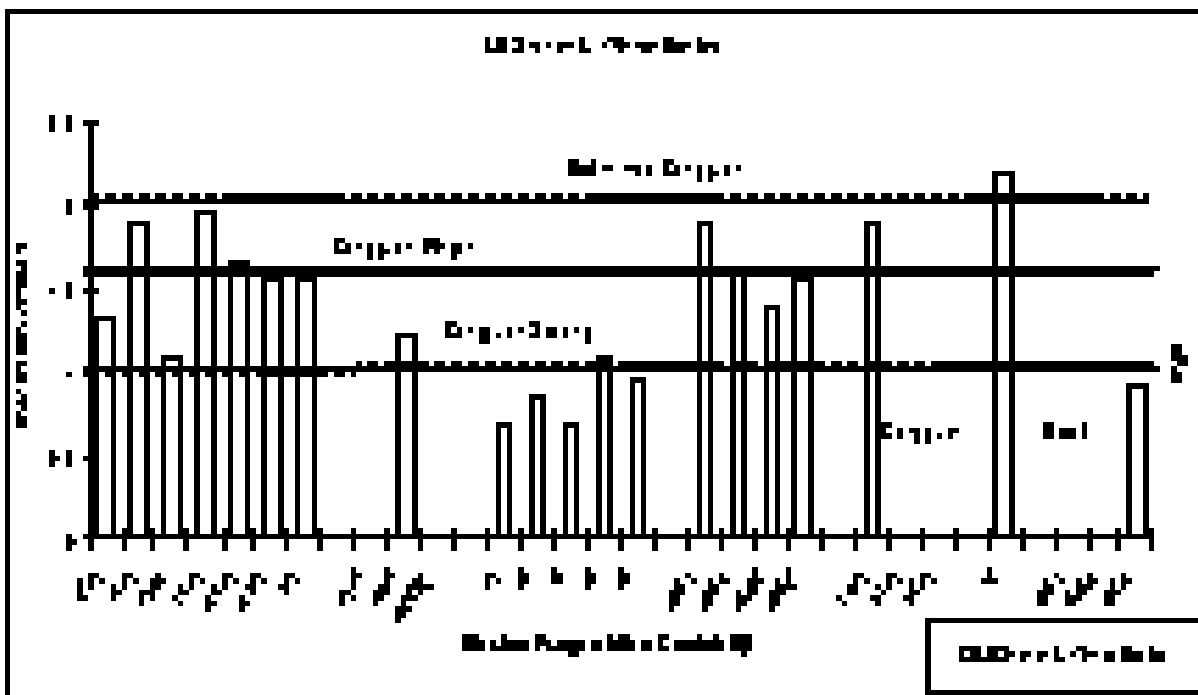
Indeks Diversitas Shannon Wiener Bentos paling rendah terjadi di Teluk Buyat terutama di daerah penimbunan A, B, C, D dan E yaitu 0,683 – 1,099. Indeks Diversitas Shannon Wiener di daerah ini berada pada nilai dibawah satu yang menyatakan bahwa daerah ini mengalami gangguan/pencemaran tingkat berat. Dengan adanya penimbunan *tailing* pada daerah ini, kandungan arsen dalam sedimen cukup tinggi yaitu 243 – 666 ppm. Gangguan terhadap komunitas bentos yang dapat mengurangi keaneka ragamannya dapat berupa gangguan fisik, kimia maupun Biologi. Indeks Diversitas di Teluk Rataotok

rata-rata masih berada di atas satu sampai dua (1-2) yang berarti di daerah ini mendapat gangguan/pencemaran tingkat ringan sampai sedang, dengan kadar arsen dalam sedimen antara 6,63 ppm – 34,4 ppm.

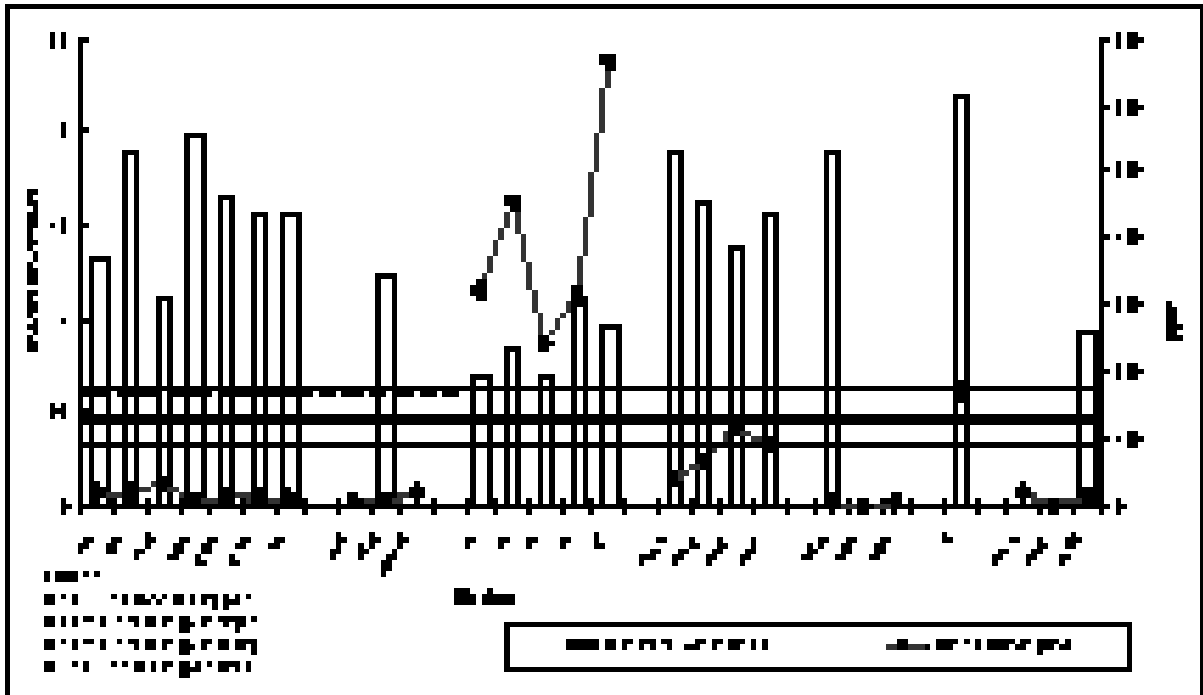
Untuk mengetahui perbedaan jenis fitoplankton, zooplankton dan bentos di kedua lokasi digunakan indeks kesamaan jenis. Hasil penelitian menunjukkan kesamaan jenis fitoplankton adalah 32%, zooplankton 55%, dan bentos 40%. Hal ini menunjukkan terdapat adanya perbedaan ketiga jenis organisme di kedua lokasi penelitian, yaitu masing-masing 68%, 45% dan 60%.

KESIMPULAN

Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa ada perbedaan kandungan merkuri dan arsen dalam air laut pada zona penempatan *tailing* relatif lebih rendah dibandingkan sekitar Teluk Buyat dan daerah kontrol. Hal ini bisa disebabkan adanya arus dan turbulensi



Gambar 8: I.D Simpson fitoplankton dan zooplankton, kadar As dan merkuri dalam sedimen.



Gambar 9 : I. D. Shanon Wiener, kadar arsen dan merkuri dalam sedimen

BB4, BB6 dan BB7) yaitu 0,06 – 0,693. Hal ini menunjukkan adanya fenomena bahwa apabila terjadi peningkatan kadar As di dalam sedimen, maka Indeks Diversitas Fitoplankton mengalami penurunan yang dapat dilihat pada kedua daerah berikut ini (Gambar 8). Penurunan Indeks Diversitas Fitoplankton mencapai nilai dibawah 0,6 yang berarti di daerah ini mendapat gangguan/pencemaran berat. Sedangkan di Teluk Rataotok, Indeks Diversitas berkisar antara 0,535 – 0,814 menyatakan daerah ini mendapat gangguan/pencemaran tingkat ringan sampai sedang yang dapat disebabkan oleh faktor fisika, kimia dan biologi perairan.

Gangguan utama yang menyebabkan kondisi ini menurun masih perlu untuk diketahui lebih lanjut mengingat bahwa fitoplankton merupakan produsen dalam rantai makanan di laut dan cara hidupnya yang melayang-layang tergantung arus.

Dari data Amdal 1994 yang dapat dipakai sebagai rona awal menunjukkan jumlah jenis bentos di dalam stasiun pengamatan di Teluk Buyat.

Daerah kontrol CT2 Indeks Diversitas dibawah nilai 1 lebih kecil dari daerah Teluk Rataotok yang mendapat gangguan/pencemaran ringan sampai sedang. Kondisi ini disebabkan adanya kesulitan dalam pengambilan contoh uji di lapangan yaitu kedalaman lebih dari 100 m. Pencemaran ataupun gangguan terhadap suatu perairan dapat secara langsung berpengaruh atau tidak terhadap manusia. Dalam rantai makanan manusia berada dalam posisi tertinggi, sedangkan organisme sederhana seperti plankton dan bentos berada pada posisi paling bawah bahkan plankton sebagai produsen dalam rantai makanan karena memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi terhadap pencemar.

Pencemar terhadap organisme bersifat bioakumulasi (bila kondisi memungkinkan) melalui

perairan laut. Sebaliknya dalam sedimen, semakin jauh dari zona penempatan *tailing*, maka kandungan merkuri dan arsen menjadi semakin rendah.

Kandungan logam merkuri dan arsen pada daerah kontrol untuk contoh uji air di bawah Baku Mutu Air Laut berdasarkan Kep Men No. 51 Tahun 2004 untuk Biota Laut, yaitu 0,001 mg/l untuk merkuri dan 0,012 untuk arsen. Demikian juga kandungan merkuri dan arsen dalam sedimen tidak termasuk dalam *polluted sediment* berdasarkan Guidelines ASEAN Marine Quality Project, 2004. Kandungan merkuri dan arsen dalam air di perairan Teluk Buyat dan Ratatotok berada di bawah Baku Mutu Air Laut berdasarkan Kep Men No 51 Tahun 2004 untuk Biota Laut.

Kandungan merkuri dalam sedimen di perairan Teluk Buyat, khususnya di zona penempatan *tailing* dan sekitarnya, pantai Teluk Buyat dan Teluk Ratatotok yang dekat dengan semenanjung yang memisahkan Teluk Buyat dan Teluk Ratatotok termasuk dalam *polluted sediment* berdasarkan Guidelines ASEAN Marine Quality Project, 2004.

Kandungan arsen dalam sedimen di perairan Teluk Buyat, khususnya di zona penempatan *tailing* dan sekitarnya termasuk dalam *polluted sediment* berdasarkan Guidelines ASEAN Marine Quality Project, 2004. Sebaliknya di perairan Ratatotok kandungan arsen yang terdapat dalam sedimen tidak termasuk dalam *polluted sediment* berdasarkan Guidelines ASEAN Marine Quality Project, 2004.

Adanya merkuri dan arsen yang terakumulasi secara terus menerus dalam sedimen di Teluk Buyat dan Ratatotok sebagai akibat dari pembuangan *tailing* mengganggu kehidupan biota

laut, ditunjukkan dengan adanya penurunan keanekaragaman hayati, khususnya bentos, jika dibandingkan dengan data rona lingkungan awal. Kondisi ini menunjukkan bahwa ada ke cenderung terganggunya ekosistem perairan.

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Akagi, Hirokatsu and hajime Nishimura. 1991. *Speciation of Mercury in the Environment*. Minamata, Japan: National Institute for Minamata Disease.
- (2) Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 20th edition. 1998 Washington: American Public Health Association American Water Work Association and Water Environment Federation
- (3) Anonimus. 2004. "ASEAN Marine Water Quality Project". Reference Document, Maritime Instituti of Malaya. Australia Government.
- (4) Anonimus. 1999. "Laporan Penelitian. Kajian Kelayakan Pembuangan Limbah *Tailing* ke Laut di Perairan Teluk Buyat Sulawesi Utara". Manado: Pusat Studi Lingkungan dan Sumber Daya Alam Universitas Sam Ratulangi.
- (5) Darmono. 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- (6) Dulage, Deni H. 2000. "Telaah Kandungan Merkuri (Hg) dan Arsen (As) Dalam Sedimen di Teluk Buyat". . Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Program Studi Ilmu Kelautan. Manado: Skripsi. Universitas Sam ratulangi
- (7) Hutagalung Horas PD; Setiapermana S.; dan Riyono. H, 1997. "Metode Analisis Air Laut. Sedimen dan Biota Laut." Jakarta: Puslitbang Oseanologi. LIPI.