

DAMPAK MERKURI TERHADAP LINGKUNGAN PERAIRAN SEKITAR LOKASI PERTAMBANGAN DI KECAMATAN LOLODA KABUPATEN HALMAHERA BARAT PROVINSI MALUKU UTARA

IMPACT OF MERCURI ON THE WATER ENVIRONMENT AROUND THE MINING LOCATION IN LOLODA DISTRICT, WEST HALMAHERA DISTRICT, NORTH MALUKU PROVINCE

Guntur Ekaputra Bernadus ⁽¹⁾, Bobby Polii ⁽²⁾, Johnly Alfred Rorong ⁽²⁾

1) Staf dan Peneliti pada DLH Kab. Halmahera Barat/ASN

2) Staf Pengajar dan Peneliti pada PS Agronomi, Pascasarjana, Universitas Sam Ratulangi, Manado

*Penulis untuk korespondensi: ekaputraguntur@gmail.com

Naskah diterima melalui Website Jurnal Ilmiah agrisosioekonomi@unsrat.ac.id	: Jumat, 18 Juni 2021
Disetujui diterbitkan	: Rabu, 28 Juli 2021

ABSTRACT

This study aims to assess the potential impact of mercury pollution in the Tiabo waters (river) which is located in the gold mining location without permission from Bakun Pantai Village, Loloda District, West Halmahera Regency, North Maluku Province. This research was conducted in July - December 2020. The analysis of research data was carried out in a descriptive way by looking at the results of the measurement results of the mercury sample test in water then comparing with the environmental quality standards according to PP No. 82 of 2001 class II concerning Water Quality Management and Water Pollution Control. Whereas mercury in sediment is compared with the quality standard for heavy metal concentrations in IADC / CEDA 1997. The samples used in this study were river water and sediment (silt at the bottom of the river). Water and sediment samples were taken from the upstream, middle and downstream of the river. The results of the examination of Hg levels in water samples at the upstream, middle and downstream locations showed that the results were <0.0005 mg / L, the lowest pH was 7.57 and the highest was 7.84 n / a, the lowest DO was 8.13 mg / L, the highest was 8.21 mg / L. The results of measurements of mercury levels in the sediment of the Tiabo river in Bakun Pantai Village, Loloda District, West Halmahera Regency which were carried out at three points, namely upstream, middle and downstream of the river, the value of mercury content in the upstream river was 1.35 mg / L, in the middle it was 0.47. mg / L, and downstream of <0.05 mg / L.

Keywords: people's mining; mercury; environmental pollution

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menilai potensi dampak pencemaran merkuri di lingkungan perairan (sungai) Tiabo yang berada di lokasi penambangan emas tanpa izin Desa Bakun Pantai, Kecamatan Loloda, Kabupaten Halmahera Barat, Provinsi Maluku Utara. Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli – Desember tahun 2020. Analisis data penelitian dilakukan dengan cara deskriptif dengan melihat hasil pengukuran hasil uji sampel merkuri pada air kemudian membandingkan dengan baku mutu lingkungan sesuai PP No. 82 Tahun 2001 kelas II tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Sedangkan untuk merkuri di sedimen dibandingkan dengan baku mutu konsentrasi logam berat pada IADC/CEDA 1997. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah air sungai dan sedimen (endapan lumpur di dasar sungai). Sampel air dan sedimen diambil dari hulu, tengah dan hilir sungai. Hasil pemeriksaan kadar Hg pada sampel air di titik lokasi hulu, tengah dan hilir didapati hasil yaitu <0,0005 mg/L, hasil pH terendah 7,57 dan tertinggi 7,84 n/a, DO terendah 8,13 mg/L, tertinggi 8,21 mg/L. Hasil pengukuran kadar merkuri di sedimen Sungai Tiabo, Desa Bakun Pantai, Kecamatan Loloda, Kabupaten Halmahera Barat yang dilakukan pada tiga titik yaitu hulu, tengah dan hilir sungai, didapatkan nilai kandungan merkuri di hulu sungai sebesar 1,35 mg/L, di tengah sebesar 0,47 mg/L, dan di hilir sungai sebesar <0,05 mg/L.

Kata kunci : tambang rakyat; merkuri; pencemaran lingkungan

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pembangunan sektor industri saat ini merupakan suatu kegiatan mengubah keadaan kearah yang lebih maju. Dalam pembangunan tersebut, selain dapat memajukan kehidupan manusia, tanpa disadari juga ada banyak yang harus dikorbankan, terutama lingkungan yang ada disekitarnya. Karena setiap usaha membangun ekonomi, negara diperhadapkan pada pembangunan ekonomi dan melestarikan lingkungan. Lingkungan perairan merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia, karena air merupakan kebutuhan utama bagi hidup manusia. Perairan merupakan tempat berinteraksi baik secara fisik dan kimia dari keanekaragaman hayati (Rompas, 1992).

Berbagai kegiatan industri dan pembangunan terbukti memberikan andil dalam penurunan kualitas lingkungan terutama lingkungan perairan. Berbagai bentuk substansi yang masuk ke lingkungan perairan tersebut dapat memberikan pengaruh negatif terhadap faktor abiotik ekosistem yaitu perubahan struktur komunitas, kematian massal resistensi terhadap substansi kimia oleh organisme serta perubahan kualitas perairan tersebut. Dalam kegiatan pertambangan emas rakyat (*people's gold mining*), salah satu proses untuk mendapatkan emas yaitu proses amalgamasi. Proses amalgamasi adalah proses pencampuran antara emas dan merkuri. Teknik amalgamasi dilakukan dengan cara mencampur batuan yang mengandung logam emas dan merkuri dengan menggunakan tromol (Sualang, 2001). Kegiatan pengolahan emas yang menggunakan teknik amalgamasi, dibutuhkan aliran air yang digunakan untuk memisahkan antara batuan halus dan amalgam yang dialirkan ke kolam penampungan, di samping itu ada saluran kecil yang langsung berhubungan dengan selokan yang menuju ke sungai (Lingkubi, 2004).

Sistem perairan sangat sensitif terhadap masukan Hg karena laju bioakumulasi logam berat ini lebih tinggi dari logam berat lainnya. Bioakumulasi Hg dapat terjadi dalam rantai makanan perairan sehingga konsentrasi Hg dapat meningkat seiring dengan tingkatan rantai makanan, sehingga menyebabkan pencemaran (Baker dan Denyes, 2004). Pencemaran Hg sangat mengkhawatirkan karena pengaruhnya tidak langsung dirasakan oleh masyarakat, tetapi setelah kurun waktu yang panjang dan dapat mengakibatkan daya akut yang berkepanjangan.

Penambangan emas tanpa ijin (PETI) merupakan kegiatan penambangan emas yang dilakukan secara tradisional. Hasil penambangan tersebut diolah dengan metode amalgamasi yaitu proses pengikatan logam emas dari biji tersebut dengan menggunakan merkuri. Proses amalgamasi pada aktivitas PETI ini akan mengakibatkan degradasi lingkungan yang disebabkan oleh proses pencucian dan pendulangan yang dilakukan di sungai. Sebagai akibatnya, ampas (*tailing*) yang terbuang ke dalam sungai menjadikan sungai menjadi keruh dan tercemar oleh merkuri (Andrie, dkk, 2011).

Salah satu kegiatan pertambangan emas tanpa ijin (PETI) di pulau Halmahera berada di Desa Bakun Pantai, Kecamatan Loloda, Kabupaten Halmahera Barat, Provinsi Maluku Utara. Kegiatan pertambangan emas disini masih menggunakan teknik amalgamasi dengan menggunakan merkuri untuk mendapatkan emas. Limbah dari kegiatan pertambangan emas tersebut diduga mencemari/mengkontaminasi lingkungan dan sungai yang berada di daerah pertambangan emas tersebut.

Rumusan Masalah

Aktivitas penambangan emas tanpa ijin (PETI) yang ada di Desa Bakun Pantai, Kecamatan Loloda, Kabupaten Halmahera Barat, Provinsi Maluku Utara, diduga menggunakan merkuri dengan sistem amalgamasi untuk mendapatkan emas. Pada proses pengolahan tersebut, limbah cair dari proses penambangan dibuang ke lingkungan sekitar sungai dan berpotensi terjadi kontaminasi/mencemari lingkungan sungai yang berada dilokasi tersebut. Karena limbah cair yang dibuang, diduga mengandung Hg dan dapat terendap di dasar sungai. Dalam keadaan tersebut, keberadaan merkuri dapat berubah dari merkuri anorganik menjadi merkuri organik yang sangat beracun, seperti metil merkuri (CH_3Hg), ini dapat terakumulasi di sedimen sungai. Merkuri organik yang terdapat di perairan sungai dapat terbawa sampai ke perairan laut yang terdapat berbagai biota laut.

Pada proses rantai makanan, metil merkuri yang terdapat di Sungai Tiabo sebagai tempat berkumpulnya sejenis plankton-plankton sebagai makanan ikan kecil dan udang. Ikan kecil dimakan ikan sedang dan besar. Ikan-ikan kecil sampai dengan besar dimakan oleh manusia. Manusia yang mengkonsumsi ikan dan udang di sungai dan atau

di laut, bisa terkontaminasi merkuri. Atas dasar permasalahan tersebut, peneliti telah melakukan penelitian dampak merkuri terhadap lingkungan perairan di lokasi pertambangan Kecamatan Loloda. Sepengetahuan peneliti belum ada penelitian yang dilakukan di lokasi penambangan tersebut.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menilai potensi dampak pencemaran merkuri di lingkungan perairan (sungai) Tiabo yang berada di lokasi penambangan emas tanpa ijin Desa Bakun Pantai, Kecamatan Loloda, Kabupaten Halmahera Barat, Provinsi Maluku Utara. Untuk mencapai tujuan penelitian, telah dilakukan beberapa kegiatan sebagai berikut :

- 1). Untuk mengetahui konsentrasi merkuri, derajat keasamaan dan oksigen terlarut di air sungai Tiabo yang diambil dari air permukaan, air kedalaman tengah, dan air bawah sejenis kedalam. Mulai dari hulu, tengah, dan hilir sungai di sekitar kawasan penambangan emas tersebut.
- 2). Untuk mengetahui apakah perairan Sungai Tiabo (air dan sedimen) telah melewati ambang batas konsentrasi merkuri di sedimen sungai, mulai dari hulu sungai, tengah sungai, dan hilir sungai yang berada di lokasi penambangan emas tanpa ijin tersebut.

Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat bagi :

- 1). Keilmuan sebagai sumber informasi dan referensi bahan bacaan untuk peneliti selanjutnya.
- 2). Pemerintah Daerah Kabupaten Halmahera Barat sebagai bahan informasi mengenai dampak merkuri di lingkungan sungai Desa Bakun Pantai Kecamatan Loloda.
- 3). Peneliti sebagai pegawai Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Halmahera Barat dalam pelaksanaan tugas.
- 4). Pada masyarakat dapat memberikan informasi mengenai dampak merkuri terhadap pencemaran lingkungan.

Hipotesis Penelitian

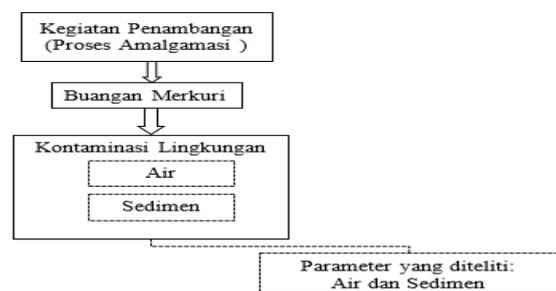
Berdasarkan masalah yang telah dirumuskan, disusun hipotesis penelitian sebagai berikut :

- 1). Merkuri diduga terakumulasi dalam air dan sedimen di sungai Tiabo Desa Bakun Pantai, Kecamatan Loloda, Kabupaten Halmahera Barat, Provinsi Maluku Utara.
- 2). Pencemaran merkuri diduga terjadi di air dan sedimen sungai Tiabo, pada konsentrasi yang melebihi ambang batas.

METODE PENELITIAN

Kerangka Konsep Penelitian

Merkuri yang digunakan dalam proses amalgamasi pada kegiatan pertambangan emas tanpa ijin, dibuang ke lingkungan dan dapat mengkontaminasi lingkungan yang ada di sekitarnya. Di lingkungan perairan, merkuri dapat terendap di sedimen dalam bentuk elemental. Aktivitas mikrobiologi dapat merubah merkuri elemental (Hg^0) menjadi merkuri anorganik (Hg^{+2}) dan selanjutnya menjadi merkuri organik (MeHg) di sedimen. Kemudian MeHg diakumulasi oleh organisme perairan, misalnya ikan, kerang-kerangan, dan organisme lainnya (Lasut dkk, 2005).



Variabel Penelitian

Variabel yang diteliti dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Konsentrasi merkuri di air sungai Tiabo mulai dari hulu, tengah dan hilir sungai.
2. Konsentrasi merkuri di sedimen sungai Tiabo dari hulu, tengah dan hilir yang berada di areal penambangan emas tanpa ijin di Desa Bakun Pantai, Kecamatan Loloda, Kabupaten Halmahera Barat, Provinsi Maluku Utara.

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yaitu mendeskripsikan kandungan merkuri yang ada di lingkungan air dan sedimen Sungai Tiabo yang berdekatan dengan lokasi pertambangan emas tanpa ijin.

Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian dilakukan pada bulan Juli – Desember tahun 2020. Penelitian dilakukan di sekitar lokasi Sungai Tiabo yang berdekatan dengan area penambangan emas tanpa ijin (PETI) di Desa Bakun Pantai, Kecamatan Loloda, Kabupaten Halmahera Barat, Provinsi Maluku Utara.

Sampel dan Tempat Pemeriksaan

1. Sampel penelitian

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah air sungai dan sedimen (endapan lumpur di dasar Sungai Tiabo) yang berada di lokasi penambangan emas tanpa ijin di Desa Bakun Pantai, Kecamatan Loloda, Kabupaten Halmahera Barat, Provinsi Maluku Utara. Sampel air dan sedimen diambil dari hulu, tengah dan hilir sungai.

2. Tempat pemeriksaan sampel penelitian

Sampel dibawa ke laboratorium Water Laboratory Nusantara (WLN) Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara untuk di analisis kandungan merkuri di air dan di sedimen.

Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat Spektrofotometer Serapan Atom-Uap Dingin [*Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry (CV-AAS)*] yang ada di Laboratorium WLN, Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara.

Cara Pengambilan Sampel

1. Sampel air

Sampel air diambil pada tiga titik dengan tiga kali pengulangan. Sampel diambil menggunakan jerigen kecil pada permukaan, tengah, dan dibawah badan sungai. Setelah itu sampel diberi label nama, tanggal dan waktu pengambilan, dan dimasukkan ke dalam kotak pendingin atau *coll box* agar tetap awet.

2. Sampel sedimen

Sedimen diambil dengan menggunakan alat sederhana dari kaleng susu yang di lobangi bagian bawahnya dan diambil sedimen yang berada di dasar sungai. Sampel sedimen dipisahkan dari kerikil, potongan binatang, tanaman dan objek lain. Sampel dicampur dan disaring dengan menggunakan ayakan dengan meshnya 2 mm, kemudian sampel dimasukkan ke dalam botol yang kemudian di segel dan kemudian di analisa. Sampel harus dikeringkan untuk mengurangi kandungan air. Waktu pelaksanaan penelitian meliputi: tanggal, lokasi, dan waktu harus dicatat.

Untuk satu sampel sedimen, menggunakan metode 6 spot yang dicampur, untuk mendapatkan 1 komposit sampel, ini meningkatkan keterwakilan dari sampel sedimen yang diperoleh. Selanjutnya sampel ditempatkan di dalam kantong plastik *polythilene* dan dimasukkan ke dalam kotak pendingin (*cool box*) bersama dengan es batu selama proses transportasi ke laboratorium. Sampel disimpan dalam ruang beku (*freezer*) sebelum dilakukan pengukuran. Hal ini dilakukan untuk mencegah aktivitas mikroba dalam sedimen.

Analisis Sampel

1. Sampel air

Menurut Badan Standardisasi Nasional (SNI 6989.57: 2008) metode pengambilan sampel air permukaan, siapkan wadah atau botol sampel untuk pengujian logam merkuri dengan langkah kerja sebagai berikut:

- a) Cuci botol gelas atau plastik dan penutupnya menggunakan deterjen, kemudian bilas dengan air bersih.
- b) Bilas dengan asam nitrat (HNO_3) 1:1, selanjutnya bilas lagi dengan air bebas analit sebanyak 3 kali dan biarkan mengering, setelah kering tutup botol dengan rapat.
- c) Selanjutnya sampel di bawah ke laboratorium untuk di analisa.

2. Sampel sedimen

Sampel diukur dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom-Uap Dingin [*Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry (CV-AAS)*] berdasarkan petunjuk dari JPHA. Sampel sebanyak 0,3 g dimasukkan ke dalam labu ukur yang berukuran 50 ml dan di tambahkan berturut-turut 2 ml campuran dari asam nitrit dan asam perklorik (dengan perbandingan 1:1), 5 ml asam sulfur, dan 1 ml air distilasi.

Selanjutnya labu ukur dipanaskan pada suhu 200°C selama 30 menit dan didinginkan. Setelah dingin, air destilasi ditambahkan ke dalam labu ukur sehingga mencapai volume 50 ml. Campuran tersebut digunakan sebagai sampel untuk mengukur kadar merkuri dengan menggunakan CV-AAS. Uap merkuri kemudian diteruskan ke penyerap atom untuk diketahui konsentrasi merkuri totalnya. Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan alat sistem sirkulasi udara otomatis yang didesain oleh Akagi dan Nishimura.

Analisis Data

Analisis data penelitian dilakukan dengan cara kuantitatif dengan melihat hasil pengukuran hasil uji sampel merkuri pada air kemudian membandingkan dengan baku mutu lingkungan sesuai PP No. 82 Tahun 2001 kelas II tentang “Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air”. Sedangkan untuk merkuri di sedimen dibandingkan dengan baku mutu konsentrasi logam berat pada IADC/CEDA 1997. Selanjutnya data dianalisis berdasarkan tujuan penelitian yaitu :

1. Analisis konsentrasi Hg, pH dan DO di air Sungai Tiabo yang berada di lokasi penambangan emas tanpa ijin di Desa Bakun Pantai, Kecamatan Loloda, Kabupaten Halmahera Barat, Provinsi Maluku Utara.
2. Analisis konsentrasi Hg di sedimen Sungai Tiabo yang berada di lokasi penambangan emas tanpa ijin di Desa Bakun Pantai, Kecamatan Loloda, Kabupaten Halmahera Barat, Provinsi Maluku Utara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilaksanakan di bekas lokasi PETI tepatnya di Sungai Tiabo. Sungai Tiabo berada di areal hutan Desa Bakun Pantai, Kecamatan Loloda, Kabupaten Halmahera Barat. Parameter yang diteliti meliputi Hg, pH dan DO.

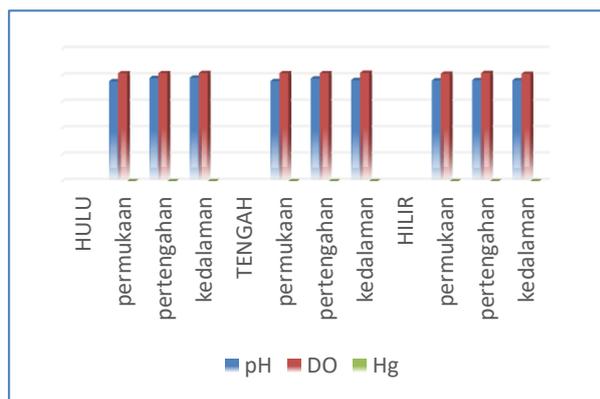
Pengukuran Konsentrasi Merkuri (Hg), Ph dan DO di Air Sungai Tiabo

Hasil pemeriksaan kadar Hg pada sampel air di titik lokasi hulu, tengah dan hilir didapati hasil yaitu <0,0005 mg/L, hasil pH terendah 7,57 dan tertinggi 7,84 n/a, DO terendah 8,13 mg/L, tertinggi 8,21 mg/L. Berdasarkan hasil pemeriksaan kadar Hg pada air sungai masih sesuai dengan Nilai Ambang Batas (NAB) yang sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 kelas II tentang Pengelolaan Kualitas Baku Mutu Air yaitu 0,002 mg/L.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Konsentrasi Hg, Ph dan DO di Air Sungai Tiabo

Titik Lokasi	Hasil Yang Diperoleh			Nilai Normal			
	Hg (mg/L)	pH (n/a)	DO (mg/L)	Hg (mg/L)	pH (n/a)	DO (mg/L)	
Hulu	Permukaan	<0.00005	7.57	8.17	0.002	6-9	4
	Pertengahan	<0.00005	7.81	8.18	0.002	6-9	4
	Kedalaman	<0.00005	7.84	8.19	0.002	6-9	4
Tengah	Permukaan	<0.00005	7.58	8.18	0.002	6-9	4
	Pertengahan	<0.00005	7.78	8.18	0.002	6-9	4
	Kedalaman	<0.00005	7.66	8.21	0.002	6-9	4
Hilir	Permukaan	<0.00005	7.63	8.14	0.002	6-9	4
	Pertengahan	<0.00005	7.65	8.19	0.002	6-9	4
	Kedalaman	<0.00005	7.64	8.13	0.002	6-9	4

Dari hasil penelitian memperlihatkan bahwa konsentrasi total merkuri pada air sungai dilokasi bekas penambangan ilegal yang berada di areal Sungai Tiabo, Desa Bakun Pantai, Kecamatan Loloda yang dibandingkan dengan kriteria mutu air dengan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 kelas II tentang Pengelolaan Air dan Pengendalian Pencemaran Air didapatkan hasil masih sesuai dengan nilai ambang batas yang ditentukan oleh pemerintah.



Gambar 1. Diagram Konsentrasi Hg, pH dan DO di Air Sungai Tiabo

Menurut Lodenius dan Malm (1998) daerah yang dekat dengan lokasi pertambangan, total merkuri di air dan sedimen sebagian besar berbentuk elemental metalik (Hg^0). Di ekosistem perairan merkuri metalik mengalami penurunan konsentrasi yang sangat lambat. Hal ini disebabkan oleh lemahnya merkuri yang larut dalam air, terlebih lagi akumulasinya di bagian dasar telah menutupi seluruh sedimen. Merkuri metalik akan bertahan dalam waktu yang lama, sehingga untuk dapat dipecahkan merkuri metalik harus dioksidasi dan selanjutnya diangkat sebagai garam anorganik atau larutan kompleks.

Menurut Fergusson dalam Bangun (2005), masuknya logam berat ke dalam perairan dapat terjadi secara alami maupun berasal dari kegiatan antropogenik, secara alami seperti emisi vulkanik dan runoff dari daratan yang berasal dari atmosfer. Sedangkan berdasarkan dari kegiatan antropogenik, logam berat ini dihasilkan dari industri-industri, pertambangan, pertanian, dan pelayaran yang menggunakan logam berat.

Dalam PP No. 82 Tahun 2001 Kelas II tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, kriteria mutu air yang diterapkan untuk parameter logam berat merkuri maksimal 0,002 mg/L. Dari data penelitian diatas, didapati bahwa kandungan merkuri di hulu, tengah dan hilir (permukaan, pertengahan, kedalaman) sungai Tiabo adalah <0,00005 mg/L. Hal itu berarti kandungan merkuri di hulu, tengah dan hilir Sungai Tiabo masih berada di bawah kriteria baku mutu air yang ditetapkan dalam PP. No. 82 Tahun 2001.

Menurut Harahap dalam Rangkuti (2009) mengatakan bahwa adanya sifat logam berat yang mampu mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen, mengakibatkan kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan dalam air. Perpindahan logam berat hasil dari pembuangan akan berpindah dari badan air melalui beberapa proses, yaitu : proses adsorpsi, proses absorpsi, dan proses pengendapan.

Kandungan logam berat diperairan memiliki nilai ambang batas tertentu. Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 adalah sebagai berikut.

1) Kelas I

Merupakan air baku untuk minum atau peruntukan yang lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

2) Kelas II

Merupakan air yang dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan air untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan air yang sama dengan kegunaan tersebut.

3) Kelas III

Merupakan air yang digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan air, untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan air yang sama dengan kegunaan tersebut.

4) Kelas IV

Merupakan air yang digunakan untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Berdasarkan hasil penelitian di lapangan, derajat keasaman di air Sungai Tiabo, Kecamatan Loloda, Kabupaten Halmahera Barat dari hulu sungai, tengah sungai dan hilir sungai didapatkan hasil yaitu paling rendah 7,57 dan hasil paling tinggi yaitu 7,84. Nilai pH tersebut masih dalam batas baku mutu air kelas II yaitu berada dalam nilai 6-9. Nilai pH menjadi faktor yang penting dalam perairan karena nilai pH pada air akan menentukan sifat air menjadi bersifat asam atau basa yang akan mempengaruhi kehidupan biologi di dalam air. Batasan nilai pH telah

ditentukan oleh Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 907/MENKES/SK/VII Tahun 2002 yakni 6,5 – 8,5 n/a. Nilai hasil penelitian derajat keasaman air Sungai Tiabo menunjukkan bahwa kadar pH masih berada dalam nilai ambang batas. Menurut Wardhana (2004), air normal yang memenuhi syarat untuk suatu kehidupan mempunyai pH sekitar 6,5 – 7,5. Nilai pH air yang tidak tercemar biasanya mendekati netral (pH 7) dan memenuhi kehidupan hampir semua organisme air.

Menurut Odum (1993), pada suatu ekosistem perairan, pH air merupakan suatu fungsi kadar CO₂ yang terlarut dalam air, dimana keberadaan pH bisa dikurangi oleh adanya proses fotosintesis dan dinaikkan oleh adanya proses respirasi. Semakin sedikit karbondioksida maka pH air akan semakin tinggi, dan sebaliknya semakin banyak karbondioksida maka pH akan semakin rendah.

Adapun menurut Barus (2004), apabila pH dalam suatu perairan sangat rendah akan mengakibatkan mobilitas berbagai senyawa logam berat yang bersifat racun semakin tinggi dan akan mengancam organisme tersebut dalam kelangsungan hidupnya di perairan. Sebaliknya jika pH dalam suatu perairan tinggi akan mengakibatkan keseimbangan antara amoniak dan amonium dalam air akan terganggu.

Selanjutnya menurut Kristianto (2002), derajat keasaman sangat erat hubungannya dengan kandungan logam berat yang terdapat di dalam sungai, semakin banyak pencemar (kandungan logam berat) yang berada di dalam sungai maka akan mengakibatkan rendahnya nilai pH yang membuat kesadahan air bersifat asam. Derajat keasaman suatu perairan juga dipengaruhi oleh faktor alami dan manusia.

Hasil penelitian dan pengukuran oksigen terlarut di air Sungai Tiabo yang dilakukan dari hulu, tengah dan hilir sungai menunjukkan nilai terendah yaitu 8,13 mg/L dan nilai tertinggi 8,21 mg/L. Nilai hasil penelitian oksigen terlarut di air Sungai Tiabo menunjukkan bahwa nilai DO di Sungai Tiabo masih berada dalam Nilai Ambang Batas menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Kelas II tentang Kriteria Mutu Air.

Menurut Achmad (2004), distribusi oksigen secara vertikal dipengaruhi oleh gerakan air, proses kehidupan di sungai dan proses kimia. Selanjutnya menurut Salmin (2005), perairan dapat dikategorikan sebagai perairan yang baik dan mempunyai tingkat pencemaran yang rendah jika kadar oksigen terlarutnya lebih besar dari 5 mg/L, sedangkan konsentrasi oksigen terlarut pada perairan yang masih alami memiliki nilai oksigen terlarut kurang dari 10 mg/L.

Selanjutnya menurut Sutriati (2011), parameter oksigen terlarut dapat digunakan sebagai indikator tingkat kesegaran air. Oksigen memegang peranan penting sebagai indikator kualitas perairan, karena oksigen terlarut berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik. Karena proses oksidasi dan reduksi inilah maka peranan oksigen terlarut sangat penting untuk membantu mengurangi beban pencemaran pada perairan secara alami. Suatu perairan dapat dikatakan baik dan mempunyai tingkat pencemaran yang rendah jika kadar oksigen terlarutnya lebih besar dari 5 mg/L, sedangkan konsentrasi oksigen terlarut pada perairan yang masih alami memiliki nilai oksigen terlarut kurang dari 10 mg/L (Effendi, 2003).

Oksigen terlarut merupakan jumlah gas oksigen yang diikat oleh molekul air. Temperatur dan garam-garam terlarut dalam air sangat mempengaruhi kemampuan air dalam mengikat oksigen. Hal ini dikarenakan apabila temperatur rendah dan diturunkan oleh salinitas tinggi, dapat menaikkan solubilitas oksigen (Odum, 1993). Ketersediaan oksigen terlarut dalam perairan secara tidak langsung dapat dipengaruhi oleh intensitas cahaya. Hasil proses fotosintesis menghasilkan oksigen yang terlarut dalam perairan. Dimana dalam proses fotosintesis itu, intensitas cahaya sangat berperan penting. Menurut Odum (1993), penyerapan atau pengikatan secara langsung oksigen dari udara melalui kontak antara permukaan air dengan udara merupakan proses yang menghasilkan oksigen terlarut. Dengan itu dapat dikatakan bahwa hasil dari proses fotosintesis tumbuhan dan pengikatan oksigen secara langsung dari atmosfer itu menjadi sumber utama oksigen terlarut dalam perairan. Sedangkan kegiatan respirasi suatu organisme perairan atau melalui pelepasan secara langsung dari permukaan perairan ke udara menyebabkan berkurangnya oksigen terlarut dalam perairan.

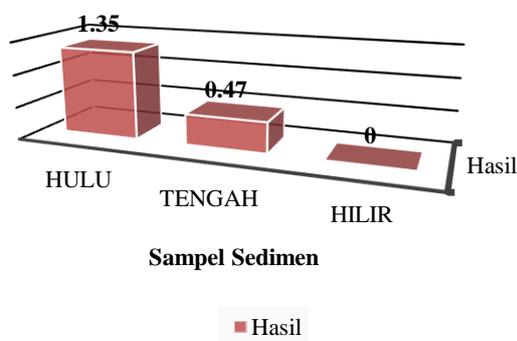
Pengukuran Konsentrasi Merkuri (Hg) di Sedimen Sungai Tiabo

Berdasarkan hasil pengukuran kadar merkuri di sedimen Sungai Tiabo, Desa Bakun Pantai, Kecamatan Loloda, Kabupaten Halmahera Barat yang dilakukan pada tiga titik yaitu hulu, tengah dan hilir sungai, didapatkan nilai kandungan merkuri di hulu sungai sebesar 1,35 mg/L, di tengah sebesar 0,47 mg/L, dan di hilir sungai sebesar <0,05 mg/L. Hasil pemeriksaan konsentrasi kadar merkuri di sedimen Sungai Tiabo, Kecamatan Loloda, Kabupaten Halmahera Barat, ditampilkan dalam Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Konsentrasi Kadar Hg pada Sedimen di Sungai Tiabo

Lokasi	Hasil analisis	Satuan	Nilai normal (mg/L)
Hulu	1.35	mg/L	1,6
Tengah	0.47	mg/L	1,6
Hilir	<0.05	mg/L	1,6

Dari hasil yang diperoleh terdapat adanya pembuangan limbah tambang yang menggunakan bahan kimia merkuri dari aktifitas Penambangan Emas Tanpa Ijin (PETI) yang dilakukan oleh masyarakat yang berpotensi mensuplai merkuri pada sedimen sehingga terjadi peningkatan kadar merkuri. Hasil analisis yang didapat menunjukkan kandungan merkuri pada sedimen di Sungai Tiabo di daerah hulu dan tengah sudah tidak memenuhi nilai ambang batas. Baku mutu logam berat dalam sedimen di Indonesia belum ditetapkan. Sehingga untuk menentukan baku mutunya menggunakan baku mutu yang dikeluarkan oleh IADC/CEDA.



Gambar 2. Diagram Konsentrasi Total Hg di Sedimen Sungai Tiabo Berdasarkan Lokasi dari Hulu, Tengah dan Hilir Sungai

Menurut Rahayu dan Purnavita (2007), ada kecenderungan semakin tinggi pH semakin tinggi konsentrasi merkuri. Mereka menunjukkan bahwa semakin tinggi proses serapan pH maka penurunan jumlah merkuri makin besar. Tingginya konsentrasi merkuri pada area hulu Sungai Tiabo karena pada lokasi ini kondisi tromol paling sering aktif sehingga menambah beban merkuri pada sedimen sungai di area hulu. Masuknya merkuri ke dalam lingkungan perairan dapat berasal dari lingkungan sekitar. Proses peresapan dari bahan-bahan pencemar yang terjadi di dalam tanah dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya pH, Suhu dan ukuran partikel.

Selanjutnya menurut Dahuri (2001), perairan yang sedimentasinya tinggi dapat membahayakan kehidupan di lingkungan perairan, diantaranya sedimen menyebabkan peningkatan kekeruhan air dengan menghalangi penetrasi cahaya yang masuk ke dalam air sehingga dapat mengganggu kehidupan organisme di dalamnya. Sedimen merupakan tempat proses akumulasi logam berat di sekitar perairan. Putranto (2003), pernah melakukan penelitian yang mendapatkan bahwa konsentrasi merkuri dipengaruhi oleh jarak terhadap lindi. Semakin jauh dari lokasi pembuangan akhir PETI, konsentrasi merkuri semakin rendah.

Menurut Singh dalam Sajidah (2019), “Pencemaran logam berat pada sedimen merupakan isu yang berkembang dan menjadi perhatian dunia”. Sedimen merupakan padatan yang mencakup partikel-partikel padatan yang ukurannya besar serta bisa langsung mengalami pengendapan secara otomatis di air bila di diamkan atau tidak diganggu selama beberapa saat. Sedimen memiliki peran penting, salah satunya yaitu mengontrol konsentrasi logam berat yang terakumulasi pada suatu badan perairan. Dalam suatu sistem perairan tempat utama penghasil metil merkuri ialah sedimen.

Seiring dengan waktu proses degradasi alami tidak dapat menghilangkan logam berat pada air sehingga logam berat terakumulasi dalam sedimen. Secara spasial logam berat yang terakumulasi pada sedimen akan terekam serta akan menjadi catatan sementara adanya suatu pencemaran di badan perairan. Dalam sistem perairan khususnya dalam sedimen air, logam berat menjadi bagian dari sistem sedimen air. Distribusi logam berat secara seimbang dan dinamis dikontrol oleh reaksi kimia serta fisika, diatur oleh pH dan menjadi agen tambahan oksidasi dari komponen mineral (Singh, 2005).

Tabel 3. Baku Mutu Logam Berat dalam Sedimen

Logam berat	Satuan	Level target	Level limit	Level tes	Level intervensi	Level bahaya
Merkuri (Hg)	mg/L	0,3	0,5	1,6	10	15

Sumber: IADC/CEDA (1997), Diakses (2021)

Keterangan:

1) Level target

Jika konsentrasi kontaminan yang ada pada sedimen memiliki nilai yang lebih kecil dari nilai level target, maka substansi yang ada pada sedimen tidak terlalu berbahaya bagi lingkungan.

2) Level limit

Jika konsentrasi kontaminan yang ada pada sedimen memiliki nilai maksimum yang dapat ditolerir bagi kesehatan manusia maupun ekosistem.

3) Level tes

Jika konsentrasi kontaminan yang ada pada sedimen berada pada kisaran antara level limit dan level tes, maka dikategorikan sebagai tercemar ringan.

4) Level intervensi

Jika konsentrasi kontaminan yang ada pada sedimen berada pada kisaran nilai antara level tes dan level intervensi, maka dikategorikan sebagai tercemar sedang.

5) Level bahaya

Jika konsentrasi kontaminan berada pada nilai yang lebih besar dari baku mutu level bahaya, maka harus segera dilakukan pembersihan sedimen.

Pertambangan emas rakyat yang menggunakan merkuri merupakan salah satu indikator penyebab dari peningkatan merkuri yang ada di perairan. Proses pengolahan biji emas yang melalui proses amalgamasi dimana proses penggilingan dan proses pembentukan amalgam dilaksanakan bersamaan di dalam suatu amalgamator yang disebut tromol. Umumnya merkuri yang dimasukkan ke dalam tromol berkurang pada saat akhir proses, hal ini disebabkan karena pada tahap pengolahan terbawa pada ampas (tailing). Pada pengolahan tromol, material yang tercecer pada proses tersebut diolah kembali dalam tong dan diperkirakan tidak lagi mengandung emas. Setelah material dianggap sudah tidak mengandung emas, tetapi masih mengandung merkuri, oleh para penambang langsung membuangnya ke tanah sekitar lokasi penambangan.

Tailing secara alamiah terdiri dari beraneka ragam jenis dan biasanya dibuang dalam bentuk bubur (*sllury*) dengan kandungan air tinggi. *Tailing* kemungkinan juga disusun oleh bahan-bahan kering berbutir kasar berbentuk fraksi mengapung yang berasal dari pabrik pengolahan. Pembuangan *tailing* merupakan masalah besar bagi lingkungan, yang menjadi lebih serius apabila keberadaannya berkaitan dengan peningkatan eksploitasi dan akibat pengolahan bahan galian logam. Dampak terhadap lingkungan atau ekologi terutama berupa pencemaran air oleh bahan-bahan padat, logam berat, kimiawi, senyawa belerang dan lain-lain.

Menurut Putranto (2003), terdapatnya merkuri di perairan dapat disebabkan dua hal, pertama oleh perindustrian seperti pabrik cat, kertas, peralatan listrik, *chlorine* dan *coustic soda*; kedua oleh alam itu sendiri melalui proses pelapukan batuan dan letusan gunung merapi. Kadar merkuri yang tinggi pada perairan umumnya diakibatkan oleh buangan industri dan akibat sampingan dari penggunaan senyawa-senyawa merkuri di bidang pertanian. Merkuri dapat berada dalam bentuk metal, senyawa-senyawa anorganik dan organik.

Walaupun tingkat konsentrasi merkuri pada air dan sedimen di tempat lain belum melampaui nilai kontaminasi, diperkirakan merkuri yang terbawa oleh sedimen dari hulu (daerah pertambangan) dapat terakumulasi di daerah muara. Hal ini disebabkan merkuri yang terendap bersama sedimen di sepanjang sungai dapat membentuk “*hot spot*” kontaminasi antara estuari dan daerah kegiatan pertambangan, terutama pada aliran sungai yang tidak terlalu deras atau pada topografi dasar sungai yang landai. Proses ini akan terbawa sepanjang waktu dan menyebabkan terjadinya peningkatan konsentrasi di daerah estuari.

Merkuri yang terikat secara kimia dengan partikel sedimen melalui proses sedimentasi, berpindah melalui air dari daerah pertambangan rakyat menuju daerah pesisir dan laut melalui sungai. Dalam proses sedimentasi di aliran sungai, sebagian partikel yang mengikat merkuri terendap di sepanjang aliran sungai. Hal ini yang menyebabkan merkuri di daerah tersebut meningkat. Dari hasil penelitian ini dapat dilihat bahwa dengan adanya penambangan emas tanpa ijin yang menggunakan proses amalgamasi, selain dapat melepas merkuri ke udara juga dapat melepaskan merkuri ke lingkungan perairan sungai

melalui buangan *tailing* (Limbong, 2005). Logam merkuri yang masuk ke lingkungan perairan, dalam hal ini masuk ke sungai dapat terendap di sedimen. Hal ini dapat dilihat dari hasil penelitian yang di peroleh. Pada sampel sedimen Sungai Tiabo dapat ditemui konsentrasi merkuri yang bervariasi, sampel yang diambil di hulu Sungai Tiabo dekat daerah pertambangan memiliki konsentrasi merkuri yang tinggi. Sedangkan sampel sedimen yang diambil di tengah dan hilir Sungai Tiabo memiliki konsentrasi merkuri yang lebih rendah dibandingkan dengan yang di hulu sungai dekat lokasi pertambangan.

Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pasal 1 ayat (4) menyebutkan bahwa "Pencemaran lingkungan hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia dengan melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan". Menurut Santosa (2013), polutan merupakan bahan penyebab pencemaran. Pencemaran polutan di lingkungan yang melebihi ambang batas akan mengakibatkan penurunan kualitas serta daya dukung lingkungan dan mengganggu kehidupan organisme. Menurut Darmono dalam Supriyadi (2016), terjadinya cemaran logam berat pada lingkungan erat kaitannya dengan penggunaan logam berat oleh manusia.

Menurut Alina (2012), merkuri mempunyai keunikan yaitu mampu bersatu dengan unsur lain yang membentuk organik maupun anorganik. Paparan peningkatan kadar logam merkuri organik dan anorganik dapat merusak otak, ginjal dan janin yang sedang berkembang. Uap merkuri sangat berbahaya bagi tubuh manusia karena sangat beracun. Tekanan uap merkuri sangat kecil dan dengan cepat uap merkuri meninggalkan permukaan yang terbuka. Uap merkuri yang terhirup segera masuk ke dalam darah dan apabila sampai ke otak, akan merusak jaringan otak (Rorong, 2002). Senyawa merkuri organik meliputi merkuri benzoat, merkuri sianida, merkuri dimentilditiokarbamat, merkuri laktat, merkuri oksisianida, merkuri salisilat, merkuri stearat, merkuri tiosianat, merkuri asetat, dan merkuri asetelida.

Sebagian besar merkuri organik sangat beracun. Ada dua jenis senyawa merkuri organik yaitu dimetil merkuri (CH₃)₂Hg dan metil merkuri. Senyawa dialkil merkuri halogen dan nitrat dapat menumpuk di jaringan otak dan dapat merusak otak. Menurut Hawley dalam Rorong (2002), bakteri dalam air dapat mengubah merkuri anorganik

menjadi metil merkuri yang beracun. Dalam tubuh manusia merkuri dapat mengandung enzim. Merkuri bereaksi dengan tiosulfhidrin (thio-sh) dalam protein enzim sehingga menghasilkan reaksi kimia penting bagi tubuh. Kasus Minamata di Jepang (1953-1965) banyak menderita penyakit aneh dan kurang lebih 40 orang meninggal. Hal ini karena mereka mengkonsumsi ikan dan kerang yang mengandung merkuri. Di Nigata Jepang ada kurang lebih 100 orang menderita akibat keracunan merkuri dan 6 orang yang meninggal dunia. Keracunan merkuri di Irak menelan korban 400 orang meninggal karena mengkonsumsi daging yang terkontaminasi merkuri (Achmad dalam Rorong, 2002).

Menurut Sembel (2001), keracunan merkuri pada orang-orang di Minamata karena mengkonsumsi ikan yang mengandung merkuri organik atau metil merkuri (CH₃Hg) dengan konsentrasi yang tinggi. Menurut Goldwater dan Stafford dalam Rorong (2002) merkuri dapat masuk ke dalam tubuh organisme perairan melalui tiga cara, yaitu melalui makanan, difusi permukaan kulit dan insang, kemungkinan paling besar yaitu melalui makanan. Dalam suatu rantai makanan, fitoplankton akan dimakan ikan, dan ikan dapat dikonsumsi oleh manusia. Setelah merkuri masuk ke dalam tubuh manusia, maka dalam tubuh akan terjadi proses kontaminasi absorpsi, biotransformasi dan reaksi keracunan (Suwetja, 2001). Toksisitas merkuri yaitu kation merkuri Hg²⁺, sedangkan solubilitas dan biotransformasi serta penyebaran dalam jaringan tubuh dipengaruhi oleh valensi anion. Uap merkuri dapat berdifusi melalui membran alveolar dan larut dalam lipida yang dapat berhubungan dengan sel-sel darah merah dan sistem saraf pusat (CNS) atau sistem pusat neuron (Sembel, 2001). Keracunan merkuri apabila ada uap Hg⁰ dan debu Hg⁰ yang terhirup melalui jalur pernafasan atau terabsorpsi masuk ke dalam tubuh karena kontak dengan kulit, apalagi bila masuk melalui saluran pencernaan (Arini, 2001).

Dalam biosfer merkuri dapat beracun karena konversi oleh bantuan bakteri menjadi metil merkuri. Metilasi merkuri dalam sedimen terjadi melalui mediasi reaksi biologi (Rorong, 2002) dan lebih banyak terjadi pada sedimen anoksigen atau proses anaerob. Bakteri pemetilasi baik dalam air laut maupun air tawar adalah bakteri pereduksi sulfat. Menurut Ginting dalam Rorong (2002) merkuri terdiri dalam tiga keadaan yaitu: Hg⁰ (metal), Hg¹⁺ (merkuri monovalen) dan Hg²⁺

(merkuri bivalen). Merkuro dan merkuri dapat membentuk senyawa anorganik dan organik (organometal). Senyawa merkuri anorganik meliputi: $HgHAsO_4$, $HgBr_2$, $BaBr_2$, Hgl_2 , Bal_2 , H_2O , $HgCl_2$, Hgl_2 , $2CuI$, HgF_2 , $Hg(NO_3)_2$, HgO , K_2HgI , Hg_2CrO_4 , Hgl atau Hg_2I_2 , $HgNO_3 \cdot 2H_2O$, Hg_2O , Hg_2SO_4 , $HgNH_2Cl$, $HgCr_2O$, $HgSe$. Semua senyawa merkuri anorganik sangat beracun dan dapat masuk melalui pernafasan dan penyerapan kulit dengan batas toleransi $0,05 \text{ mg/m}^3$ dalam udara (Hawley dalam Rorong, 2002).

Menurut Achmad (1992), hanya senyawa merkuri anorganik yang larut dalam alkohol dan air yang dapat menyebabkan keracunan. Senyawa merkuri anorganik yang dapat larut dalam alkohol dan air adalah merkuri asetat, merkuri barium iodida, merkuri fluorida. Senyawa merkuri yang tidak larut dalam air, alkohol dan eter adalah merkuri kuprous, iodida, merkuri fosfat, merkuri sulfat, merkuri sulfida hitam, merkuri sulfida merah, merkuri bromida, merkuri klorida, merkuri kromat, merkuri (I) oksida. Merkuri (II) oksida digunakan sebagai salah satu komponen salep mata, sedangkan merkuri (II) nitrat digunakan pada manufaktur topi yang menyebabkan banyak karyawan pabrik topi menderita penyakit gigi ompong, badan gemetar dan menderita gangguan jiwa. Merkuri anorganik cenderung berakumulasi di hati (*hepar*) dan dalam ginjal, jumlahnya sedikit dan tidak terlalu berbahaya tetapi bila dalam jumlah besar akan sangat berbahaya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada sampel air yang diuji tidak terdeteksi adanya kadar merkuri. Konsentrasi merkuri di air Sungai Tiabo dari hulu, tengah dan hilir adalah $<0,00005 \text{ mg/L}$. Nilai derajat keasaman terendah adalah 7,57 dan tertinggi adalah 7,84. Nilai oksigen terlarut terendah adalah 8,13 mg/L dan tertinggi adalah 8,21 mg/L. Hasil penelitian merkuri, derajat keasaman, dan oksigen terlarut untuk semua titik sampel air masih di bawah batas baku mutu yang ditetapkan berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Kelas II yaitu merkuri (Hg) ; $0,002 \text{ mg/L}$, derajat keasaman (pH) ; 6-9, dan oksigen terlarut (DO) ; 4 mg/L .
2. Konsentrasi merkuri pada sampel sedimen Sungai Tiabo di area hulu adalah $1,35 \text{ mg/L}$, area

tengah adalah $0,47 \text{ mg/L}$, dan area hilir $<0,05 \text{ mg/L}$. Konsentrasi sedimen area hulu dan tengah dari Sungai Tiabo berada pada kisaran level limit dan level tes, maka dikategorikan sebagai tercemar ringan. Baku mutu logam berat dalam sedimen berdasarkan *International Association of Dredging Association/Central Dredging Association* (IADC/CEDA 1997) yaitu $1,6 \text{ mg/L}$.

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian-penelitian sejenis dalam rangka membuat rekomendasi-rekomendasi dari kalangan akademisi guna pemantauan tingkat kontaminasi merkuri di lingkungan, serta adanya penemuan teknologi yang baru dan lebih ramah lingkungan untuk dipakai dalam proses amalgam dan penanganan limbah cair.
2. Adanya perhatian yang lebih serius dari Pemerintah Kabupaten Halmahera Barat untuk memberikan pendampingan bagi para penambang dan pengelola dalam upaya mendesain pengelolaan aktivitas masyarakat pertambangan dalam hal ini masyarakat kecil yang lebih baik, terkontrol dan berkelanjutan, misalnya mengganti teknik penambangan emas yang menggunakan merkuri dengan teknik penambangan emas yang ramah lingkungan atau menciptakan dan memberikan lapangan kerja baru yang layak.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, R. 2004. Kimia Lingkungan. Andi: Jakarta.
- Alina. 2012. Heavy Metals (Mercury, Arsenic, Cadmium, Plumbum) In Selected Marine Fish And Shellfish Along the Straits of Malacca : International Food Research Journal, 19(1): 135-140.
- Andrie, dkk. 2011. Studi Penurunan Kadar Bod, Cod, Tss Dan pH Limbah Pabrik Tahu. Program Studi Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Unlam. Kalimantan Selatan.
- Arini. 2001. Antihipertensi. Dalam : Sulistia G. Ganiswarna, dkk., Editor : Farmakologi dan Terapi. Edisi 4. Jakarta : Bagian Farmakologi FKUI. 315-342.
- Baker, L. & Denyes, M. J. 2004. Prediktor Perawatan Diri Pada Remaja Dengan Cystic Fibrosis: Tes Teori Orem Tentang perawatan Diri Dan Defisit Perawatan Diri. Jurnal keperawatan Anak. Vol. 23. Hal. 37-48. 2004.

- Bangun, J.M. 2005. Kandungan logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) dalam air, sedimen dan organ tubuh ikan sokang di perairan ancil, teluk jakarta. Skripsi. Departemen manajemen sumber daya perairan fakultas perikanan dan ilmu kelautan. IPB. Bogor.
- Barus, T.A. 2004. Pengantar Limnologi Studi Tentang Ekosistem Sungai dan Danau. Fakultas MIPA. USU. Medan.
- Dahuri. 2001. Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air. Kanisius. Jogjakarta.
- Kristianto, P. 2002. Ekologi Industri, Penerbit ANDI. Jogjakarta.
- Lasut, M. T., E. N. Edinger and Y. Yasuda. 2005. Contamination of Mercury in Marine Environment of Buyat Bay, north Sulawesi-Indonesia, and Its Potential Impact to Human. Conference Proceeding; International Seminar; Mining, Environment, and Sustainable Development: A Lesson from the Gold Mining Controversy in Buyat Bay, North Sulawesi, Indonesia. Pp. 257-271.
- Limbong. 2005. Pengelolaan Limbah Cair Mengandung Amoniak dengan Gelembung CO₂. Tesis. Program Magister Ilmu Lingkungan. Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro. Semarang.
- Lingkubi, O. 2004. Upaya Pemerintah dalam Mengatasi dampak Pencemaran Pertambangan Rakyat di Kecamatan Dimembe. Makalah disampaikan pada seminar Dampak Penggunaan Merkuri dalam Penambangan Emas terhadap Kesehatan Manusia.
- Lodeniuss, M. O. Malm., 1998. Mercury In Amazon Rev. Environ Contam Toxicol.
- Odum, E.P. 1993. Fundamental of Ecology. W.B. Saunder Com. Philadelphia 125 pp.
- Putranto. 2003. Pencemaran Logam Berat Merkuri (Hg) Pada Air Tanah. Jurnal Teknik. Volume 32 (1).
- Rahayu, L.H & Purnavita. 2007. Optimasi Pembuatan Kitanan Dari Kitin Limbah Cangkang Rajungan (Portunus Pelagius) Untuk Adsorben Ion Logam Merkuri. Jurnal Reaktor. Vol 11. No 1. Juni 2007. Hal 45-49.
- Rompas, R.M. 1992. Toksikologi Kelautan. Bahan Kursus Pemantauan Pencemaran Laut. Kerja sama UNSRAT, P3O-LIPI dan UNESCO.
- Rorong, J. A. 2002. Dampak Merkuri Terhadap Kesehatan Manusia. Jurnal Kedokteran Yarsi. Vol. 10 (2) Mei-Agustus 2002, Jakarta.
- Sajidah. 2019. Analisis Kandungan Merkuri (Hg) Pada Air dan Sedimen Sungai Geumpang, Pidie, Aceh. Skripsi. 2019.
- Salmin. 2005. "Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) sebagai Salah Satu Indikator Untuk Menentukan Kualitas Perairan". Jurnal Oseana, Vol. 30. Hal. 21-26.
- Santosa. 2013. "Characteristics of extrudate from four varieties of corn with aquadest addition." Indonesian Journal of Agriculture. Vol.1.2 No. 85-94.
- Sembel. 2001. Toksikologi Lingkungan. Dampak Pencemaran dari Berbagai Bahan Kimia dalam Kehidupan Sehari-hari. Penerbit Andi. Jogjakarta.
- Singh, J. 2005. Curvilinear Effects of Consumer Loyalty Determinants In Relation Exchange. Journal of Marketing Research. Vol. 42. Hal. 96-108.
- Sualang, F. H. 2001. Kondisi Permasalahan Pertambangan Emas Terhadap Lingkungan Hidup di Provinsi Sulawesi Utara. Makalah Disampaikan Pada Seminar Sehari "Dampak Penambangan Emas Dengan Menggunakan Merkuri Terhadap Kesehatan Manusia". Manado.
- Supriyadi. 2016. Analisis Kadar Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd) dan Merkuri (Hg) pada Wisata Pantai Akkarena dan Tanjung Bayang Makassar. Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Alauddin. Makassar.
- Sutriati, A. 2011. "Penilaian Kualitas Air Sungai dan Potensi Pemanfaatannya (Studi Kasus Sungai Cimanuk)". Jurnal Sumber Daya Air, Vol. 7. Hal. 61-76.
- Suwetja. 2001. Penentuan Beberapa Jenis Ikan dengan HPLC. Jurnal. Fakultas Perikanan. Vol. 1. No. 3. 2001.
- Wardhana, W. A. 2004. Dampak Pencemaran Lingkungan. Penerbit ANDI. Jogjakarta.