

HASIL PENELITIAN
PUSAT STUDI LINGKUNGAN HIDUP & KEPENDUDUKAN
DANA PNBP TAHUN ANGGARAN 2012



SEBARAN SPASIAL DAN TEMPORAL KANDUNGAN
MERKURI
PADA LOKASI PERTAMBANGAN EMAS TRADISIONAL
DI KABUPATEN BONE BOLANGO

Dr. Fitryane Lihawa, M.Si
Dr. Marike Mahmud, ST.M.Si

PUSAT STUDI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEPENDUDUKAN
UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO
SEPTEMBER 2012

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan sebaran spasial temporal konsentrasi merkuri di dalam air dan sedimen akibat penambangan tradisional ditinjau pada perubahan jarak dan debit air di aliran Sungai Tulabolo, menyusun suatu hubungan korelasi kuantitatif jumlah konsentrasi merkuri di dalam air dan sedimen akibat penambangan tradisional berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhinya di Sungai Tulabolo sebagai dasar pengelolaan dan monitoring kualitas air di Kecamatan Suwawa Kabupaten Bone Bolango, menyusun strategi pengelolaan lingkungan akibat penambangan tradisional di ekosistem aliran Sungai Tulabolo. Penelitian ini berlokasi di penambangan emas tradisional yang berada di Kecamatan Suwawa Timur Kabupaten Bone Bolango yaitu pada Titik Bor 17 di hulu Sub DAS Tulabolo dan lokasi ke dua terdapat di Daerah Mohutango. Pengambilan sampel air dan sedimen dilakukan di Sungai Mohutango dan Sungai Tulabolo. Analisis merkuri dilakukan di laboratorium Perikanan Provinsi Gorontalo.

Hasil dari penelitian adalah sebaran spasial dan temporal kandungan merkuri di air dan sedimen serta rekomendasi pengelolaan pencemaran merkuri di lokasi pertambangan tradisional.

Kata Kunci:

Sebaran spasial, temporal, merkuri, penambang emas tradisional.

LEMBAR PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : Sebaran Spasial dan Temporal Kandungan Merkuri
Pada Lokasi Pertambangan Emas Tradisional di
Kabupaten Bone Bolango
1. Ketua Peneliti :
- a. Nama Lengkap : Dr. Fitryane Lihawa.M.Si
 - b. Jenis Kelamin : Perempuan
 - c. NIP : 19691209 199303 2 001
 - d. Jabatan Struktural : -
 - e. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
 - f. Fakultas/Jurusan : MIPA/Jurusan Fisika
 - g. Unit Kerja : Universitas Negeri Gorontalo
 - h. Alamat Surat : Jl. Jend. Sudirman No. 6 Kota Gorontalo
 - i. Telepon/Faks : (0435) 821125/ 821752
 - i. E-mail : fitryanelihawa@yahoo.co.id
2. Masa pelaksanaan penelitian :
- Mulai : 1 April 2012
 - Berakhir : 1 Oktober 2012
2. Anggaran yang diterima : Rp. 15.875.000,- (Lima Belas Juta Delapan Ratus Tujuh Puluh Lima Ribu Rupiah)

Mengetahui :
Kepala PSLK

Gorontalo, 1 Agustus 2012
Ketua Peneliti

Yanti Saleh, S.P.M.Pd.
NIP.19710424 2005 12 2 002

Dr. Fitryane Lihawa M.Si
NIP.19691209 199303 2 001

Menyetujui
a.n.Ketua
Sekretaris,

Dr.Harto Malik, M.Hum
NIP. 19661004 199303 1 010

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAKSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I. PENDAHULUAN	
1. Latar Belakang	1
2. Identifikasi Masalah.....	5
3. Pembatasan Masalah.....	6
4. Rumusan Masalah.....	7
5. Tujuan Penelitian	7
6. Manfaat Penelitian	8
BAB II. KERANGKA TEORI DAN PERUMUSAN HIPOTESIS	
2.1. Deskripsi Teoritik	9
2.1.1. Konsep Penambangan Emas Tradisional	9
2.1.2. Pencemaran Merkuri	11
2.2. Kerangka Berpikir.....	12
2.3. Hipotesis Penelitian.....	16
BAB III. METODE PENELITIAN	
3.1. Metode Penelitian	17
3.1.1. Jenis Data Dan Teknik Pengukuran.....	17
3.1.2. Variabel Penelitian.....	18

3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	18
3.3. Tahapan Penelitian.....	19
3.4. Teknik Pengambilan Sampel.....	22
3.4.1. Teknik Pengambilan Sampel.....	22
3.4.2. Pengambilan Sampel Sedimen Dasar dan TSS.....	24
3.5. Instrumen Penelitian.....	27
3.5.1. Bahan Penelitian.....	27
3.5.2. Alat Penelitian.....	27
3.6. Teknik Pengumpulan Data.....	28
3.6.1. Pengumpulan Data Debit.....	28
3.6.2. Pengumpulan Data Konsentrasi Merkuri.....	31
3.6.3. Pengambilan Sampel di dalam Sedimen Dasar dan Sedimen Melayang (<i>Suspended Load</i>) untuk pemeriksaan merkuri.....	32
3.7. Teknik Analisis Data.....	34

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Sebaran spasial temporal konsentrasi merkuri hulu hilir pada ekosistem sungai pada masing-masing kegiatan penambangan tradisional.....	36
4.1.1. Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri Pada Sedimen Dasar Akibat Kegiatan Penambangan Emas Titik Bor 17.....	36
4.1.2. Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri Pada Sedimen Dasar Akibat Kegiatan Penambangan Emas Tradisional Daerah Mophutango.....	38
4.1.3. Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri Pada Sedimen Melayang Akibat Kegiatan Penambangan Emas Titik Bor 17.....	40
4.1.4. Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri Pada Sedimen Melayang Akibat Kegiatan Penambangan Emas Tradisional Daerah Mophutango.....	42
4.1.5. Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri Pada Air	

Akibat Kegiatan Penambangan Emas Titik Bor 17.....	43
4.1.6. Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri Pada Air Akibat Kegiatan Penambangan Emas Daerah Mohutango.....	45
4.2. Pengaruh Berbagai Faktor terhadap Hasil Konsentrasi Merkuri di Air dan Sedimen	47
4.2.1. Pengaruh jarak terhadap rata-rata konsentrasi merkuri	47
4.2.2. Pengaruh Debit Terhadap Konsentrasi Merkuri.....	56
4.3. Pengaruh Aktivitas Penambangan Terhadap Limbah	61
4.4. Implikasi Strategi Pengelolaan Ekosistem Sungai Tulabolo Akibat Penambangan Emas Tradisional.....	66
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan.....	71
5.2. Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA.....	74
LAMPIRAN.....	77

DAFTAR TABEL

Tabel		
3.1	Jenis data dan teknik pengukuran	17
3.2	Penentuan bagian alur sungai yang lurus.....	29
3.3	Penentuan banyaknya jalur lintasan pelampung.....	29
4.1	Konsentrasi merkuri pada sedimen dasar di Bor 17.....	36
4.2	Konsentrasi merkuri pada sedimen dasar di Daerah Mohutango.....	38
4.3	Konsentrasi merkuri pada sedimen melayang di Bor 17.....	40
4.4	Konsentrasi merkuri pada sedimen melayang di Daerah Mohutango.....	42
4.5	Konsentrasi merkuri pada air akibat di Bor 17.....	44
4.6	Konsentrasi merkuri dalam air di Daerah Mohutango.....	46
4.7	Pengaruh jarak terhadap konsentrasi merkuri rata-rata pada sedimen dasar	48
4.8	Persamaan regresi hubungan antara jarak dengan konsentrasi merkuri rata-rata pada sedimen dasar	49
4.9	Unstandarized beta koefisien	49
4.10	Pengaruh jarak terhadap konsentrasi merkuri rata-rata pada sedimen melayang.....	52
4.11	Persamaan regresi hubungan antara jarak dengan konsentrasi merkuri rata-rata Pada sedimen melayang.....	53
4.12	Unstandarized beta koefisien	53
4.13	Pengaruh jarak terhadap konsentrasi merkuri rata-rata pada air	53
4.14	Persamaan regresi hubungan antara konsentrasi merkuri rata-rata di dalam air	55
4.15	Unstandarized beta koefisien	55
4.16	Hasil perhitungan debit.....	56
4.17	Konsentrasi merkuri rata-rata di dalam sedimen melayang pada berbagai	

debit air.....	59
4.18 Persamaan Regresi antara debit dan TSS terhadap konsentrasi merkuri Di sedimen melayang.....	61
4.19 Koefisien Unstandarisasi β antara debit dengan TSS.....	61
4.20 Hasil prediksi beban limbah pada masing-masing sampling.....	62
4.21 Persamaan regresi antara konsentrasi merkuri pada sedimen dasar dengan beban limbah.....	63
4.22 Unstandarized beta koefisien pada sedimen dasar dengan beban limbah.....	63
4.23 Persamaan regresi antara konsentrasi merkuri pada sedimen melayang dengan beban limbah.....	64
4.24 Unstandarized beta koefisien pada sedimen melayang dengan beban limbah..	65
4.25 Persamaan regresi hubungan antara konsentrasi merkuri di dalam air dengan beban limbah.....	66
4.26 Unstandarized beta koefisien di dalam air dengan beban limbah.....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar	
2.1	Proses pengolahan batuan emas pada pertambangan tradisional.....10
3.1	Diagram Alir Penelitian.....21
3.2	Peta Lokasi Penelitian.....26
4.1.	Pola konsentrasi merkuri di dalam sedimen dasar di Bor 17.....37
4.2.	Pola konsentrasi merkuri pada sedimen dasar di Daerah Mohutango.....39
4.3	Pola konsentrasi merkuri pada sedimen melayang di Bor 17.....41
4.4	Pola konsentrasi merkuri pada sedimen melayang di Daerah Mohutango.....43
4.5	Pola konsentrasi merkuri dalam air di Bor 17.....45
4.6	Pola konsentrasi merkuri di dalam air di Daerah Mohutango.....46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

1. Gambar kegiatan penambangan emas tradisional di Sub Das Tulabolo.....77

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang Masalah

Air merupakan kebutuhan mutlak bagi kehidupan manusia. Kenyataannya tidak ada makhluk hidup yang tidak membutuhkan air. Semakin berkembangnya kota akibat pertumbuhan penduduk akan mengakibatkan bertambahnya kebutuhan air sebagai penunjang kegiatan.

Dewasa ini, air menjadi masalah yang perlu mendapat perhatian yang seksama dan cermat. Untuk mendapatkan air yang baik, sesuai standar tertentu, saat ini air menjadi barang yang mahal karena air sudah banyak tercemar oleh bermacam-macam limbah dari hasil kegiatan manusia. Salah satu kegiatan yang memberi dampak terhadap kualitas air adalah penambangan emas tradisional. Penambangan emas tradisional menghasilkan limbah yang masih mengandung logam berat merkuri yang ketika limbah tersebut dibuang akan mencemari sungai yang dialirinya.

Sampai saat ini, manusia masih memerlukan dukungan hasil sumberdaya pertambangan dan komoditi tambang untuk mempertahankan serta meningkatkan kesejahteraannya. Keberadaan pertambangan secara signifikan merupakan sektor yang strategis dalam kerangka pembangunan umat manusia. Sumberdaya mineral merupakan satuan tatanan geologis sebagai bagian dari ekosistem. Keberadaan sumberdaya pertambangan dapat berbentuk logam dan non logam serta dalam kualitas dan kuantitasnya. Bagi Indonesia, keberadaan sektor pertambangan masih strategis dan bagi daerah yang kaya sumberdaya pertambangannya merupakan tulang punggung pendapatan daerah.

Permasalahan yang ada di wilayah Taman Nasional Nani Wartabone, berupa pembukaan lahan, penebangan hutan serta terdapatnya berbagai kegiatan antara lain penambangan emas rakyat dan adanya pemukiman di sepanjang sungai tersebut. Hal ini berpengaruh terhadap perubahan kualitas air. Dampak lingkungan lainnya yang disebabkan kegiatan pertambangan adalah berubahnya bentang alam, hilangnya vegetasi

dan flora yang ada di atasnya. Akibat terbukanya lahan akan meningkatkan erosi dan sedimentasi di sungai tersebut.

Secara umum penambangan emas di Provinsi Gorontalo merupakan salah satu potensi Sumber Daya Alam (SDA) yang memberikan prospek yang lebih baik dalam peningkatan taraf ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Peningkatan ekonomi ini terutama dalam hal pendapatan, penyerapan tenaga kerja dan peluang kegiatan baru, di luar sektor pertanian dan perkebunan. Jumlah tenaga kerja di lapangan diperoleh keterangan bahwa jumlah tenaga kerja pada penambangan rakyat di Kecamatan Suwawa 1000 orang. Jumlah ini berfluktuasi tergantung hasil emas yang ditemukan. Pada tahun 2006 pekerja tambang untuk Daerah Mohutango berkisar 6000 orang (Balihristri, 2008)

Selain memberi dampak positif, penambangan emas tradisional juga menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Dampak negatif yang diperkirakan muncul akibat penambangan tradisional, antara lain penurunan kualitas lingkungan disebabkan eksploitasi yang berlebihan dan metode pengelolaannya mengabaikan aspek kelestarian fungsi lingkungan. Penurunan kualitas lingkungan yang dimaksud di antaranya pencemaran tanah, air dan badan air seperti sungai dan laut serta pencemaran udara yang pada akhirnya berdampak kepada kesehatan masyarakat. Padahal lingkungan hidup memiliki empat fungsi yaitu 1) penyedia jasa-jasa pendukung kehidupan; 2) penyedia jasa-jasa kenyamanan; 3) penyedia sumberdaya alam dan 4) penerima limbah.

Pertambangan emas menggunakan merkuri amalgam untuk memisahkan emas dari bahan mentah. Pada proses ini akan menghasilkan air limbah yang mengandung merkuri, kemudian mencemari perairan sehingga membahayakan kehidupan di air (Sutomo, 1998). Perairan sungai, danau dan laut memperoleh pencemaran merkuri dari air limbah industri yang menggunakan merkuri. Partikel yang mengandung garam merkuri (Hg^0) dan merkuri organik masuk ke perairan dan mengendap bersama sedimen, kemudian mengalami oksidasi reduksi. Pada sedimen terdapat bakteri anaerobik yang dapat merombak methane dan menghasilkan metil kobalamine melalui proses dekomposisi di perairan. Metil kobalamine adalah senyawa yang dapat merubah merkuri anorganik menjadi metil merkuri (CH_3Hg) di air yang netral atau basa. Metil merkuri

yang berakumulasi melalui proses rantai makanan (*food chain*) dari mulai plankton, zooplankton, ikan kecil dan ikan besar. Akhirnya ikan terkontaminasi metil merkuri yang membahayakan kesehatan manusia (Sutomo, 1998).

Penelitian yang dilakukan oleh Husodo, *et al*, (2005), yaitu adanya bukti kontaminasi merkuri di lokasi penambangan emas Kulonprogo, pada sedimen sungai dan biota yang hidup di sungai, yang melintasi Desa Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulonprogo. Penelitian yang dilakukan Roeroe (2000) di Teluk Buyat menunjukkan konsentrasi merkuri rata-rata di dalam kerang berkisar 0,5019 - 2,1529 ppm, dalam sedimen berkisar 0,1150 - 1,2341 ppm. Penelitian di Ponce Enriquez Ecuador menunjukkan konsentrasi merkuri di sedimen dasar berkisar 0,1 - 13 mg/kg, partikel tersuspensi berkisar 0,01 - 9,61 mg/kg dan pada mineral logam rata-rata berkisar 0,01 - 5,0 mg/kg. Ukuran dan beban partikel kontaminan dalam lingkungan perairan akan dipindahkan dalam bentuk partikel tersuspensi di dalam sungai. Konsentrasi dari logam berbahaya yang berada di sedimen dasar akan membahayakan biota sebagai akibat dari hasil remobilisasi dari metilasi dan proses lain yang ada di dalam air (Appleton, *et al*, 2001).

Penelitian yang dilakukan oleh Panda, *et al*, (2003) di Sungai Kahayan menunjukkan bahwa merkuri di sepanjang Sungai Kahayan mengancam penduduk yang mengkonsumsi ikan di sungai tersebut. Akumulasi merkuri tertinggi dalam sedimen sungai (0,336 ug) dikutip dalam daging *M.numerus* (0,303 ug/g \pm 0,342) dan air (0,058 mg/l). Asupan merkuri mingguan yang dapat ditoleransi menurut WHO adalah 24,4 ug sehari jika dimungkinkan seseorang mengkonsumsi 100g daging *M.Numerus* sehari, 30,3 ug/g yang masuk ke tubuh. Dengan demikian kegiatan tambang tradisional yang berada di Sub DAS Tulabolo memerlukan penelitian yang mendalam yaitu masalah kegiatan tambang tradisional akan memberi dampak pencemaran terhadap ekosistem aliran sungai Tulabolo dan mengancam penduduk yang mengkonsumsi ikan atau air dari sungai tersebut.

Salah satu dampak negatif yang ditimbulkan akibat penambangan emas oleh rakyat, adalah pencemaran merkuri hasil proses pengolahan emas secara amalgamsi.

Pada proses amalgamasi emas yang dilakukan oleh rakyat secara tradisional, merkuri dapat terlepas ke lingkungan pada tahap pencucian dan penggarangan. Pada proses pencucian, limbah yang umumnya masih mengandung merkuri dibuang langsung ke badan air. Hal ini disebabkan merkuri tersebut tercampur/terpecah menjadi butiran-butiran halus, yang sifatnya sukar dipisahkan pada proses penggilingan yang dilakukan bersamaan dengan proses amalgamasi, sehingga pada proses pencucian merkuri dalam ampas terbawa masuk ke sungai. Di dalam air, merkuri dapat berubah menjadi senyawa organik metil merkuri atau fenil merkuri akibat proses dekomposisi oleh bakteri. Selanjutnya senyawa organik tersebut akan terserap oleh jasad renik yang selanjutnya akan masuk dalam rantai makanan dan akhirnya akan terjadi akumulasi dan biomagnifikasi dalam tubuh hewan air seperti ikan dan kerang, yang akhirnya dapat masuk ke dalam tubuh manusia yang mengkonsumsinya (Widhiyatna, 2005).

Penambangan emas tradisional di Kecamatan Suwawa dilakukan di beberapa tempat yang dinamakan Titik Bor 17 dan Titik Bor Daerah Mohutango. Lokasi baru yang dijadikan lokasi penambangan emas tradisional dinamakan Titik Bor 15. Limbah cair Titik Bor 17 mengalir di Sungai Bor 17 dan bermuara di Sungai Tulabolo. Limbah cair Titik Bor 15 mengalir ke Sungai Kuning dan bermuara di Sungai Tulabolo. Limbah cair penambangan emas tradisional Daerah Mohutango mengalir ke Sungai Mohutango dan bermuara di Sungai Tulabolo. Sungai-sungai yang mengalirkan limbahnya ke Sungai Tulabolo pada akhirnya bermuara di Sungai Bone. Panjang Sungai Mohutango adalah 7,361 km. Panjang Sungai Tulabolo adalah 10,757 km. Ke dua sungai ini memberi debit tambahan terhadap Sungai Bone. Pentingnya penelitian ini karena Sungai Bone merupakan sungai yang penting digunakan sebagai sumber air minum dan sumber air irigasi masyarakat Gorontalo.

Hasil penelitian yang dilakukan pada badan air, khususnya muara Sungai Bone tahun 2006 konsentrasi merkuri terukur 0,0022 mg/l. Demikian pula konsentrasi merkuri di wilayah Kecamatan Kabila sebelum PDAM Kota Gorontalo terukur 0,012 mg/l, berada di atas ambang baku mutu yang ditetapkan (Balihristi, 2007). Hasil pengukuran konsentrasi merkuri sebelum PDAM pada Tahun 2007 terukur 0,0002 mg/l (Balihristri, 2008). Hasil

analisis ini, menunjukkan bahwa konsentrasi merkuri pada badan air Sungai Bone ini berfluktuasi.

Faktor iklim berpengaruh terhadap proses transpor sedimen adalah curah hujan. Besarnya curah hujan akan menentukan jumlah dan kecepatan aliran permukaan. Hujan dengan intensitas tinggi akan menghasilkan kecepatan dan total volume aliran permukaan yang lebih besar dibanding dengan hujan yang kurang intensif untuk jumlah curah hujan sama. Kecepatan aliran permukaan dari suatu DAS akan mencapai nilai terbesar jika distribusi curah hujan merata pada seluruh DAS. Curah hujan akan memberi pengaruh terhadap jumlah debit air yang akhirnya akan mempengaruhi konsentrasi merkuri yang ada di air. Sebaran temporal adalah waktu dibutuhkan untuk melihat jumlah konsentrasi merkuri ditinjau dari variasi debit air.

2. Identifikasi Masalah

Permasalahan konsentrasi merkuri akibat penambangan tradisional di sungai tidak akan teratasi dengan baik apabila kebijakan pengelolaan ekosistem perairan tidak terarah berdasarkan sejauh mana sebaran merkuri tersebut mencemari lingkungan. Sebaran spasial dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pencemaran itu dapat terjadi. Dengan demikian maka sebaran spasial dan temporal konsentrasi merkuri diperlukan sebagai dasar pengelolaan aliran Sungai Tulabolo. Belum ada penelitian yang menganalisis konsentrasi merkuri di air dan sedimen berdasarkan jarak dari lokasi penambangan maupun berdasarkan debit air baik yang disajikan dalam sebaran spasial maupun temporal.

Hasil penelitian Universitas Negeri Gorontalo pada tahun 2007 menunjukkan bahwa kualitas air limbah penambangan tradisional atau biasa disebut juga PETI (penambangan emas tanpa izin) di Kecamatan Suwawa menunjukkan konsentrasi yang relatif tinggi dan melebihi baku mutu pertambangan Kep Men LH N0. 202 tahun 2004. Logam berat yang perlu mendapat perhatian adalah logam merkuri (Hg), karena konsentrasi yang terukur telah mencapai 44.58 $\mu\text{g}/\text{l}$ untuk air limbah PETI Kecamatan

Suwawa. Hal ini menunjukkan kualitas air limbahnya telah melebihi ambang batas baku mutu yang diperbolehkan.

Atas dasar inilah maka penelitian mengenai pengaruh penambangan emas rakyat ini perlu dilakukan, baik secara spasial maupun temporal untuk mengetahui konsentrasi merkuri di aliran Sungai Tulabolo, karena Sungai Tulabolo memberikan tambahan debit airnya ke Sungai Bone. Jika sungai tersebut dibiarkan tercemar maka Sungai Bone juga akan mengalami degradasi khususnya terhadap kualitas air dan tanah. Jarak Sungai Mohutango dan Sungai Tulabolo dari lokasi penambangan tradisional ke muaranya adalah 6,984 km dan 10,342 km. Jarak Sungai Mohutango ke muaranya adalah 1.568 km. Jarak antara lokasi penambangan dan PDAM Kota Gorontalo 17 km diukur pada Peta DAS Bone. Sungai-sungai ini memberi sumbangan debit terhadap Sungai Bone sehingga penelitian ini sangat penting dilakukan baik bagi penduduk Kota Gorontalo maupun Kabupaten Bone Bolango. Penelitian ini penting karena untuk meminimalisir pengaruh pencemaran konsentrasi merkuri di ekosistem aliran Sungai Tulabolo yang disebabkan oleh penambangan emas tradisional.

Pentingnya penelitian ini karena banyaknya masyarakat yang sangat membutuhkan air Sungai Bone sebagai sumber air minum masyarakat Gorontalo. Jumlah pelanggan PDAM Kota Gorontalo yang mengambil airnya berasal dari Sungai Bone yaitu 16.923 pelanggan. Pengolahan PDAM tersebut terletak di Kecamatan Kabila Kabupaten Bone Bolango, beroperasi selama 24 jam setiap harinya dan melayani 145.220 jiwa. Ketersediaan air minum yang bersih dan sehat sangat dibutuhkan masyarakat. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat akan air minum yang sehat, maka air minum yang telah disalurkan kepada konsumen pada tahun 2007 sebanyak 4.406.514 m³.

3. Pembatasan Masalah

Permasalahan penelitian ini hanya dibatasi pada sebaran spasial temporal konsentrasi merkuri pada air dan sedimen. Pada penelitian ini tidak dilakukan analisis merkuri terhadap hewan akuatik, tumbuhan dan manusia. Pengambilan sampel dibatasi pada DAS Tulabolo. Faktor pengaruh yang ditinjau terbatas pada jarak dan debit air.

4. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian permasalahan pada lokasi penelitian, maka beberapa rumusan masalah yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimanakah sebaran spasial temporal jumlah konsentrasi merkuri di dalam air dan sedimen akibat penambangan tradisional pada berbagai jarak dan debit air yang ditinjau di Sungai Mohutango dan Sungai Tulabolo di Kecamatan Suwawa Kabupaten Bone Bolango.
2. Bagaimanakah hubungan jumlah konsentrasi merkuri (air dan sedimen) akibat penambangan tradisional terhadap faktor faktor yang mempengaruhinya (jarak dan debit) sebagai dasar pengelolaan dan monitoring terhadap Sungai Mohutango dan Sungai Tulabolo.
3. Bagaimanakah strategi pengelolaan ekosistem aliran Sungai Tulabolo akibat penambangan emas tradisional untuk mengantisipasi terjadinya pencemaran lingkungan.

5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk :

- a) Menentukan sebaran spasial temporal konsentrasi merkuri di dalam air dan sedimen akibat penambangan tradisional ditinjau pada perubahan jarak dan debit air di aliran Sungai Tulabolo.
- b) Menyusun suatu hubungan korelasi kuantitatif jumlah konsentrasi merkuri di dalam air dan sedimen akibat penambangan tradisional berdasarkan faktor –faktor yang mempengaruhinya di Sungai Tulabolo sebagai dasar pengelolaan dan monitoring kualitas air di Kecamatan Suwawa Kabupaten Bone Bolango.
- c) Menyusun strategi pengelolaan lingkungan akibat penambangan tradisional di ekosistem aliran Sungai Tulabolo.

6. Manfaat Penelitian

Urgensi penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a) Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik kualitas air dan sedimen di sungai dan faktor-faktor yang mempengaruhinya pada ekosistem aliran Sungai Tulabolo.
- b) Dapat menjadi data dasar dalam pendataan sebaran konsentrasi merkuri akibat penambangan tradisional di Kecamatan Suwawa Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo.
- c) Dapat menjadi dasar pengelolaan dan monitoring sebaran merkuri akibat penambangan tradisional di Kecamatan Suwawa Kabupaten Bone Bolango serta untuk pengembangan ilmu dan teknologi.
- d) Hasil penelitian ini diharapkan dapat dipahami oleh masyarakat dan menjadi bahan pertimbangan untuk memilih pekerjaan sebagai penambang dan mendapatkan pemahaman tentang upaya pengelolaan lingkungan daerah tambang. Bagi pemerintah dapat menjadi bahan referensi untuk pengambilan keputusan dalam rangka penanganan kegiatan Pertambangan Emas Tanpa Ijin di Kecamatan Suwawa Kabupaten Bone Bolango.

BAB II

KERANGKA TEORI DAN PERUMUSAN HIPOTESIS

2.1. Deskripsi Teoritik

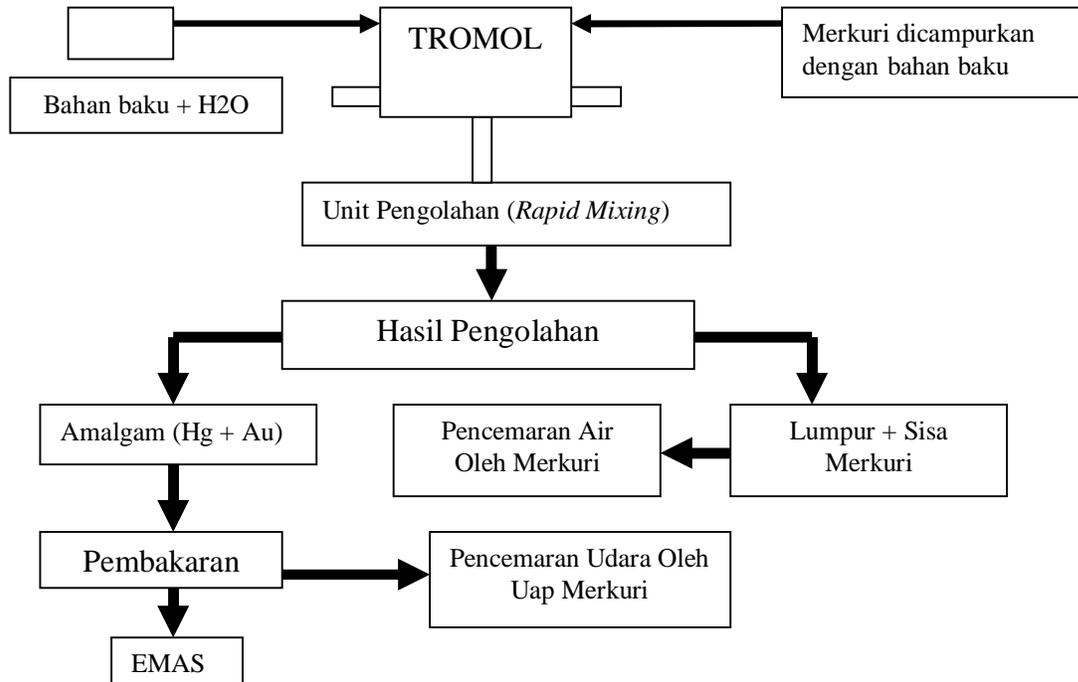
2.1.1. Konsep Penambangan Emas Tradisional

Pertambangan rakyat tanpa ijin atau yang dikenal dengan penambangan tradisional adalah kegiatan masyarakat di bidang pertambangan pada suatu wilayah yang tidak memiliki ijin dari pemerintah daerah dimana dalam aktivitasnya menggunakan alat-alat sederhana, seperti kegiatan pertambangan galian C dan usaha pertambangan umum lainnya seperti pertambangan emas, penggalian benda-benda berharga (Balihristi, 2008).

Kegiatan penambangan emas primer secara tradisional yang dilakukan oleh masyarakat di Indonesia dicirikan oleh penggunaan teknik eksplorasi dan eksploitasi yang sederhana dan relatif murah. Untuk pekerjaan penggalian atau penambangan dipakai peralatan cangkul, linggis, ganco, palu dan beberapa alat sederhana lainnya. Batuan dan urat kuarsa mengandung emas atau bijih hasil penambangan ditumbuk sampai berukuran 1-2 cm, selanjutnya digiling dengan alat gelundung (*trommel*, berukuran panjang 55 – 60 cm dan diameter 30 cm dengan alat penggiling 3 -5 batang besi). Bijih seberat 5-10 kg dimasukkan ke dalam gelundung dan diputar selama beberapa jam, gelundung dibuka, dibuang ampas (*tailing*) dan ditambahkan bijih baru, selanjutnya gelundung diputar kembali (Balihristi, 2008).

Proses pengisian ulang biasanya dilakukan beberapa kali dan penggilingan bijih berlangsung sampai 24 jam. Proses pengolahan emasnya biasanya menggunakan teknik amalgamasi, yaitu dengan mencampur bijih dengan merkuri untuk membentuk amalgam (logam paduan Au-Hg) dengan media air. Bijih atau pulp yang telah digelundung disaring dan diperas dengan kain parasut untuk memisahkan amalgam dengan ampasnya. Selanjutnya emas dipisahkan dengan proses penggarangan (penguapan merkuri) pada suhu ± 400 °C di tempat terbuka sampai didapatkan logam paduan emas dan perak (*bullion*). Produk akhir dijual dalam bentuk *bullion* dengan memperkirakan kandungan

emas pada bullion tersebut (Balihristi, 2008). Skema proses pengolahan batuan emas pada pertambangan tradisional ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Proses pengolahan batuan emas pada pertambangan tradisional (Balihristi 2008)

Mekanisme pengolahan batuan emas oleh kegiatan pertambangan rakyat di Wilayah Sub DAS Tulabolo sama seperti daerah lainnya diawali dengan penambangan batuan yang mengandung emas. Hasil yang diperoleh dimasukkan ke dalam karung (goni) yang diangkut ke unit pengolahan dengan menggunakan tenaga manusia. Di tempat pengolahan batuan tersebut dihancurkan dengan martil yang selanjutnya dimasukkan ke dalam *trommel*, sebanyak 40 kg untuk setiap *trommel*. *Trommel* diputar selama 3 jam untuk lebih menghaluskan batuan tersebut. Sesudah itu, ke dalam masing masing *trommel* di tambahkan 1 kg Hg lalu *trommel* diputar kembali kurang lebih setengah jam untuk memungkinkan terjadinya proses amalgamasi antara partikel emas dengan Hg. Selanjutnya isi *trommel* dikeluarkan dan dilakukan pemisahan antara batuan yang telah halus, Hg, amalgam (ikatan antara butiran emas dengan Hg) dengan bantuan aliran air. Batuan yang telah halus tersebut yang dihasilkan disimpan dalam karung goni

untuk diolah kembali dan selanjutnya menjadi limbah padat yang sangat mungkin masih mengandung merkuri (Bapedal, 2000).

Untuk memisahkan emas dengan merkuri ditempuh dengan cara membakar amalgam. Karena titik uap merkuri jauh di bawah titik uap emas, maka di dalam proses pembakaran tersebut merkuri akan terlebih dahulu menguap dan terlepas dari emas. Pembakaran dilakukan dengan memakai kompor gas minyak tanah.

Amalgam diletakkan pada sebuah pinggan yang terbuat dari tanah liat dan pembakarannya dilakukan secara langsung dan terbuka, sehingga uap merkuri akan tersebar ke lingkungan dan dapat terhirup oleh pekerja atau setiap orang yang berada di unit pengolahan. Akan tetapi biasanya pekerja tidak suka menggunakan masker. Limbah cair pengolahan dialirkan ke bak penampung. Hanya saja setelah penuh limbah cair tersebut akhirnya dialirkan ke sungai.

2.1.2. Pencemaran Merkuri

Logam merkuri (Hg) adalah salah satu *trace element* yang mempunyai sifat cair pada temperatur ruang dengan *specific gravity* dan daya hantar listrik yang tinggi. Karena sifat-sifat tersebut, merkuri banyak digunakan baik dalam kegiatan perindustrian maupun laboratorium. Merkuri yang terdapat dalam limbah atau *waste* di perairan umum diubah oleh aktivitas mikro organisme menjadi komponen metil merkuri ($\text{CH}_3\text{-Hg}$) yang memiliki sifat racun dan daya ikat yang kuat disamping kelarutannya yang tinggi terutama dalam tubuh hewan air. Hal tersebut mengakibatkan merkuri terakumulasi melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi dalam jaringan tubuh hewan-hewan air, sehingga kadar merkuri dapat mencapai level yang berbahaya baik bagi kehidupan hewan air maupun kesehatan manusia, yang makan hasil tangkap hewan-hewan air tersebut.

Kepekatan merkuri dalam spesies perairan sangat berhubungan dengan kedudukannya pada rantai makanan (Ratkowsky dkk, 1975), khususnya jika bergerak dari herbivore ke predator besar (Bryan, 1979). Young dkk.(1980) tidak menemukan adanya biomagnifikasi pada Ag, Cd, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, dan Zn pada beberapa ekosistem

perairan di selatan California, tetapi merkuri, khususnya dalam bentuk organik pada umumnya meningkat sesuai dengan tingkat tropik (Connel dan Miller, 2006).

Merkuri anorganik dapat mengalami *transformasi* menjadi merkuri organik dengan bantuan aktivitas mikroba, baik pada kondisi aerob maupun anaerob. Pada kadar merkuri anorganik yang rendah, akan terbentuk dimetil merkuri; sedangkan pada kadar merkuri anorganik yang tinggi, akan terbentuk monometil merkuri. Pada perairan alami, kadar monometil merkuri dan dimetil merkuri dipengaruhi oleh mikroba, karbon organik, kadar merkuri anorganik, pH dan suhu. Kedua bentuk senyawa metil merkuri tersebut dapat dipecah oleh bakteri yang hidup pada sedimen. Metil merkuri dapat mengalami bioakumulasi dan biomagnifikasi pada biota perairan, baik secara langsung ataupun melalui jala makanan (*food web*) (Efendi, 2003; Palar, 1994; Darmono, 1995).

Bahan kimia beracun berupa *methyl* (CH_3Hg_x)/*ethyl mercury* ($\text{C}_2\text{H}_5\text{Hg}_x$) yang ada diperairan, akan masuk ke dalam *phytoplankton*. Plankton air laut tersebut masuk ke dalam tubuh *zooplankton* dan langsung disantap ikan pemakan daging (karnivora) dan akhirnya dikonsumsi oleh binatang dan manusia. Akibat keracunan kedua bahan toksik tersebut binatang akan mengalami gangguan reproduksi dan bisa mati. Demikian pula manusia yang mengkonsumsi kedua bahan beracun tersebut akan mengalami efek *sub lethal*, cacat lahir, dan bisa mengalami kematian.

2.2. Kerangka Berpikir

Ekologi ilmu yang mempelajari makhluk hidup, seperti tumbuhan, hewan, dan manusia untuk hidup bersama dan saling mempengaruhi di dalam lingkungan. Ekosistem perairan adalah suatu sistem yang saling terkait antara organisme hidup dan organisme tak hidup atau lingkungan fisiknya yang terjadi di lingkungan perairan. Interaksi antara lingkungan fisik (energi dan mineral) pada setiap tingkat menghasilkan sistem-sistem fungsional yang khas. Setiap sistem mempunyai tujuan dan merupakan gabungan dari berbagai komponen yang secara teratur berinteraksi satu sama lain dan saling ketergantungan serta membentuk satu kesatuan secara keseluruhan. Aliran energi yang melintasi ekosistem dapat berupa rantai makanan dan jaring-jaring makanan. Rantai

makanan merupakan proses makan dan dimakan di antara organisme dengan urutan satu arah yang mengakibatkan terjadinya perpindahan energi dari satu organisme ke organisme yang lainnya. Jaring-jaring makanan merupakan rantai-rantai makanan yang saling berhubungan.

Kegiatan penambangan emas akan memberi efek terhadap lingkungan, di mana proses pemisahan emas dari amalgam akan menghasilkan limbah merkuri ke lingkungan. Lingkungan yang terkontaminasi oleh merkuri dapat membahayakan kehidupan manusia karena adanya rantai makanan. Merkuri terakumulasi dalam mikroorganisme yang hidup di air melalui proses metabolisme. Material yang mengandung sisa limbah merkuri yang dibuang ke sungai dimakan oleh mikroorganisme tersebut dan secara kimiawi berubah menjadi senyawa metilmerkuri. Mikroorganisme dimakan oleh ikan sehingga metilmerkuri terakumulasi dalam jaringan tubuh ikan. Ikan kecil menjadi rantai makanan ikan besar dan akhirnya dikonsumsi oleh manusia.

Kegiatan Penambangan Emas Tanpa Izin (PETI) adalah suatu kegiatan yang dilakukan oleh masyarakat untuk mendapatkan emas dengan cara-cara tradisional. Cara yang digunakan dengan cara menambang batuan, kemudian diangkut ke unit pengolahan untuk diolah dimasukkan ke dalam tromol untuk dihaluskan selama 3 jam yang selanjutnya ditambahkan merkuri untuk terjadinya proses amalgamasi antara partikel emas dengan merkuri. Proses pemisahan antara batuan yang telah halus, merkuri, amalgam dilakukan dengan bantuan aliran air. Limbah cair pengolahan yang mungkin masih mengandung merkuri dialirkan ke bak penampung yang umumnya berlantai tanah yang selanjutnya dialirkan ke lahan dan sungai. Dalam air logam merkuri bisa mengalami pelipatgandaan dari jumlah awal yang masuk disebabkan oleh proses bakterial terhadap ion logam atau merkuri yang mengendap pada lumpur di dasar perairan. Logam merkuri sebagai hasil dari aktivitas bakteri ini dipengaruhi oleh faktor fisika dapat langsung menguap ke udara tetapi dapat masuk kembali ke dalam perairan oleh hujan atau faktor-faktor fisika lainnya. Ion Hg^{2+} yang dihasilkan dari perombakan persenyawaan merkuri pada endapan lumpur dapat berubah menjadi dimetil merkuri $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ dan ion metil merkuri (CH_3Hg^+) , namun yang terakhir harus melalui reaksi metilasi. Di perairan

senyawa metil merkuri akan dimakan oleh biota perairan seiring dengan rantai makanan di air.

Pengelolaan kualitas air adalah upaya pemeliharaan air sehingga tercapai kualitas air yang diinginkan sesuai peruntukannya untuk menjadi agar kualitas air tetap dalam kondisi alamiahnya. Pelestarian kualitas air merupakan upaya untuk memelihara fungsi air agar tetap kualitasnya tetap pada kondisi alamiahnya. Pelestarian kualitas air dilakukan pada sumber air yang ada hutan lindung dilakukan dengan upaya pengendalian pencemaran air, yaitu upaya memelihara fungsi air sehingga kualitas air memenuhi baku mutu air.

Pencemaran perairan oleh merkuri mempunyai pengaruh terhadap ekosistem setempat yang disebabkan oleh sifatnya yang stabil dalam sedimen, kelarutannya yang rendah dalam air dan kemudahannya diserap dan terkumpul dalam jaringan tubuh organisme air, baik melalui proses bioakumulasi maupun biomagnifikasi yaitu melalui *food chain*. Dikatakan pula bahwa fluktuasi merkuri di lingkungan laut terutama di daerah estuarin dan daerah pantai ditentukan oleh proses *precipitation*, *sedimentation*, *floculation* dan *reaksi adsorpsi desorpsi*.

Dalam suatu badan air bahan pencemar dapat berkurang dengan meningkatnya debit air disebabkan karena proses pengenceran dan pencucian. Sistem perairan memindahkan zat-zat sejauh mana air bergerak, baik zat kimia tersebut dalam larutan atau terserap pada partikel atau tidak. Pergerakan zat kimia tersebut dirumuskan dalam suatu parameter hidrologi yang tepat. Terdapat beberapa proses perubahan bentuk yang berfungsi secara masing-masing ataupun serempak untuk mengubah suatu zat kimia dari satu bentuk ke bentuk lainnya atau untuk mendegradasi zat kimia tersebut. Perpindahan zat kimia dan hasil perubahan bentuknya termasuk kepekatan sebagai fungsi waktu dan tempat. Hubungan antara pengangkutan dan bahan pencemar ada dua anggapan dasar yaitu : (1) Kepekatan zat kimia dan laju pengurangannya pada setiap tempat dan waktu ditentukan oleh gabungan laju tidak bergantung pada proses penyebaran, (2) untuk setiap proses, hubungan kuantitatif terjadi antara sifat-sifat lingkungan dan kimiawi.

Proses sedimentasi diawali dengan proses erosi, transportasi (angkutan), pengendapan (*deposition*) dan pemadatan (*compaction*) dari sedimentasi itu sendiri. Proses tersebut berjalan sangat kompleks, dimulai dari jatuhnya hujan yang menghasilkan energi kinetik yang merupakan permulaan dari proses erosi. Begitu tanah menjadi partikel halus, lalu menggelinding bersama aliran air sebagian akan tertinggal di atas tanah sedangkan bagian lainnya masuk ke sungai terbawa aliran menjadi angkutan sedimen. Besarnya volume sedimen angkutan sedimen terutama tergantung daripada perubahan musim hujan dan musim kemarau, serta perubahan kecepatan yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia. Pada sungai-sungai aluvial besarnya muatan material dasar tergantung pada kondisi hidrolis. Untuk volume muatan bilas umumnya tidak tergantung pada kondisi hidrolis sungai, akan tetapi tergantung daripada kondisi daerah pengaliran sungai.

Faktor yang mempengaruhi volume sedimen ini dapat mempengaruhi hasil konsentrasi merkuri di sedimen baik sebagai sedimen dasar maupun sebagai sedimen melayang. Berdasarkan faktor- faktor ini maka besarnya konsentrasi merkuri di air dan sedimen juga dapat bervariasi baik secara spasial maupun secara temporal. Kajian spasial mengenai konsentrasi merkuri dilakukan dengan pendekatan sub DAS dimana dilakukan dengan Sistem Informasi Geografis (SIG). Kajian konsentrasi merkuri dilakukan dengan pendekatan ekosistem perairan karena jumlah konsentrasi merkuri di air dan sedimen adalah merupakan suatu proses interaksi komponen-komponen sistem dalam suatu ekosistem. Komponen- komponen tersebut meliputi aktivitas manusia (penambangan tradisional), karakteristik dari sungai tersebut (debit air, kecepatan air, kemiringan sungai, jarak dan penampang hidrolis sungai). Sebaran temporal konsentrasi merkuri bertujuan untuk melihat variasi jumlah konsentrasi merkuri baik di air maupun di sedimen berdasarkan waktu dengan melihat variasi debit air. Variasi temporal berdasarkan variasi debit dengan memperhatikan ketinggian air di sungai dengan kriteria tinggi, sedang dan rendah. Curah hujan merupakan faktor iklim yang berpengaruh terhadap debit dan tinggi air di sungai. Jumlah konsentrasi merkuri umumnya mengacu pada jumlah merkuri yang digunakan penambang, juga jarak dan debit air yang mengalir

dari suatu titik pengamatan tertentu dalam suatu ekosistem sungai. Oleh sebab itu besarnya sebaran spasial dari konsentrasi merkuri bervariasi mengikuti jarak dan debit air.

Pengaruh merkuri ke lingkungan hidup dapat dikelompokkan dalam lingkungan abiotik, lingkungan biotik dan lingkungan *culture*. Terhadap lingkungan abiotik, konsentrasi merkuri yang berlebihan akan mengakibatkan penurunan kualitas air dan akhirnya menyebabkan pencemaran air.

2.3. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan atas permasalahan dan landasan teori, maka hipotesis yang akan diajukan dalam penelitian ini adalah:

- a. Sebaran spasial temporal konsentrasi merkuri dapat digunakan untuk mengetahui sebaran konsentrasi merkuri pada berbagai jarak dan debit air.
- b. Faktor-faktor lingkungan (jarak, debit air dan besarnya limbah yang dibuang ke sungai) berpengaruh signifikan terhadap jumlah konsentrasi merkuri di air dan sedimen di aliran Sungai Tulabolo.
- c. Model sebaran spasial temporal konsentrasi merkuri di aliran Sungai Tulabolo dapat digunakan sebagai dasar strategi pengelolaan ekosistem aliran Sungai Tulabolo.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

3.1.1. Jenis Data dan Teknik Pengukuran

Data utama dalam penelitian ini adalah Karakteristik lokasi Daerah Mohutango dan Tulabolo, kandungan merkuri pada air dan sedimen. Data lain ditunjukkan dalam Tabel 3.1

Tabel 3.1. Jenis Data dan Teknik Pengukuran

Jenis Data	Tipe Data	Teknik Pengukuran	
		Di Laboratorium	Di lapangan
Data Karakteristik Sub DAS Tulabolo			
1	2	3	4
Luas wilayah Sub DAS	P	Peta RBI	
Batas Sub DAS	P	Peta RBI	
Panjang Sungai	P	Peta RBI	
Jarak tiap lokasi sampel	P	Peta RBI	
Lebar Sungai	P		Pengukuran langsung
Dalam Sungai	P		Pengukuran langsung
Kecepatan aliran	P		Pengukuran langsung
Debit aliran	P		Pengukuran langsung
Geologi	S	Peta Geologi	
Jenis Tanah	S	Peta Tanah	
Iklim	S	Stasiun klimatologi	
Penggunaan lahan	S	Data Dalam Angka (DDA)	Kuesioner
Data Sosial Budaya Masyarakat			
Banyaknya unit pengolahan emas	P	-	Wawancara

Tabel 1.1.lanjutan.....

Jumlah Penambang	P	-	Wawancara
Banyaknya merkuri yang digunakan	P	-	Wawancara
Kondisi lingkungan masyarakat	P		
Data konsentrasi merkuri			
Air	P	Metode AAS	-
Sedimen Dasar	P	Metode AAS	-

*) S = Sekunder; P = Primer

3.1.2. Variabel Penelitian.

Variabel-variabel yang dikaji dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel bebas (variabel yang mempengaruhi) adalah :
 - a. Jarak antara lokasi penambangan dengan titik yang ditinjau.
 - b. Debit air
2. Variabel terikat (variabel yang dipengaruhi)
 - a. Konsentrasi merkuri di air permukaan
 - b. Konsentrasi merkuri di sedimen melayang

3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian di lapangan dilakukan pada dua lokasi yaitu lokasi pertama dinamakan dengan Titik Bor 17 di hulu Sub DAS Tulabolo dan lokasi ke dua terdapat di Daerah Mohutango. Pengambilan sampel dilakukan di Sungai 17, Sungai Mohutango, Sungai Tulabolo dan Sungai Bone. Sungai 17 dan Sungai Mohutango bermuara di Sungai Tulabolo dan Sungai Tulabolo bermuara di Sungai Bone. Lokasi tambang Titik Bor 15 merupakan lokasi penambangan tradisional yang baru dibuka. Lokasi tambang Bor 15 mengalir ke Sungai Kuning dan bermuara di Sungai Tulabolo. Ketiga lokasi ini dipilih sebagai lokasi penelitian karena ketiga lokasi ini dijadikan masyarakat sebagai tempat pembuangan limbah aktivitas penambangan rakyat dan memberi tambahan debit terhadap Sungai Bone dimana Sungai Bone dijadikan sebagai sumber air minum masyarakat Gorontalo. Waktu penelitian dilakukan selama enam bulan.

3.3. Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan secara bertahap, dimulai dari tahap persiapan, dilanjutkan dengan tahap pengumpulan data lapangan, pengolahan data dan penyusunan laporan berupa disertasi.

1. Tahap Persiapan

Pada tahap persiapan, kegiatan-kegiatan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Studi literatur untuk memahami konsep dan metodologi yang relevan dengan penelitian.
- b. Pengumpulan bahan penelitian berupa peta-peta tematik.
- c. Pengorganisasian alat-alat penelitian dan alat-alat laboratorium yang akan digunakan.
- d. Pengumpulan data sekunder berupa data iklim, data kependudukan dan data sosial ekonomi.
- e. Pembuatan lembar pengamatan dan kuesioner untuk pengumpulan data lapangan.
- f. Orientasi lapangan untuk memahami kondisi daerah penelitian.
- g. Pembuatan peta lokasi penelitian.

2. Tahap kerja lapangan

Pada tahap ini dilakukan kegiatan sebagai berikut :

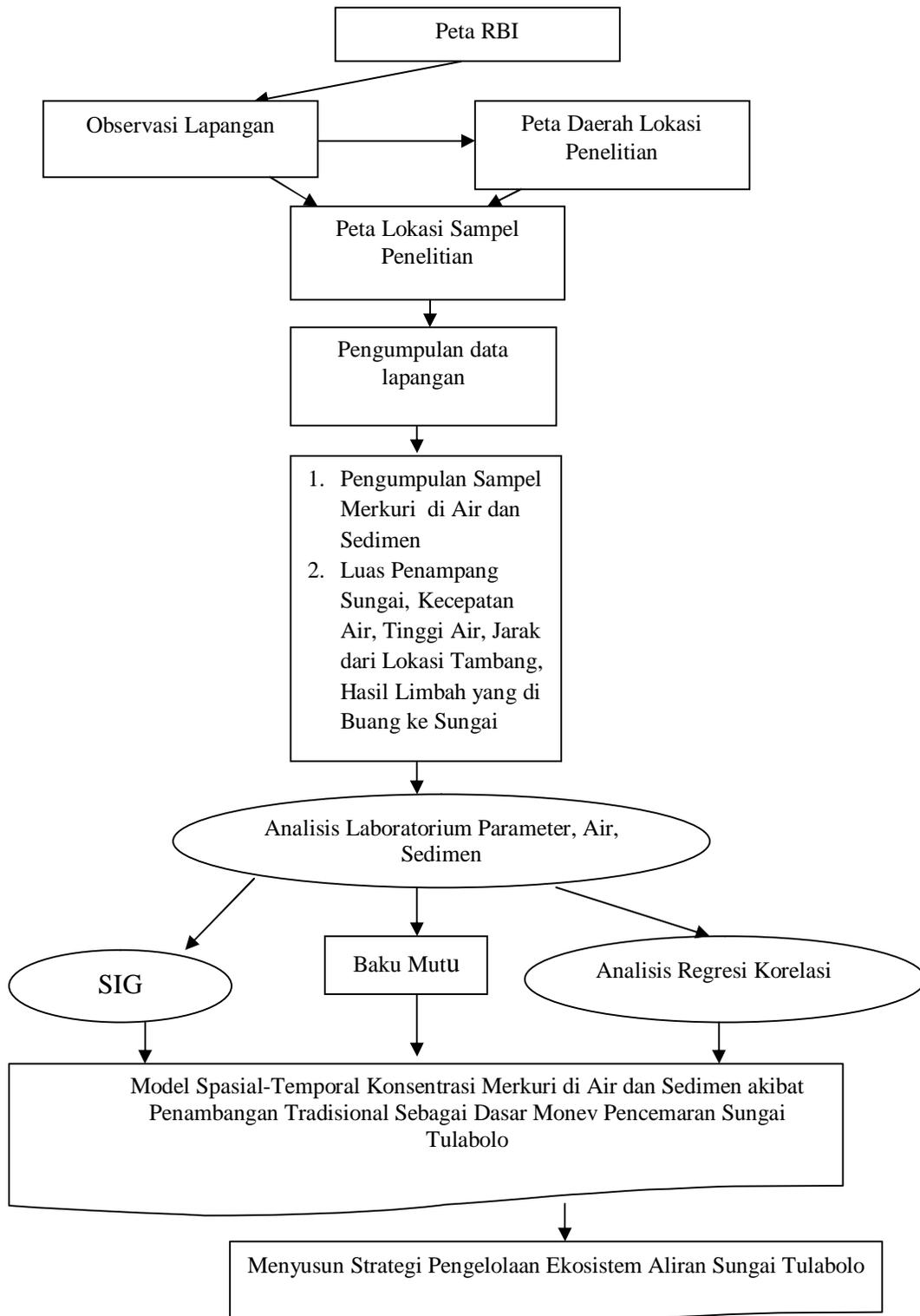
- a. Penentuan lokasi tambang tradisional dan lokasi sampel penelitian;
- b. Pengukuran tinggi muka air;
- c. Pengukuran luas penampang sungai;
- d. Pengukuran kecepatan air untuk pengukuran debit air.
- e. Wawancara dengan penduduk di lokasi penelitian untuk memperoleh data sosial ekonomi dan kesehatan masyarakat;
- f. Pengambilan sampel air, sedimen dasar, sedimen melayang, tumbuhan darat, tumbuhan air, hewan *aquatic* dan rambut kepala untuk menentukan konsentrasi merkuri.

3. Tahap Penyelesaian

Pada tahap ini dilakukan kegiatan penelitian sebagai berikut :

- a. Pengolahan data hasil pengukuran konsentrasi merkuri di air dan sedimen di sajikan dalam bentuk tabel dan grafik;
- b. Pengolahan data interaksi merkuri di air dan sedimen akibat penambangan tradisional di tampilkan dalam grafik.
- c. Melakukan analisis deskriptif dan statistik untuk memperoleh model hubungan antar variabel serta menguji hipotesis penelitian;
- d. Melakukan analisis Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan program *Arcview* untuk memperoleh sebaran spasial dan temporal akibat penambangan emas tradisional sebagai monitoring dan evaluasi pencemaran aliran Sungai Tulabolo.
- e. Penulisan atau narasi sebagai interpretasi dari hasil analisis data untuk penyusunan disertasi.

Skema disain penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.4. Teknik Pengambilan Sampel

3.4.1. Pengambilan Sampel Merkuri di air

Penentuan lokasi pengambilan sampel untuk kajian kualitas air dan sedimen dilakukan dengan kriteria tinggi muka air. Penampang sungai dibagi tiga bagian yaitu : penampang atas, bagian tengah dan bagian bawah penampang. Tinggi muka air Sungai Tulabolo maksimum 1 m maka kriteria tinggi muka air yang diambil adalah 0 - 0.33 m kriteria muka air rendah, 0.34 – 0.37 m kriteria muka air sedang dan 0.67 – 1 m kriteria muka air tinggi. Dari ketiga kriteria tinggi muka air inilah sampel diambil secara acak. Sampel air dan sedimen yang diambil yang memiliki ciri-ciri yang khusus dari populasi sehingga dianggap cukup representatif. Adapun pengambilan sampel air di sungai dilakukan di lokasi yang belum pernah atau masih sedikit mengalami pencemaran, di lokasi air yang tercemar dan pada sumber air yang dimanfaatkan (Effendi, 2003). Oleh karena itu titik sampel air dan sedimen dalam penelitian ini diambil pada air sungai sebelum pengolahan tambang tradisional pada *effluent* lokasi pengolahan tambang dan sesudah pengolahan air dan pada sungai yang dimanfaatkan sebagai sumber air minum. Pengambilan sampel sedimen dan TSS juga dilakukan setelah pertemuan-pertemuan sungai dimana terjadi perubahan debit air (Chapman, 1992).

Kriteria penetapan lokasi adalah

- a. Pada sungai yang mewakili lokasi pengolahan penambangan emas pada hulu, *output tailing* dan hilir.
- b. Pada pertemuan sungai yang mewakili perubahan debit air.
- c. Sungai yang mewakili daerah pertanian dan pemukiman dan sumber air minum.

Kriteria penetapan lokasi pengambilan sampel untuk pengukuran parameter kualitas air adalah :

1. Sampel air limbah diambil pada lokasi yang mewakili seluruh karakteristik limbah dan kemungkinan pencemaran yang akan ditimbulkannya.
2. Sampel air dari badan air diambil dari lokasi yang dapat menggambarkan karakteristik keseluruhan badan air. Oleh karena itu, sampel air perlu diambil dari beberapa lokasi dengan debit air yang diketahui.

Adapun pengambilan sampel air sungai dapat dilakukan di lokasi-lokasi (Efendi, 2002) sebagai berikut :

1. Sumber air alamiah, yaitu lokasi yang belum pernah atau masih sedikit mengalami pencemaran.
2. Sumber air tercemar, yaitu lokasi yang telah mengalami perubahan atau di bagian hilir dari sumber pencemar.
3. Sumber air yang dimanfaatkan, yaitu lokasi penyadapan/pemanfaatan.

Titik pengambilan sampel air permukaan dapat dilakukan terhadap air sungai ditetapkan dengan ketentuan (Efendi, 2002) :

1. Pada sungai dengan debit kurang dari $5 \text{ m}^3/\text{detik}$, sampel air diambil pada satu titik di tengah sungai pada $0.5 \times$ kedalaman sungai.
2. Pada sungai dengan debit antara $5 - 150 \text{ m}^3/\text{detik}$, sampel air diambil pada dua titik, masing masing pada jarak $0,33$ dan $0,67$ lebar sungai pada $0,5$ kedalaman sungai.
3. Pada sungai dengan debit lebih dari $150 \text{ m}^3/\text{detik}$, sampel air diambil minimum pada enam titik, masing-masing pada jarak 0.25 , 0.50 dan 0.75 lebar sungai pada $0,2 \times$ kedalaman sungai dan $0,8 \times$ kedalaman sungai.

Pengambilan sampel air dapat dilakukan melalui langkah-langkah kerja sebagai berikut :

1. Disiapkan alat pengambil sampel yang sesuai dengan keadaan sumber air.
2. Alat-alat tersebut dibilas sebanyak tiga kali dengan sampel air yang akan diambil.
3. Dilakukan pengambilan sampel sesuai dengan keperluan; sampel yang diperoleh dicampur secara merata di dalam penampung sementara.
4. Jika pengambilan sampel dilakukan pada beberapa titik maka volume sampel dari setiap titik harus sama.

Setelah pengambilan sampel, sampel air sebaiknya segera dianalisis. Jika terpaksa harus disimpan, setiap parameter kualitas air memerlukan perlakuan tertentu. Bagi parameter merkuri jika pemeriksaan tidak segera dilakukan maka diadakan pengawetan contoh dengan menggunakan asam nitrat pekat sampai $\text{pH} < 2$.

3.4.2. Pengambilan sampel sedimen dasar dan TSS

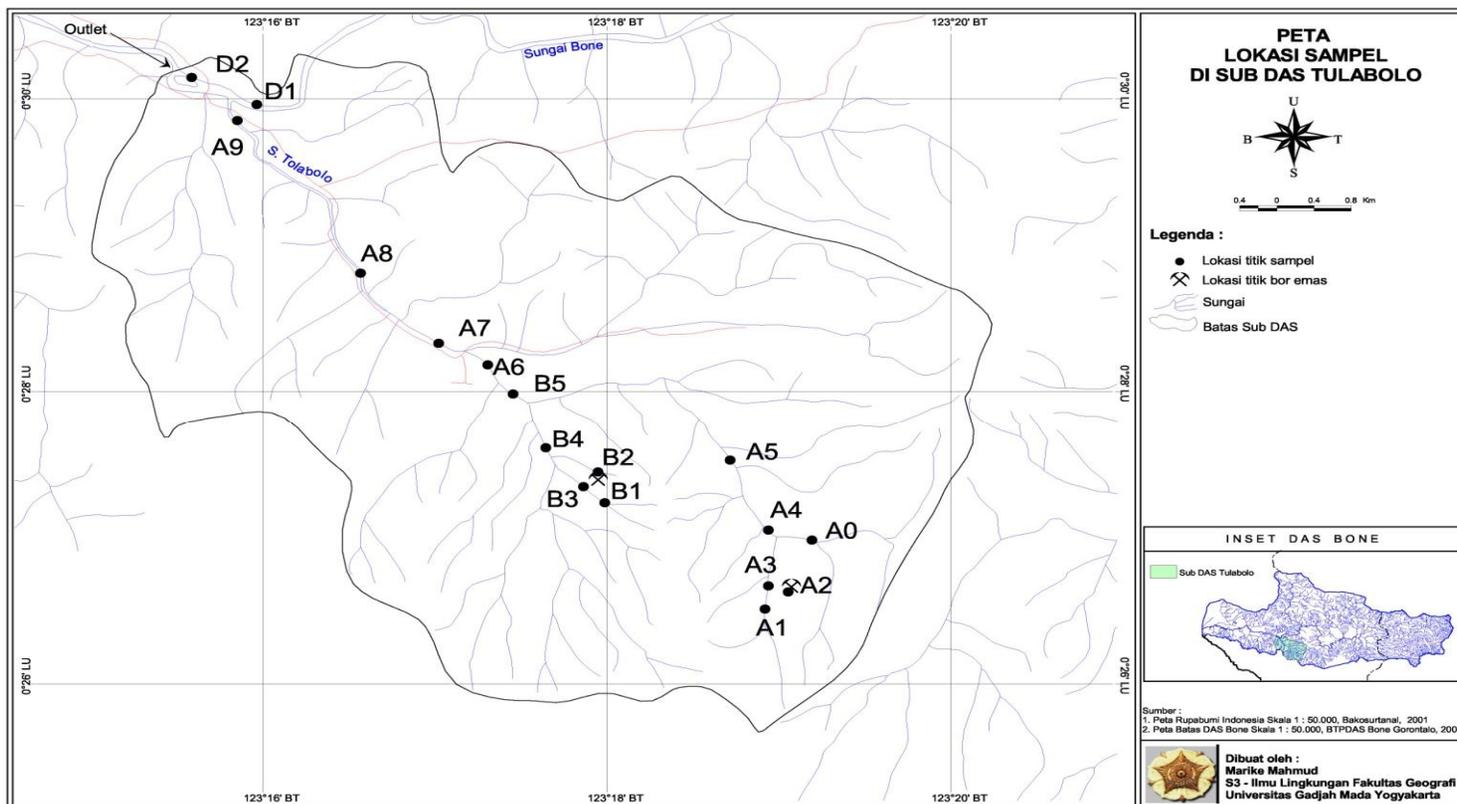
Pengambilan sampel air, sedimen dasar dan TSS diambil pada 17 lokasi seperti yang tertera dalam Gambar 1. Untuk menentukan daerah jangkauan dari sampel sedimen, sedimen dasar di ambil pada bagian atas dari dasar sungai. Pengambilan sampel harus diambil pada anak sungai yang mempengaruhi sungai utama dan pertemuan anak sungai dengan sungai utama. Pengaruh yang mungkin dari *point source* dalam hal ini lokasi penambangan tradisional diambil pada hulu dan hilir dari sumber. Sampel harus diambil pada jarak yang sama dari sisi sungai sebagai input, baik pada hulu maupun hilir sungai. Pengaruh guna lahan dan pemukiman juga perlu diambil sampelnya. Suatu sampel sedimen dasar adalah cukup menyediakan objektivitas atas penentuan kualitatif pengaruh komposisi dari sedimen.

Lokasi pengambilan sampel air sedimen dasar dan TSS meliputi :

1. Titik 1 (A1) Sungai 17 sebelum lokasi penambangan Titik Bor 17 sebagai kontrol.
2. Titik 2 (A2) saluran tailing pada lokasi penambangan Titik Bor 17.
3. Titik 3 (A3) Sungai 17 di *effluent* lokasi pengolahan penambangan di Titik Bor 17.
4. Titik 4 (A4) Sungai Tulabolo sesudah pertemuan antara Sungai 17 dan Sungai Kuning
5. Titik 5 (A5) Sungai Tulabolo
6. Titik 6 (B1) Sungai Mohutango sebelum penambangan Daerah Mohutango
7. Titik 7 (B2) Saluran tailing pada lokasi penambangan Mohutango.
8. Titik 8 (B3) Sungai Mohutango di *effluent* pengolahan penambangan Daerah Mohutango
9. Titik 9 (B4) Sungai Mohutango sesudah pertemuan antara Sungai Mohutango dan Sungai Bonggo setelah penambangan Daerah Mohutango.
10. Titik 10 (AB) Setelah pertemuan Sungai Tulabolo dan Mohutango

Sampel air dan sedimen di ambil pada 17 titik. Masing-masing lokasi pengolahan diambil tiga titik yaitu sebelum pengolahan, output dari lokasi tambang dan sesudah pengolahan penambangan emas. Masing-masing satu titik diambil sebelum lokasi pengolahan baik dari Sungai Tulabolo dan Sungai Mohutango, dimaksudkan untuk

mengetahui apakah merkuri yang ada di sungai tersebut berasal dari pengolahan tambang tradisional atau oleh sebab yang lain. Demikian pula satu titik diambil di Sungai Bone sebelum pertemuan antara Sungai Tulabolo dan Sungai Bone untuk mengetahui apakah merkuri yang ada di Sungai Bone berasal dari aliran Sungai Tulabolo atau oleh sebab yang lain. Satu titik diambil di Sungai Kuning sebagai kontrol terhadap penambangan Titik Bor 15. Masing- masing satu titik diambil pada tailing baik di penambangan Tulabolo maupun Mohutango. Selain titik-titik tersebut di atas juga diambil sampel pada titik-titik yang lain untuk melihat seberapa jauh sebaran merkuri di sepanjang Sungai Mohutango dan Sungai Tulabolo pada perubahan jarak dan debit air. Peta lokasi sampel ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Peta Lokasi Penelitian

3.5. Instrumen Penelitian

3.5.1. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Peta DAS Bone, Skala 1: 50.000 untuk pembuatan peta dasar guna menentukan batas daerah penelitian Sub DAS Tulabolo.
2. Peta Jenis Tanah, Skala 1 : 50.000 digunakan untuk mengetahui jenis tanah dan sebarannya serta karakteristik tanah secara umum di lokasi penelitian
3. Peta Geologi, Skala 1 : 50.000 digunakan untuk mengetahui jenis batuan dan karakteristiknya yang ada dilokasi penelitian.
4. Peta wilayah administrasi Skala 1 : 50.000 digunakan untuk menentukan batas administrasi wilayah penelitian sekaligus sebagai peta lokasi sampel penelitian.
5. Data iklim berupa data curah hujan digunakan untuk menganalisis keadaan iklim pada lokasi penelitian.
6. Asam Nitrat $\text{pH} < 2$ digunakan untuk mengawetkan air sebelum diperiksa dilaboratorium.

3.5.2. Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Seperangkat komputer + printer + scanner untuk pengolahan data lapangan dan data laboratorium serta untuk pengetikan laporan.
2. Program komputer (perangkat lunak) *Arc View* untuk pemrosesan data spasial.
3. *Current meter* untuk mengukur kecepatan aliran sungai.
4. *Stop watch* untuk mengukur waktu kecepatan air.
5. Meteran untuk mengukur lebar dan kedalaman sungai yang dijadikan tempat pengambilan sampel air.
6. Jerigen berisi sampel air untuk pemeriksaan kimia.
7. Perahu untuk alat bantu dalam pengambilan sampel di sungai.
8. Pelampung untuk mengukur kecepatan air.
9. GPS untuk menentukan koordinat lokasi titik sampel.

10. Tongkat yang mempunyai skala sebagai alat pengukur kedalaman sungai.
11. Perangkat alat laboratorium untuk analisis sampel air di lapangan.
12. Kamera digital.
13. *Sediment Sampler* yakni *Grab Sampler* untuk mengambil sedimen di dasar sungai.

3.6. Teknik Pengumpulan Data

3.6.1. Pengumpulan Data Debit

Data debit sungai dapat dihitung dengan cara mengukur luas penampang basah dan kecepatan alirannya. Apabila kecepatan alirannya diukur dengan pelampung, maka debit muka air diukur dengan membaca elevasi permukaan pada alat duga air.

Dalam melaksanakan pengukuran debit air di lokasi pos duga air harus dilakukan pula pembacaan tinggi muka air pada papan duga air. Pekerjaan ini penting agar dapat ditentukan hubungan antara tinggi muka air dan debit air dari berbagai variasi ketinggian muka air, mulai dari aliran terendah sampai tertinggi.

- **Pengukuran kecepatan aliran permukaan dengan menggunakan pelampung.**

Lokasi pengukuran debit dengan menggunakan metode pelampung harus memenuhi persyaratan yaitu :

- 1) alur sungai harus lurus (minimal 3 kali lebar);
- 2) mudah dicapai pada segala kondisi;
- 3) aliran banjir tidak melimpah;
- 4) dasar sungai stabil;
- 5) mempunyai pola aliran yang seragam;
- 6) lintasan pelampung mudah diamati;
- 7) adanya sarana untuk melepaskan pelampung yang berada di sebelah hulu lokasi pengukuran;
- 8) mudah untuk mendapatkan bahan pelampung.

Pelaksanaan di lapangan, kadang-kadang sulit untuk mendapatkan semua persyaratan tersebut disuatu lokasi duga air. Persyaratan minimal adalah harus dapat ditemukan lokasi alur sungai yang bagian lurus nya cukup panjang sehingga lintasan pelampung minimal

memerlukan 40 detik, dengan maksud agar diperoleh ketelitian dalam menentukan kecepatan lintasan pelampung. Aturan dalam Tabel 2 dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk memilih bagian alur sungai yang lurus.

Tabel 3.2. Penentuan bagian alur sungai yang lurus.

Lebar alur (m)	<5	10	15	20	30	40	50	75
Alur yang lurus (m)	20	30	40	50	60	70	80	90

Sumber : Muzet, 1980 dalam Suwarno 1991.

Tabel 3.3. Penentuan banyaknya jalur lintasan pelampung.

Lebar alur (m)	<50	50-100	100-200	200-400	400-800	800
Banyaknya jalur lintasan	3	4	5	6	7	8

Sumber : Muzet, 1980 dalam Suwarno 1991.

Apabila sudah dapat ditemukan bagian alur sungai yang lurus dan memenuhi persyaratan selanjutnya menentukan jumlah jalur lintasan pelampung. Banyaknya lintasan pelampung minimal harus 3 buah, dan apabila memungkinkan minimal 5 buah. Aturan pada Tabel 3 sebagai bahan pertimbangan untuk menentukan banyaknya lintasan pelampung.

Prosedur pengukuran kecepatan lintasan pelampung adalah sebagai berikut :

- a) Mengukur jarak antara penampang hulu dan hilir yang merupakan panjang posisi lintasan pelampung.
- b) Melepaskan pelampung, kira-kira 3 m dari sebelah hulu penampang basah.
- c) Mencatat lama lintasan pelampung di antara dua penampang basah hulu dan hilir.
- d) Menghitung kecepatan lintasan pelampung. Gambar pengukuran kecepatan lintasan pelampung di Sungai Tulabolo ditunjukkan dalam Lampiran 2f.

Kecepatan lintasan pelampung dapat dihitung dengan rumus :

$$V_p = L/T$$

Keterangan :

$$V_p = \text{kecepatan lintasan pelampung (m/detik)}$$

- L = panjang lintasan pelampung
- T = Waktu lamanya lintasan pelampung (detik)

Debit dihitung dengan rumus :

$$Q = \sum (a \cdot \square) \dots\dots\dots(1)$$

$$\square = k \cdot V_p \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- Q = debit sungai total (m³/detik)
- A = luas bagian penampang basah (m²)
- = kecepatan aliran rata-rata pada bagian penampang basah (m/detik)
- k = faktor koreksi kecepatan
- V_p = kecepatan lintasan pelampung (m/detik)

Apabila digunakan pelampung permukaan untuk mengukur kecepatan aliran maka harga k = 0,85 adalah yang umum digunakan (Suwarno, 1991).

▪ **Perhitungan Debit**

Data pengukuran penampang basah dan posisi lintasan pelampung digambar kemudian dihitung luas penampang basah rata-rata dan kecepatan aliran rata-ratanya.

Debit dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = \sum_{i=1}^m q = \sum_{i=1}^m \square \left(\frac{A + A'}{2} \right) \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan :

- Q = debit total (m³/det);
- q = debit setiap bagian penampang (m³/det)
- = kecepatan aliran rata-rata pada bagian luas penampang basah (m/det);
- $\frac{A + A'}{2}$ = luas bagian penampang basah rata-rata hulu-hilir (m²);
- m = banyaknya luas bagian penampang basah.

Kecepatan rata-rata disetiap bagian penampang basah dihitung berdasarkan rumus 1 dan 2.

3.6.2. Pengumpulan Data Konsentrasi Merkuri

Pengumpulan data merupakan langkah penting dalam suatu kegiatan penelitian yang menentukan baik tidaknya kualitas suatu hasil penelitian dan keberhasilan dalam mencapai tujuan penelitian. Teknik pengumpulan data primer dalam penelitian ini dilakukan dengan pengukuran dan pengamatan langsung di lapangan yaitu survei lokasi penambang, jumlah unit pengolahan pada setiap lokasi tambang, jumlah tromol setiap unit pengolahan dan metode yang digunakan dalam pengolahan limbah buangan merkuri dan pengambilan sampel air dan sedimen.

Pengambilan sampel air dan sedimen untuk mengukur kandungan merkuri yang berada di saluran tailing dan sungai. Pengambilan sampel air dan sedimen dilakukan pada pada titik-titik yang sudah ditentukan berdasarkan pada jarak dan perubahan debit air.

▪ Pengambilan sampel air untuk pemeriksaan merkuri :

Cara pengambilan sampel air untuk pemeriksaan merkuri adalah sebagai berikut :

- 1) Sampel air diambil menggunakan jerigen sebesar 2 liter.
- 2) Jerigen diisi air sampai penuh dengan cara dibilas dahulu 2-3 kali dengan air yang akan diambil sampelnya.
- 3) Pengambilan sampel air di sungai menggunakan metode pengambilan contoh berstrata. Penampang sungai dibagi tiga bagian yaitu : bagian penampang atas (permukaan air), bagian tengah penampang dan bagian bawah penampang. Dari ketiga bagian inilah contoh air diambil secara acak untuk dianalisa.
- 4) Bagi parameter logam berat seperti merkuri diadakan pengawetan contoh dengan menggunakan asam nitrat pekat $\text{pH} < 2$.
- 5) Sampel yang telah dimasukkan ke dalam wadah, diberi label. Pada label tersebut dicantumkan keterangan mengenai lokasi pengambilan, tanggal pengambilan dan jam pengambilan, cuaca, jenis pengawet dan sketsa lokasi.

- 6) Wadah-wadah contoh yang telah ditutup rapat dimasukkan ke dalam kotak yang telah dirancang secara khusus agar contoh tidak tertumpah selama pengangkutan ke laboratorium. Prosedur pengujian merkuri di air ditunjukkan dalam Lampiran 2a.

3.6.3. Pengambilan sampel di sedimen dasar dan sedimen melayang (*Suspended load*) untuk pemeriksaan merkuri.

Pengambilan sampel di sedimen dasar digunakan *grab sampler*. Peralatan yang digunakan harus cukup menjamin keamanan dari sampel. Untuk sungai dangkal dapat diambil dengan penyebaran yang merata di dalam air dan dimasukkan ke dalam wadah yang tepat. Untuk sungai yang dalam dengan menggunakan galah atau tiang. Endapan sedimen dapat diambil secara langsung di dasar pada permukaan air dan harus mewakili adanya endapan dari sistem sungai di tempat tersebut. Prinsip kerja alat *grab sampler* adalah apabila alat ini diturunkan sampai dasar sungai, alat keruk (*grab*) kedua-duanya terbuka, kabel penggantung dikendorkan dan kemudian ketika sampel ini diangkat, alat keruk sampel akan tertutup.

Pengukuran konsentrasi sedimen melayang (*Total Suspended Solid*) dapat dilakukan dengan cara konvensional, yaitu melakukan pengukuran konsentrasi sedimen pada suatu vertikal dengan mengambil sampel sedimen, menggunakan metode :

1. Integrasi titik

Pada umumnya cara ini digunakan untuk pengukuran konsentrasi sedimen melayang pada sungai lebar atau pada sungai yang mempunyai penyebaran konsentrasi sedimen bervariasi. Pada suatu penampang melintang ditentukan beberapa vertikal pengukuran dengan jarak dibuat sedemikian rupa sehingga kecepatan aliran dan konsentrasi sedimen pada setiap vertikal yang berdekatan masing-masing mempunyai perbedaan yang kecil. Minimal dibutuhkan tiga buah vertikal.

Jumlah titik pengukuran dapat bervariasi tergantung dari kedalaman aliran dan ukuran butir sedimen melayang. Metode integrasi titik dapat dibedakan menjadi dua :

- a. banyak titik (*multipoint method*);
- b. sederhana (*simplified method*).

Pada metode banyak titik pengambilan sampel sedimen biasanya dilakukan lebih dari 5 (lima) titik pengukuran. Metode sederhana dapat dilakukan dengan :

- a. pengukuran satu titik (titik 0.5 atau 0.6 kedalaman aliran;
- b. pengukuran dua titik, dilakukan pada 0.2 atau 0.8 kedalaman aliran;
- c. pengukuran tiga titik, dilakukan pada 0.2; 0.6 dan 0.8 kedalaman aliran.

2. Integrasi kedalaman

Pengukuran merkuri pada TSS secara luas dilakukan sebagai monitoring sungai. Sebaiknya pengambilan dengan cara integrasi banyak titik pada sungai yang lebar dan dalam harus diambil pada tiga atau lima kedalaman sepanjang tiga atau delapan profil vertikal pada sungai. Sampel-sampel ini kemudian disatukan secara proporsional untuk diukur kecepatan pada masing-masing kedalaman. Bilamana kecepatan tidak diukur, percobaan untuk kedalaman digabungkan dapat digunakan. Kecepatan yang diambil adalah kecepatan rata-rata dari sampel air pada masing-masing profil. Satu sampel komposit air yang diperoleh adalah difiltrasi melalui ukuran filter 0,45 μm .

Penarikan sampel TSS untuk analisis kimia memerlukan tindakan pencegahan terhadap masuknya kontaminan. Untuk pengambilan sampel TSS dengan menggunakan alat USDH. Pengambilan sampel pada sungai kecil dan dangkal diambil secara sederhana dimana sampel-sampel diambil pada pertengahan kedalaman dan pada tengah-tengah sungai. Hal ini diasumsikan dapat menggambarkan kualitas rata-rata dari partikulat sungai. Untuk sungai yang lebar dan dangkal dapat diambil dengan menggabungkan kedalaman sungai. Ada dua cara untuk *integrated* kedalaman yaitu cara :

a. Cara EDI (*equal-discharge-increment*)

Pengambilan sedimen melayang cara EDI dilaksanakan dengan cara sebagai berikut : pada suatu penampang melintang dibagi menjadi beberapa sub penampang, dimana setiap sub penampang harus mempunyai debit yang sama. Kemudian pengukuran sedimen dengan cara ini dilaksanakan pada bagian tengah setiap sub penampang tersebut.

b. Cara EWI (*equal – with-increment*)

Pengambilan sedimen melayang cara EWI dilaksanakan dengan cara : pada suatu penampang melintang dibagi sejumlah jalur vertikal dengan jarak setiap vertikal dibuat

sama. Pengukuran angkutan sedimen melayang pada setiap jalur vertikal dilakukan dengan cara integrasi kedalaman serta menggerakkan alat ukurnya turun ataupun naik dengan kecepatan yang sama untuk semua jalur vertikal. Volume yang diperoleh akan sebanding dengan besar aliran pada tiap bagian penampang melintang. Sehingga sejumlah sampel dari setiap jalur vertikal dapat ditampung di dalam satu botol sampel. Dalam penelitian ini cara yang digunakan dalam pengambilan sampel sedimen melayang adalah cara EWI.

3.7. Teknis Analisis Data

Cara uji hipotesis dalam penelitian ini adalah :

- a) Uji hipotesis pertama tentang sebaran spasial dimana jarak mempengaruhi sejauh mana sebaran konsentrasi merkuri pada perubahan debit air di Sungai Mohutango dan Sungai Tulabolo dilakukan dengan menggunakan grafik dan selanjutnya diinterpretasi.
- b) Uji hipotesis kedua tentang bagaimana faktor-faktor lingkungan (debit, jarak dan besarnya limbah) dapat mempengaruhi konsentrasi merkuri di ekosistem Sungai Tulabolo. Analisis regresi sederhana dan ganda digunakan untuk menyusun model hubungan korelasi kuantitatif antara konsentrasi merkuri (air dan sedimen) dengan faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhinya sebagai dasar monitoring pengelolaan pencemaran air.

Variabel-variabel yang digunakan dalam analisis regresi adalah meliputi variabel terikat/terikat (Y) dan variabel bebas (X). Variabel yang terikat tersebut adalah konsentrasi merkuri (Hg). Variabel bebas adalah faktor-faktor yang diduga mempengaruhi variabel terikat yaitu debit air (X_1) dan jarak yang ditinjau (X_2) pada kondisi debit rendah, sedang dan tinggi.

Uji hipotesis tentang konsentrasi merkuri yang terjadi di air dan sedimen dengan faktor-faktor yang mempengaruhinya dilakukan dengan analisis regresi sederhana dengan rumus sebagai berikut :

$$Y = a + bX$$

Keterangan :

Y = Konsentrasi merkuri

a dan b = Koefisien regresi

X = Jarak

Untuk mengetahui apakah ada perbedaan antara hasil konsentrasi merkuri pada kelompok debit tinggi, debit sedang dan debit rendah dianalisis dengan Uji-Beda T-test dengan *Paired Samples T Test*.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri Hulu Hilir Pada Ekosistem Sungai Pada Masing-Masing Kegiatan Penambangan Emas Tradisional.

4.1.1. Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri Pada Sedimen Dasar Akibat Kegiatan Penambangan Emas Titik Bor 17

Pengaruh kegiatan penambangan emas di Titik Bor 17 terhadap konsentrasi merkuri di dalam sedimen dasar dari tailing hingga Sungai Bone selama 6 kali sampling ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Konsentrasi merkuri pada sedimen dasar di Bor 17

Jarak (m)	Jarak (m)	Qr1	Qs1	Qs2	Qs3	Qt1	Qt2
A2	100	172,250	7,650	21,150	21,148	21,148	21,148
A3	273	0,129	1,188	4,988	48,503	6,763	4,300
A4	897	1,762	0,977	1,122	0,947	0,836	1,160
A5	1981	0,840	0,218	1,789	0,584	1,757	0,210
AB	4935	0,796	2,774	2,860	2,078	2,245	15,550
A6	5329	0,722	1,836	1,472	0,738	1,234	1,940
A7	5953	2,704	0,379	25,092	12,039	21,880	0,490
A8	7599	0,222	0,025	2,473	0,724	1,640	0,250
A9	10219	0,110	0,052	1,158	5,171	1,184	0,039
D2	10757	0,220	1,246	1,563	8,755	1,238	0,220

Sumber : Hasil analisis

Keterangan : Qr 1 = debit rendah

Qs2 = debit sedang ke II

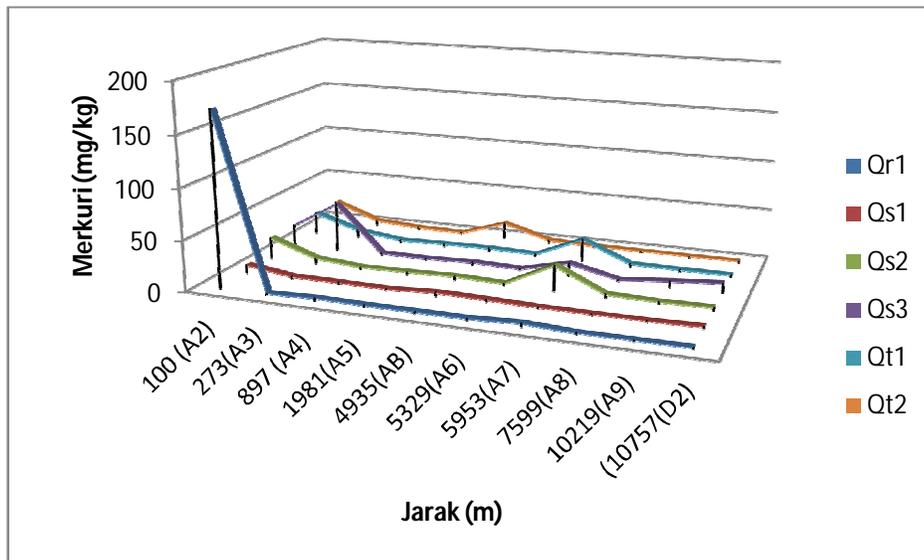
Qt1 = debit tinggi ke I

Qs1 = debit sedang ke I

Qs3 = debit sedang ke III

Qt2 = debit tinggi ke II

Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap besarnya konsentrasi merkuri pada sedimen dasar adalah jarak pengambilan sampel atau titik yang ditinjau dari sumber limbah. Pola konsentrasi merkuri dari tailing di Titik Bor 17 hingga hilir ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Pola konsentrasi merkuri di dalam sedimen dasar di Bor 17

Hasil analisis menunjukkan bahwa secara umum dari enam kali sampling di Titik Bor 17 konsentrasi merkuri yang tinggi terdapat pada sumber limbah. Setelah masuk ke sungai konsentrasi merkuri cenderung tinggi di *effluent* Sungai 17, selanjutnya menurun menuju hilir. Semakin ke hilir sungai, konsentrasinya semakin kecil. Bagian hulu Titik Bor 17 merupakan sumber limbah (saluran tailing lokasi A2) memiliki konsentrasi merkuri yang tertinggi. Konsentrasi tertinggi pada periode sampling I sebesar 172 mg/kg dan terendah pada sampling periode ke II sebesar 7.65 mg/kg. Tingginya konsentrasi merkuri pada saluran tailing disebabkan proses pengolahan secara amalgamasi. Setelah pengambilan amalgam, tailing/ampas sisa pengolahan yang kemungkinan masih mengandung air raksa, yang apabila terbuang ke lingkungan sekitarnya akan terbawa oleh aliran ke arah hilir.

Bagian tengah Sungai Tulabolo selama 6 kali sampling menunjukkan kecenderungan kenaikan konsentrasi merkuri pada sedimen dasar yaitu lokasi AB. Peningkatan konsentrasi merkuri lebih disebabkan karena lokasi AB merupakan pertemuan antara limbah yang berasal dari tambang Titik Bor 17 dan tambang Daerah Mohutango. Selanjutnya pada bagian hilir Sungai Tulabolo, konsentrasi merkuri pada sedimen dasar mengalami penurunan.

Lokasi D2 merupakan lokasi terjauh dari titik pengambilan sampling. Selama 6 kali pengambilan sampling, konsentrasi merkuri cenderung meningkat berkisar 0,22 – 8,7553. Pada Lokasi D2, hipotesis semakin jauh jarak, konsentrasi merkuri semakin menurun tidak dapat dibuktikan. Hal ini disebabkan adanya tambang tradisional lainnya yaitu tambang tradisional Motomboto yang juga aktif. Tambang Motomboto membuang limbahnya masuk ke Sungai Motomboto dan bermuara di Sungai Bone. Hal ini menambah beban limbah yang masuk ke Sungai Bone. Lokasi D1 berada di Sungai Bone hulu sebelum pertemuan dengan Sungai Tulabolo. Lokasi D1 merupakan kontrol adanya aliran tambang lain yang masuk ke Sungai Bone. Peningkatan konsentrasi merkuri di lokasi D1 selama 6 kali sampling sebesar 0,064 – 7,472 mg/kg.

Berdasarkan hasil analisis secara umum konsentrasi merkuri pada sedimen dasar mengalami penurunan di lokasi yang jauh dari sumber limbah, dan selama tidak ada penambahan beban limbah dari sumber lain yang masuk ke dalam aliran sungai tersebut.

4.1.2. Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri Pada Sedimen Dasar Akibat Kegiatan Penambangan Emas Tradisional Daerah Mohutango

Konsentrasi merkuri di lokasi hulu, yaitu lokasi B2 - B4 berkisar (1,3708 – 138,911 mg/kg) dan (2,3808 – 8,5138 mg/kg). Bagian tengah B5 (AB) – A8 berkisar sebesar (0,796 – 15,55 mg/kg) dan (0,222 – 2,47 mg/kg). Bagian hilir dari lokasi A9 yaitu hilir Sungai Tulabolo, konsentrasi merkuri berkisar 0,11 – 5,1576 mg/kg. Pengaruh kegiatan penambangan emas Daerah Mohutango terhadap konsentrasi merkuri di dalam sedimen dasar dari tailing hingga Sungai Bone ditunjukkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Konsentrasi merkuri pada sedimen dasar di Daerah Mohutango

Sampel	Jarak (m)	Qr1	Qs1	Qs2	Qs3	Qt1	Qt2
		(mg/kg)					
B2	100	138,911	1,371	62,413	53,422	42,829	39,710
B3	178	129,660	10,440	69,027	53,458	24,362	38,470
B4	752	2,493	7,958	8,514	2,381	4,448	37,300
AB	1539	0,796	2,774	2,860	2,078	2,245	15,550

Tabel 4.2. Lanjutan.....

A6	1933	0,722	1,836	1,472	0,738	1,234	1,940
A7	2557	2,704	0,380	25,092	12,039	21,880	0,490
A8	4203	0,222	0,025	2,473	0,724	1,640	0,250
A9	6823	0,110	0,052	1,158	5,171	1,184	0,039
D2	7361	0,220	1,246	1,563	8,755	1,238	0,220

Sumber : Hasil analisis

Keterangan : Qr 1 = debit rendah

Qs2 = debit sedang ke II

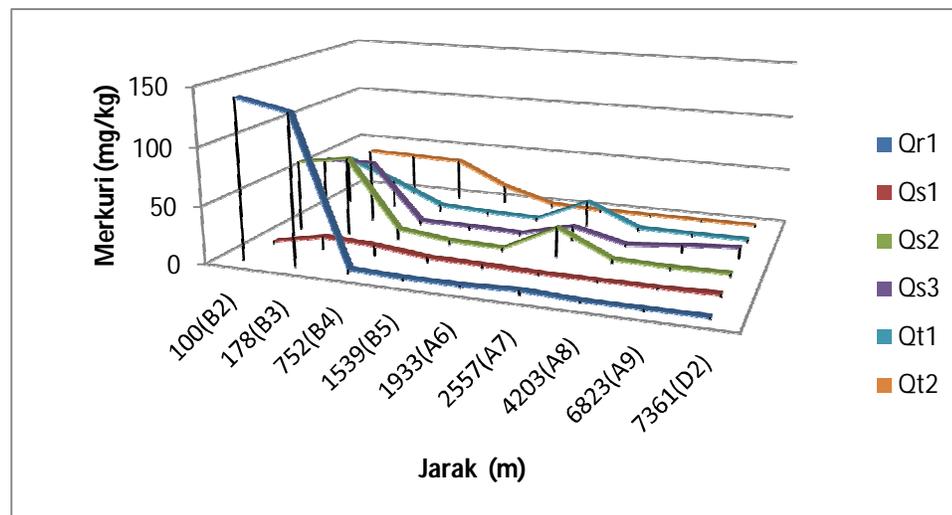
Qt1 = debit tinggi ke I

Qs1 = debit sedang ke I

Qs3 = debit sedang ke III

Qt2 = debit tinggi ke II

Lokasi D2 di Sungai Bone memiliki kandungan konsentrasi merkuri lebih tinggi dari lokasi A9 karena adanya tambahan beban cemar dari lokasi tambang lain yang bermuara di Sungai Bone. Sebagaimana tambang Titik Bor 17, Tambang Daerah Mohutango juga memiliki konsentrasi merkuri yang tinggi, terutama di lokasi yang menjadi sumber limbah. Pola konsentrasi merkuri akibat kegiatan penambangan emas Daerah Mohutango 6 kali sampling ditunjukkan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Pola konsentrasi merkuri pada sedimen dasar di Daerah Mohutango

Tabel 4.2. menunjukkan pola konsentrasi merkuri pada sedimen dasar akibat kegiatan penambangan emas Daerah Mohutango. Semakin ke hilir sungai, konsentrasi merkuri, semakin rendah. Tingginya konsentrasi merkuri di sekitar tailing karena pada saat pemisahan merkuri dari amalgam, dilakukan dengan cara penyiraman dan

penghanyutan. Pada saat pemisahan air raksa dan amalgam, dimana amalgam mempunyai berat jenis jauh lebih besar, maka sebagian merkuri ikut terbawa hanyut bersama air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi merkuri pada sedimen dasar makin menurun sejalan dengan makin jauh jarak pengukuran dari sumber limbah.

4.1.3. Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri Pada Sedimen Melayang Akibat Kegiatan Penambangan Emas Titik Bor 17

Pengaruh kegiatan penambangan emas di Titik Bor 17 terhadap konsentrasi merkuri di dalam sedimen melayang dari tailing hingga Sungai Bone ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Konsentrasi merkuri pada sedimen melayang di Bor 17

Jarak (m)	Jarak (m)	Qr1	Qs1	Qs2	Qs3	Qt1	Qt2
		(mg/kg)					
A2	100	132,757	13,187	48,200	48,200	48,200	48,200
A3	273	70,977	17,759	44,160	50,060	45,214	10,120
A4	897	13,753	0,696	24,430	5,170	8,422	8,810
A5	1981	3,700	3,217	56,150	1,522	50,083	24,180
AB	4935	4,160	3,836	8,890	3,559	5,374	6,870
A6	5329	1,152	0,174	20,007	2,365	6,531	12,340
A7	5953	2,779	2,259	43,760	2,380	38,159	1,725
A8	7599	1,399	3,519	14,532	2,500	5,852	2,280
A9	10219	16,402	5,532	4,834	2,570	4,428	0,440
D2	10757	0,740	0,025	7,098	1,328	5,344	0,566

Sumber : Hasil analisis

Keterangan : Qr 1 = debit rendah

Qs2 = debit sedang ke II

Qt1 = debit tinggi ke I

Qs1 = debit sedang ke I

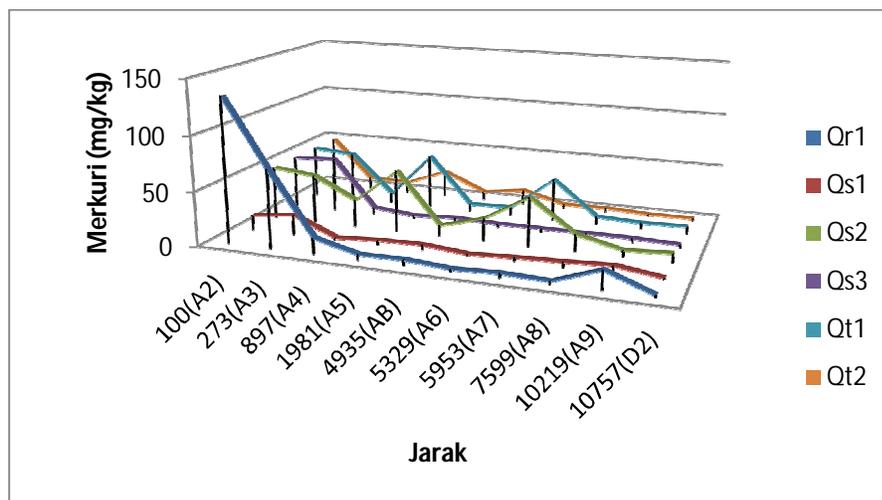
Qs3 = debit sedang ke III

Qt2 = debit tinggi ke II

Lokasi hulu Bor 17 yaitu lokasi A2, A3 dan A4. Lokasi A2 merupakan sumber limbah (tailing), konsentrasi merkuri sangat tinggi berkisar 13.1872 – 132.757 mg/kg. Konsentrasi merkuri tertinggi di lokasi A2 sebesar 132.757 mg/kg yang dilakukan pada sampling periode ke 1. Sampling periode ke I dilakukan pada musim kemarau dengan debit terukur 0.0070 m³/det. Kurangnya pengenceran di sungai, menyebabkan merkuri

yang melayang-layang di air akhirnya mengendap dan terkumpul di daerah hulu sungai. Kecepatan air tidak cukup kuat membawa partikel-partikel yang mengandung merkuri ke arah hilir sungai.

Bagian tengah Sungai Tulabolo yaitu lokasi A5, AB, A6, A7 dan A8. Konsentrasi merkuri tertinggi pada bagian tengah Sungai Tulabolo yaitu lokasi A7 berkisar 1,725 – 43,76 mg/kg. Banyak faktor yang menyebabkan konsentrasi merkuri dalam sedimen melayang di sungai berfluktuasi. Selain karena adanya tambang lain disekitar, faktor kondisi aliran dan komposisi dari partikel yang melayang-layang di dalam air dapat mempengaruhi berfluktuasinya konsentrasi merkuri di sepanjang sungai. Pola konsentrasi merkuri pada sedimen melayang akibat kegiatan penambangan di Titik Bor 17 selama 6 kali pengukuran pada berbagai jarak ditunjukkan dalam Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Pola konsentrasi merkuri pada sedimen melayang di Bor 17

Bagian hilir Sungai Tulabolo yaitu lokasi A9 mempunyai konsentrasi merkuri sebesar 0,44 – 16,402 mg/kg dan muara Sungai Tulabolo yaitu Sungai Bone berkisar 0.0249 – 7.0981 mg/kg. Kondisi ini menunjukkan bahwa konsentrasi merkuri di sedimen melayang cenderung menurun sesuai dengan penambahan jarak.

4.1.4. Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri Pada Sedimen Melayang Akibat Kegiatan Penambangan Emas Daerah Mohutango

Hulu Sungai Mohutango yaitu lokasi B2, B3 dan B4. Konsentrasi merkuri tertinggi di lokasi B2 berkisar 16,81 – 321 mg/kg. Tingginya konsentrasi merkuri di lokasi B2 karena merupakan sumber limbah tambang emas Daerah Mohutango. Lokasi B3 merupakan *effluent* sehingga memiliki konsentrasi merkuri yang cukup tinggi berkisar (3,639 – 159,47 mg/kg). Lokasi B4 berkisar antara 5,654 – 18,2406 mg/kg. Konsentrasi merkuri di Sungai Mohutango makin ke hilir makin menurun. Pengaruh kegiatan penambangan Bor Mohutango dari tailing menuju hilir Sungai Bone pada sedimen melayang ditunjukkan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Konsentrasi merkuri pada sedimen melayang Di Daerah Mohutango

Lokasi	Jarak (m)	Qr1	Qs1	Qs2	Qs3	Qt1	Qt2
		Mg/kg					
B2	100	321,630	22,953	41,840	16,810	24,689	43,170
B3	178	159,470	24,948	29,380	3,639	9,092	32,290
B4	752	7,500	18,241	12,045	11,310	5,654	10,050
AB	1539	4,160	3,836	8,890	3,559	5,374	6,870
A6	1933	1,152	0,174	20,007	2,365	6,531	12,340
A7	2557	2,779	2,259	43,760	2,380	38,159	1,725
A8	4203	1,399	3,520	14,532	2,500	5,852	2,280
A9	6823	16,402	5,532	4,834	2,570	4,428	0,440
D2	7361	0,740	0,025	7,098	1,328	5,344	0,566

Sumber : Hasil analisis

Keterangan : Qr 1 = debit rendah

Qs2 = debit sedang ke II

Qt1 = debit tinggi ke I

Qs1 = debit sedang ke I

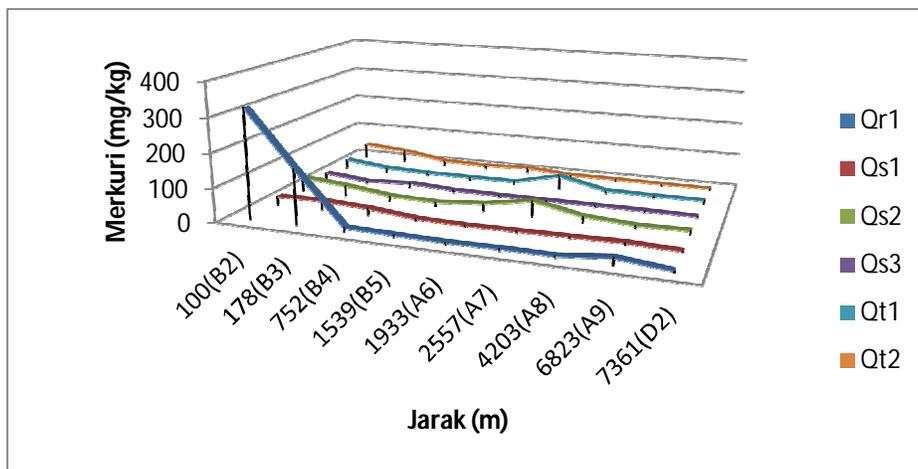
Qs3 = debit sedang ke III

Qt2 = debit tinggi ke II

Bagian tengah yaitu lokasi B5 (AB), A6, A7 dan A8 berada di Sungai Tulabolo. Lokasi AB, A6, A7 dan A8 merupakan lokasi yang sama yang berasal dari kegiatan penambangan emas Titik Bor 17. Lokasi AB merupakan pertemuan aliran limbah yang masuk ke Sungai Tulabolo, yang berasal dari Titik Bor 17 dan dan Bor Mohutango. Lokasi AB memiliki konsentrasi merkuri berkisar 3,5592 – 8.8896 mg/kg.

Bagian hilir Sungai Tulabolo yaitu lokasi A9 dan D2 juga merupakan hilir dari lokasi penambangan Titik Bor 17. Konsentrasi merkuri di hilir sungai lokasi A9 berkisar 0,44 – 16,402 mg/kg.

Terjadi kecenderungan penurunan merkuri pada sedimen melayang pada berbagai jarak baik hulu, tengah maupun hilir karena adanya proses pengenceran, pengendapan, adsorpsi dan absorpsi oleh organisme di sepanjang sungai. Pola konsentrasi merkuri pada sedimen melayang akibat kegiatan penambangan Mohutango dari tailing hingga Sungai Bone ditunjukkan dalam Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Pola konsentrasi merkuri pada sedimen melayang Daerah Mohutango

4.1.5. Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri Akibat Kegiatan Penambangan Emas Titik Bor 17 Terhadap Konsentrasi Merkuri di Air.

Pengaruh penambangan terhadap air sungai ditandai dengan peningkatan konsentrasi merkuri dalam air dan sedimen. Kondisi konsentrasi merkuri tertinggi di lokasi A2 berkisar 0,00193 – 0,00758 mg/l. Tingginya konsentrasi merkuri di lokasi A2, karena merupakan sumber limbah tambang Titik Bor 17. Lokasi A3 merupakan *effluent* limbah tambang Titik Bor 17, konsentrasi merkuri berkisar 0 – 0,00088 mg/l. Konsentrasi merkuri di Sungai 17 cenderung menurun jika makin jauh jarak yang ditinjau dari sumber limbah. Menurunnya konsentrasi merkuri karena adanya pengenceran terutama di daerah hilir. Pengaruh kegiatan penambangan terhadap

konsentrasi merkuri dalam air dari tailing Bor 17 hingga hilir Sungai Bone ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Konsentrasi merkuri pada air di Bor 17

Lokasi		Merkuri di Air (mg/l)					
Sampel	Jarak (m)	Qr1	Qs1	Qs2	Qs3	Qt1	Qt2
A2	100	0,0050	0,00758	0,00193	0,00193	0,00193	0,00193
A3	273	0,0020	0,00095	0,00446	0,00168	0,00103	0,00006
A4	897	0,0004	0,00000	0,00047	0,00088	0,00032	0,00009
A5	1981	0,0002	0,00042	0,00018	0,00098	0,00019	0,00027
AB	4935	0,0003	0,00825	0,00104	0,00800	0,00019	0,00000
A6	5329	0,0003	0,00007	0,00318	0,00068	0,00099	0,00006
A7	5953	0,0003	0,00000	0,00362	0,00073	0,00158	0,00022
A8	7599	0,0006	0,00802	0,00013	0,00016	0,00056	0,00056
A9	10219	0,0001	0,00786	0,00040	0,00000	0,00035	0,00003
D2	10757	0,0002	0,00326	0,02985	0,00103	0,00060	0,00017

Sumber : Hasil analisis

Keterangan : Qr 1 = debit rendah

Qs2 = debit sedang ke II

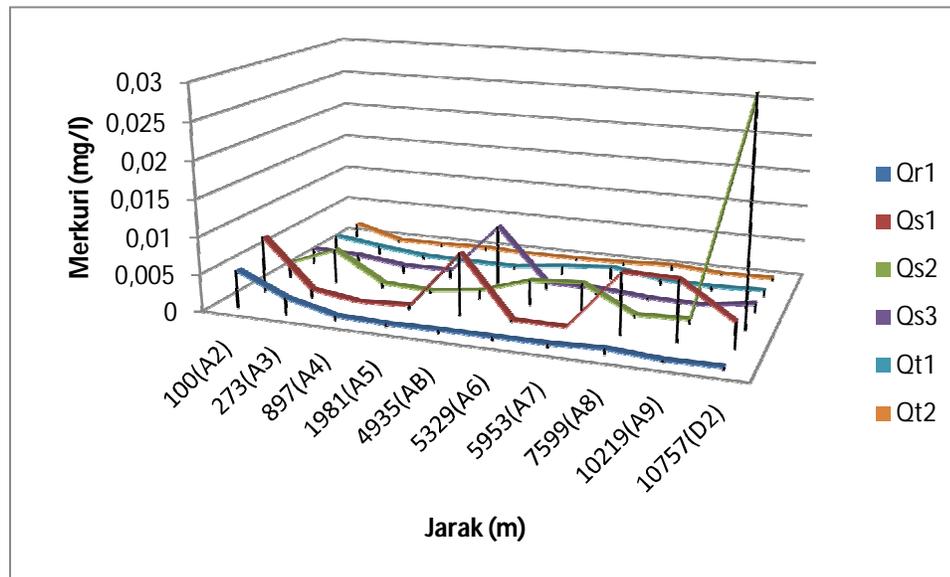
Qt1 = debit tinggi ke I

Qs1 = debit sedang ke I

Qs3 = debit sedang ke III

Qt2 = debit tinggi ke II

Lokasi bagian tengah yaitu lokasi AB memiliki konsentrasi merkuri berkisar 0 – 0,008. Lokasi AB, konsentrasi merkurnya cenderung meningkat karena merupakan pertemuan limbah yang berasal dari Bor 17 dan Daerah Mohutango. Lokasi hilir Sungai Tulabolo yaitu Lokasi A9 berkisar (0 – 0,007862 mg/l). Lokasi D2 merupakan berkisar 0,00017 – 0.02985 mg/l. Kenaikan di Lokasi D2 karena masukan limbah dari tambang lain di sekitar. Pola konsentrasi merkuri dalam air dari tailing di Bor 17 menuju hilir Sungai Bone ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Pola Konsentrasi merkuri dalam air di Titik Bor 17

Adanya merkuri dalam air karena proses amalgamasi, pada saat pemisahan merkuri dan emas, maka merkuri akan terbuang bersama aliran air ke sungai. Faktor lain yang mempengaruhi peningkatan merkuri di air adalah karena adanya pelipatgandaan karena proses bakterial terhadap ion logam. Penurunan konsentrasi merkuri dalam air dapat juga karena pengenceran, adsorpsi dan absorpsi oleh organisme di sungai. Hal inilah yang menyebabkan sangat sulitnya prediksi konsentrasi merkuri dalam air.

4.1.6. Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri di Dalam Air Akibat Kegiatan Penambangan Emas Daerah Mohutango

Konsentrasi merkuri tertinggi di Lokasi B2 selama 6 kali sampling berkisar 0,00039 – 0,00867 mg/l. Konsentrasi merkuri tertinggi di lokasi ini karena merupakan sumber limbah Bor Mohutango. Lokasi B3 merupakan *effluent* limbah Bor Mohutango berkisar 0,00022 – 0,00749 mg/l. Lokasi B4, konsentrasi merkuri berkisar 0 – 0,01415 mg/l. Pengaruh penambangan emas Daerah Mohutango terhadap konsentrasi merkuri di air dari tailing Bor Mohutango sampai menuju hilir Sungai Bone ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Konsentrasi merkuri dalam air Daerah Mohutango

Lokasi		Merkuri di Air (mg/l)					
Sampel	Jarak (m)	Qr1	Qs1	Qs2	Qs3	Qt1	Qt2
B2	100	0,0002	0,00699	0,00867	0,00280	0,00127	0,00039
B3	178	0,0020	0,00176	0,00749	0,00011	0,00118	0,00022
B4	752	0,0001	0,00006	0,01415	0,00000	0,00008	0,00045
AB	1539	0,0003	0,00825	0,00104	0,00800	0,00019	0,00000
A6	1933	0,0003	0,00007	0,00318	0,00068	0,00099	0,00006
A7	2557	0,0003	0,00000	0,00362	0,00073	0,00158	0,00022
A8	4203	0,0006	0,00802	0,00013	0,00016	0,00056	0,00056
A9	6823	0,0001	0,00786	0,00040	0,00000	0,00035	0,00003
D2	7361	0,0002	0,00326	0,02985	0,00103	0,00060	0,00017

Sumber : Hasil analisis

Keterangan : Qr 1 = debit rendah

Qs2 = debit sedang ke II

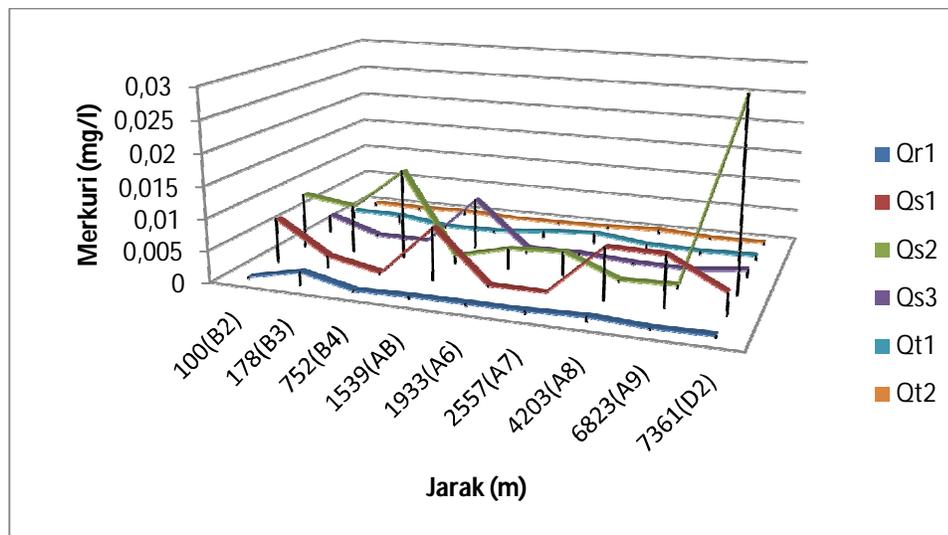
Qt1 = debit tinggi ke I

Qs1 = debit sedang ke I

Qs3 = debit sedang ke III

Qt2 = debit tinggi ke II

Berdasarkan Tabel 4.6, konsentrasi merkuri dalam air di Sungai Mohutango cenderung menurun. Hal ini disebabkan proses pengenceran dan pengendapan yang terjadi di sungai. Pola konsentrasi merkuri dalam air dari tailing Bor Mohutango ke hilir Sungai Bone ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Pola Konsentrasi merkuri dalam air di Daerah Mohutango

Faktor lain yang sulit diperhitungkan adalah konsentrasi merkuri dalam air di Sungai Mohutango dapat mengalami kenaikan karena adanya pelipatgandaan merkuri dalam air yang berasal dari proses bakterial terhadap ion logam atau merkuri yang terdapat dalam lumpur di dasar perairan. Hal inilah yang menyebabkan sangat sulitnya prediksi konsentrasi merkuri dalam air.

4.2. Pengaruh Berbagai Faktor terhadap Hasil Konsentrasi Merkuri di Air dan Sedimen

4.2.1. Pengaruh Jarak terhadap Konsentrasi Merkuri

a) Pengaruh jarak terhadap konsentrasi merkuri rata-rata di sedimen dasar

Hasil analisis regresi sederhana menunjukkan bahwa variabel jarak dapat memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri di sedimen dasar di Sungai Tulabolo dengan koefisien korelasi (R) sebesar 0,783 (debit rendah), 0,873 (debit sedang), 0,670 (debit tinggi) dengan koefisien determinansi (R^2) sebesar 0,613 (debit rendah), 0,762 (debit sedang) dan 0,449 (debit tinggi). Hal ini berarti bahwa jarak memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri di sedimen dasar sebesar 61,3 % (debit rendah), 76,2 % (debit sedang) dan 44,9% (debit tinggi). Hasil uji ANOVA dengan nilai signifikansi 0,001 (debit rendah), 0,000 (pada debit sedang) dan 0,003 (debit tinggi) menunjukkan bahwa persamaan regresi pada berbagai debit dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi merkuri di sedimen dasar pada berbagai jarak. Variabel jarak menunjukkan probabilitas signifikansi pada 0.05 sehingga dapat disimpulkan bahwa konsentrasi merkuri dipengaruhi jarak. Elastisitas konsentrasi merkuri pada debit rendah terhadap jarak sebesar -1,573, yang berarti setiap penambahan jarak 1 % dari lokasi tambang, maka konsentrasi merkuri akan menurun sebesar 1,573 %. Elastisitas konsentrasi merkuri pada debit sedang terhadap jarak sebesar - 1,951 yang berarti setiap penambahan jarak sebesar 1 % akan menurunkan konsentrasi merkuri sebesar 1,951%. Pada debit tinggi, elastisitas konsentrasi merkuri terhadap jarak sebesar -0,713 yang berarti setiap penambahan jarak 1% akan menurunkan konsentrasi merkuri sebesar

0,713%. Semakin jauh jarak yang ditinjau maka semakin menurun konsentrasi merkuri di sedimen dasar.

Pengaruh jarak terhadap konsentrasi merkuri rata-rata di dalam sedimen dasar ditunjukkan dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Pengaruh jarak terhadap konsentrasi merkuri rata-rata pada sedimen dasar

Lokasi	Jarak (m)	Merkuri (mg/kg)		
		Debit Rendah	Debit Sedang	Debit Tinggi
A0	250	0,000	1,476	13,499
A1	243	0,000	1,489	1,705
A2	100	172,250	16,649	21,148
A3	273	0,129	18,226	5,532
A4	897	1,762	1,015	0,998
A5	1981	0,840	0,863	0,984
B1	290	147,949	39,069	16,845
B2	100	138,911	44,308	41,269
B3	178	129,660	6,284	31,416
B4	752	2,493	2,570	20,874
B5	1539	0,796	16,278	8,898
A6	1933	0,722	1,349	1,587
A7	2557	0,704	12,503	11,185
A8	4203	0,222	1,704	0,945
A9	6823	0,110	2,127	0,612
D1	1000	0,064	3,001	3,683
D2	7361	0,220	3,855	0,729

Sumber : Hasil analisis

Faktor lain yang berpengaruh terhadap konsentrasi merkuri di sedimen dasar pada berbagai jarak adalah kecepatan aliran. Aliran sungai yang kecepatannya rendah akan mengakibatkan pembentukan lumpur dan sedimen di sungai. Persamaan regresi hubungan antara konsentrasi merkuri pada berbagai jarak dan debit air ditunjukkan dalam Tabel 4.8. Koefisien unstandarisasi β di sedimen dasar ditunjukkan dalam Tabel 4.9.

Tabel 4.8 Persamaan regresi hubungan antara jarak dengan konsentrasi merkuri rata-rata di sedimen dasar

No	Debit	Persamaan	R	R ²	Std Error of Estimaste	Sig
1	Rendah	LogY = 4,962 – 1,573 Log X	0,783	0,613	0.803	0,001
2	Sedang	LogY = 6,658 – 1,951 Log X	0,873	0,762	0,631	0,000
3	Tinggi	LogY = 2,928 – 0,713 log X	0,670	0,449	0,486	0,003

Sumber : Hasil analisis

Keterangan : Signifikansi pada tingkat kepercayaan 95%

Tabel 4.9. Unstandardized beta coefficients di sedimen dasar

No	Debit	Coefficient			Coefficient		
		Koefisien variabel bebas	Std Error	Sig	Constant	Std Error	Sig
1	Rendah	-1,573	0,347	0,001	4,962	4,962	0,000
2	Sedang	-1,951	0,303	0,000	6,658	1,000	0,000
3	Tinggi	-0,713	0,204	0,003	2,928	0,654	0,000

Sumber : Hasil analisis

Keterangan : Signifikansi pada tingkat kepercayaan 95%

Berdasarkan uji regresi sederhana maka konsentrasi merkuri pada sedimen dasar di aliran Sungai Tulabolo, semakin jauh jarak semakin menurun konsentrasinya. Subandri (2008) menganalisa pengaruh konsentrasi merkuri secara spasial dan tidak secara temporal. Penelitian yang dilakukan oleh Subandri (2008) menunjukkan bahwa adanya kecenderungan semakin jauh jarak dari titik kontrol semakin turun kadar merkuri sebesar 0,20 ppb.

Faktor lain yang berpengaruh terhadap konsentrasi merkuri pada sedimen dasar pada berbagai jarak adalah debit air. Aliran sungai yang kecepatannya rendahnya akan mengakibatkan pembentukan lumpur dan sedimen di sungai.

Secara umum berdasarkan hasil analisis, bahwa konsentrasi merkuri pada sedimen dasar pada berbagai debit memiliki kecenderungan semakin ke hilir semakin rendah. Pada jarak yang lebih dekat akan mempunyai konsentrasi merkuri yang lebih tinggi dibandingkan dengan jarak yang jauh dari kegiatan penambangan.

Sedimen dasar didefinisikan sebagai sebagian beban yang bergerak sepanjang alas sungai dengan cara menggelinding, bergeser atau berloncatan. Banyaknya beban dipengaruhi oleh kondisi aliran, jika ada pasok (*supply*) cukup untuk memelihara

pengangkutan pada kapasitas alur (Soemarto, 1999). Bentuk, ukuran dan beratnya partikel tanah tersebut akan menentukan besarnya angkutan sedimen. Kemampuan tanah untuk terkikis tidak hanya tergantung pada ukuran partikel-partikelnya tetapi sifat fisik bahan organik dan bahan anorganik yang terikat bersama-sama partikel tersebut. Apabila partikel tanah tersebut terkikis dari daerah penambangan emas rakyat, maka endapan yang dihasilkan akan membawa partikel-partikel tanah yang mengandung merkuri sebagai akibat hasil proses amalgamasi ke aliran sungai.

Dasar sungai biasanya tersusun oleh endapan dari material angkutan sedimen yang terbawa oleh aliran sungai dan material tersebut dapat terangkut kembali apabila kecepatan aliran cukup tinggi. Besarnya volume angkutan sedimen terutama tergantung daripada kecepatan aliran, karena perubahan musim penghujan dan kemarau, serta perubahan kecepatan yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia. Sebagai akibat dari perubahan volume angkutan sedimen adalah terjadinya penggerusan di beberapa tempat serta terjadinya pengendapan ditempat lain pada dasar sungai, dengan demikian bentuk dari dasar sungai akan selalu berubah. Angkutan sedimen dapat bergerak, bergeser, disepanjang dasar sungai, tergantung daripada :

- a) Komposisi (ukuran dan berat jenis, dan lain-lain).
- b) Kondisi aliran (kecepatan aliran, kedalaman aliran, dan sebagainya).

Adanya muatan sedimen dasar ditunjukkan oleh gerakan partikel-partikel dasar sungai, gerakan itu dapat bergeser, menggelinding atau meloncat-loncat, akan tetapi tidak pernah lepas dari dasar sungai. Gerakan ini kadang-kadang dapat sampai pada jarak tertentu, dengan ditandai bercampurnya butiran partikel tersebut bergerak ke arah hilir. Kualitas dan kuantitas material yang terbawa aliran sepanjang dasar sungai tergantung pada penyebaran erosi di daerah pegunungan, dan juga tergantung dari derajat kemiringan lereng, struktur geologi dan vegetasi. Tenaga yang menggerakkan sedimen dasar adalah tenaga tarik aliran yang dengan kapasitas tertentu dapat menggerakkan partikel-partikel di sepanjang sungai. Tenaga tarik aliran merupakan salah satu faktor yang menyebabkan jumlah partikel sedimen dasar bervariasi sepanjang sungai. Apabila tenaga tarik tersebut berkurang maka jumlah partikel yang terangkut juga berkurang.

Hasil penelitian yang dilakukan Ikhsan (2007) menunjukkan bahwa semakin kecil diameter butir sedimen, cenderung makin banyak *bed load* yang terangkut. Semakin besar debit yang dialirkan, semakin banyak *bed load* yang terangkut.

Sedimen dalam suatu badan air merupakan salah satu hasil dari suatu proses-proses yang terjadi pada lingkungan. Proses ini bisa berlangsung secara alamiah maupun pengaruh aktivitas manusia. Pada sedimen terendapkan berbagai macam bahan pencemar yang semakin lama akan terakumulasi, dan pada kondisi tertentu bahan pencemar yang sudah terendapkan ini akan dilepaskan kembali pada perairan jika terjadi perubahan terhadap lingkungan.

b) Pengaruh jarak terhadap konsentrasi merkuri rata-rata di sedimen melayang

Hasil analisis regresi sederhana menunjukkan bahwa variabel jarak dapat memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri di sedimen melayang di Sungai Tulabolo dengan koefisien korelasi (R) sebesar 0,852 (debit rendah), 0,662 (debit sedang), 0,583 (debit tinggi) dengan koefisien determinansi (R^2) sebesar 0,727 (debit rendah), 0,439 (debit sedang) dan 0,340 (debit tinggi). Hal ini berarti bahwa jarak memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri di sedimen melayang sebesar 72,7 % (debit rendah), 43,9 % (debit sedang) dan 34 % (debit tinggi). Hasil uji ANOVA dengan nilai signifikansi 0,000 (debit rendah), 0,004 (pada debit sedang) dan 0,014 (debit tinggi) menunjukkan bahwa persamaan regresi pada berbagai debit dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi merkuri di sedimen melayang pada berbagai jarak. Variabel jarak menunjukkan probabilitas signifikansi pada 0.05 sehingga dapat disimpulkan bahwa konsentrasi merkuri di sedimen melayang dipengaruhi jarak. Elastisitas konsentrasi merkuri pada debit rendah terhadap variabel jarak sebesar -1,226, yang berarti setiap penambahan jarak 1 % dari lokasi tambang, maka konsentrasi merkuri akan menurun sebesar 1,226%. Elastisitas konsentrasi merkuri pada debit sedang terhadap jarak sebesar -0,398, yang berarti setiap penambahan jarak sebesar 1 %

akan menurunkan konsentrasi merkuri sebesar 0,398%. Pada debit tinggi, elastisitas konsentrasi merkuri terhadap jarak sebesar -0,416 yang berarti setiap pertambahan jarak 1% akan menurunkan konsentrasi merkuri sebesar 0,416%. Semakin jauh jarak yang ditinjau pada berbagai debit air, maka konsentrasi merkuri di sedimen melayang semakin menurun. Pengaruh jarak terhadap konsentrasi merkuri rata-rata pada sedimen melayang ditunjukkan dalam Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Pengaruh jarak terhadap konsentrasi merkuri rata-rata pada sedimen melayang

Lokasi	Jarak	Merkuri (mg/kg)		
		Debit Rendah	Debit Sedang	Debit Tinggi
A0	250	0,000	8,385	23,938
A1	243	0,000	6,520	3,173
A2	100	132,757	48,200	48,200
A3	273	70,977	37,326	27,667
A4	897	13,753	10,099	8,612
A5	1981	3,700	20,296	37,132
A6	1933	1,152	7,515	9,436
A7	2557	2,779	16,133	19,942
A8	4203	1,399	6,850	4,066
A9	6823	6,402	4,312	2,434
B1	290	125,317	16,996	6,854
B2	100	321,639	27,201	33,930
B3	178	159,476	19,322	20,691
B4	752	7,500	13,865	7,852
AB	1539	4,160	5,428	6,122
D1	1000	1,554	2,804	2,929
D2	7361	0,740	2,817	2,955

Sumber : Hasil analisis

Hal ini disebabkan limbah cair yang masih mengandung merkuri mengalami pengenceran dan penyebaran di badan air. Ukuran partikel mempunyai peranan penting dalam distribusi logam berat. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Sieka *et al*, (2000) menunjukkan bahwa pada umumnya kandungan logam berat tertinggi terakumulasi pada partikel sedimen yang lebih kecil, sedangkan kandungan logam berat terendah

terakumulasi pada partikel yang lebih besar (Erlangga, 2007). Disamping itu distribusi logam tersebut juga dipengaruhi oleh keadaan fase penyusun sedimen terutama fase yang mampu mengadsorpsi atau bereaksi dengan logam-logam tersebut (Sahara, 2009). Persamaan regresi antara jarak dengan konsentrasi merkuri di sedimen melayang ditunjukkan dalam Tabel 4.11 Koefisien unstandarisasi β di dalam sedimen melayang ditunjukkan dalam Tabel 4.12.

Tabel 4.11. Persamaan regresi hubungan antara jarak dengan konsentrasi merkuri rata-rata di sedimen melayang

No	Debit	Persamaan	R	R ²	Sig
1	Rendah	Log Y=4.696 – 1.226 Log X	0,852	0,727	0,000
2	Sedang	Log Y = 2.187 – 0.398 Log X	0,662	0,439	0,004
3	Tinggi	Log Y = 2.211 – 0.416 Log X	0,583	0,340	0,014

Sumber : Hasil analisis

Keterangan : Signifikansi pada tingkat kepercayaan 95%

Tabel 4.12. Koefisien unstandarisasi β di sedimen melayang

No	Debit	Coeficient			Coeficient		
		Koefisien variabel bebas	Std Error	Sig	Constant	Std Error	Sig
1	Rendah	-1,226	0,209	0,000	4,696	0,631	0,000
2	Sedang	-0,398	0,116	0,004	2,187	0,344	0,000
3	Tinggi	0,416	0,150	0,014	2,211	0,150	0,000

Sumber : Hasil analisis

Keterangan : Signifikansi pada tingkat kepercayaan 95%

c) Pengaruh jarak terhadap konsentrasi merkuri rata-rata di air

Pengaruh jarak terhadap konsentrasi merkuri rata-rata dalam air ditunjukkan dalam Tabel 4.13.

Tabel 4.13. Pengaruh jarak terhadap konsentrasi merkuri rata-rata pada air

Lokasi	Jarak (m)	Merkuri (mg/kg)		
		Debit rendah	Debit Sedang	Debit tinggi
A0	250		0,00172	0,00069
A1	243	0,0010	0,00719	0,00097

Tabel 4.13. Lanjutan.....

A2	100	0,0050	0,00381	0,00193
A3	273	0,0020	0,00236	0,00055
A4	897	0,0004	0,00045	0,00032
A5	1981	0,0002	0,00053	0,00023
B1	290	0,0003	0,00131	0,00051
B2	100	0,0003	0,00145	0,00099
B3	178	0,0006	0,00277	0,00039
B4	752	0,0001	0,00275	0,00040
B5	1539	0,0010	0,00061	0,00018
A6	1933	0,0002	0,00615	0,00067
A7	2557	0,0020	0,00312	0,00070
A8	4203	0,0001	0,00474	0,00003
A9	6823	0,0003	0,00576	0,00011
D1	1000	0,0004	0,02016	0,00026
D2	7361	0,0002	0,01138	0,00060

Sumber : Hasil analisis

Hasil analisis regresi sederhana menunjukkan bahwa variabel jarak dapat memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri di air pada kriteria debit tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan koefisien korelasi (R) sebesar 0,630 dan koefisien determinansi (R^2) sebesar 0,397. Hal ini berarti bahwa jarak memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri di air pada debit tinggi sebesar 39,7 %. Hasil uji ANOVA dengan nilai signifikansi 0,007 yang berarti persamaan regresi dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi merkuri di air pada debit tinggi. Variabel jarak pada kriteria debit tinggi menunjukkan probabilitas signifikansi pada 0.05 sehingga dapat disimpulkan bahwa konsentrasi merkuri dapat dipengaruhi jarak.

Elastisitas konsentrasi merkuri pada debit tinggi terhadap jarak sebesar -0,427 yang berarti setiap penambahan jarak 1 satuan dari lokasi tambang, maka konsentrasi merkuri di air akan menurun sebesar 0,427 %. Pada kriteria debit tinggi, semakin jauh jarak yang ditinjau maka konsentrasi merkuri akan menurun. Hal ini disebabkan adanya peningkatan volume air ke arah hilir menyebabkan terjadinya gejala penurunan konsentrasi merkuri dari hulu ke arah hilir, hal ini diakibatkan oleh adanya efek pengenceran pada sungai tersebut. Pada debit rendah dan sedang persamaan regresi tidak

dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi merkuri di air pada berbagai jarak. Persamaan regresi hubungan antara jarak dengan konsentrasi merkuri rata-rata di air ditunjukkan dalam Tabel 4.14. Koefisien unstandarisasi β di dalam air ditunjukkan dalam Tabel 4.15.

Tabel 4.14. Persamaan regresi hubungan antara jarak dengan konsentrasi merkuri rata-rata di air

No	Debit	Persamaan	R	R ²	Sig
1	Rendah	$\text{Log } Y = -2.262 - 0.367 \text{ Log } X$	0,467	0,218	0,068*
2	Sedang	$Y = 0.003 - 0.000000664 X$	0,306	0,094	0,223*
3	Tinggi	$\text{Log } Y = -2.159 - 0.427 \text{ log } X$	0,630	0,397	0,007

Sumber : Hasil analisis statistik dengan SPSS 16

Keterangan : *tidak signifikansi pada tingkat kepercayaan 95 %

Tabel 4.15. Koefisien unstandarisasi β di dalam air

No	Debit	Coeficient			Coeficient		
		Koefisien variabel bebas	Std Error	Sig	Constant	Std Error	Sig
1	Rendah	0,367	0.186	0,068	-2.262	0,555	0,001
2	Sedang	0,000000664	0,000	0,233	0,003	0,002	0,047
3	Tinggi	-0,427	0,136	0,007	-2,159	0,402	0,000

Sumber : Hasil analisis

Keterangan : tidak signifikan pada tingkat kepercayaan 95%

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada air sungai konsentrasi merkuri memiliki hubungan yang tidak bermakna yaitu dibawah 50%. Berdasarkan hasil ini jarak tidak memberi pengaruh signifikan terhadap hasil konsentrasi merkuri di dalam air pada debit rendah dan sedang.

Hipotesis pertama semakin jauh jarak semakin kecil konsentrasi merkuri di dalam air tidak dapat dibuktikan. Pada debit rendah dan sedang tidak dapat dibuktikan adanya semakin jauh jarak konsentrasi merkuri semakin kecil. Hal ini karena Sub DAS Tulabolo banyak menerima masukan limbah dari lokasi yang berada disekitarnya yaitu tambang Bor 15 dan tambang Motomboto. Pada debit tinggi ada hubungan antara jarak dan konsentrasi merkuri. Semakin jauh jarak semakin kecil konsentrasi merkurnya. Adanya peningkatan volume air ke arah hilir menyebabkan terjadinya penurunan konsentrasi merkuri dari hulu ke arah hilir, hal ini diakibatkan oleh adanya efek pengenceran pada sungai tersebut.

Faktor lain yang memberi pengaruh tidak signifikannya konsentrasi merkuri di dalam air pada berbagai jarak adalah masuknya logam ke perairan karena dipengaruhi oleh 3 proses yaitu pengendapan, adsorpsi dan absorpsi oleh organisme-organisme perairan. Dalam lingkungan perairan, bentuk logam antara lain berupa ion-ion bebas, pasangan ion organik dan ion kompleks. Kelarutan logam dalam air dikontrol oleh pH air. Pada pH yang tinggi konsentrasi merkuri akan terlarut dan akhirnya mengendap.

Perilaku logam berat di dalam air cenderung mengikuti aliran air dan pengaruh pengenceran ketika air masuk, seperti air hujan, turut memicu menurunnya konsentrasi logam berat di air. Selain itu terdapat parameter-parameter lain yang berpengaruh dalam kesetimbangan reaksi disistem perairan seperti pH, konsentrasi logam, tipe senyawanya, kondisi reduksi-oksidasi perairan dan bilangan oksidasi dari logam tersebut.

4.2. Pengaruh Debit terhadap Konsentrasi Merkuri

Debit air akan mempengaruhi besarnya kadar merkuri yang terdapat di dalam air. Debit dinyatakan sebagai volume yang mengalir pada selang waktu tertentu, dinyatakan dalam satuan m^3/det . Perhitungan debit ditentukan dengan hasil perkalian antara kecepatan arus (m/det) dan luas penampang badan air (m^2). Hasil pengukuran debit 6 kali sampling pada masing-masing titik pengukuran ditunjukkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16. Hasil Perhitungan Debit

Lokasi Sampel	Jarak (m)	Debit (m^3/det)					
		Qr1	Qs1	Qs2	Qs3	Qt1	Qt2
A0	250				0.6818	1.1173	1.4502
A1	243.3	0	0.3983	0.2060	0.1091	0.0813	0.2810
A2	100	0.0070	0.0570	0.0492	0.0419	0.05	0.0558
A3	273	0.0204	0.1972	0.1531	0.0926	0.2304	0.3155
A4	897	0.1583	0.9775	0.4030	0.7562	2.773	2.8812
A5	1981	0.5593	1.5654	1.4699	2.5167	3.9337	4.5108
B1	290	0.0110	0.2022	0.0602	0.1526	0.2780	0.3459
B2	100	0.0070	0.0570	0.0482	0.0419	0.0500	0.0691
B3	178	0.0363	0.3404	0.1087	0.2253	0.5334	0.6123
B4	752	0.1100	2.7342	1.3380	1.3059	2.3695	2.0746
AB	1539	0.4635	2.9659	2.8374	2.3784	5.9768	6.1792

Tabel 4.16. Lanjutan.....

A6	1933	0.4644	3.8408	2.9952	2.3193	4.0969	3.9455
A7	2557	0.3615	2.5958	1.7117	1.8631	5.8574	5.194
A8	4203	0.3780	4.7026	2.3255	3.5757	6.3055	8.1882
A9	6823	0.3997	5.6069	2.1796	3.9681	7.4789	8.2361
D1	1000	9.5401	51.724	48.021	71.94	148.2703	144.4769
D2	7361	17.6897	62.7095	55.9785	82.7118	116.6528	120.1460

Sumber : Hasil pengukuran

Keterangan : $Qr1$ = debit rendah

$Qs2$ = debit sedang ke II

$Qt1$ = debit tinggi ke I

$Qs1$ = debit sedang ke I

$Qs3$ = debit sedang ke III

$Qt2$ = debit tinggi ke II

Debit air rendah rata-rata terukur di Sungai Tulabolo yaitu $0,398 \text{ m}^3/\text{det}$. Debit air sedang rata-rata terukur di Sungai Tulabolo berkisar $1,989 \text{ m}^3/\text{det} - 3,179 \text{ m}^3/\text{det}$. Debit air tinggi rata-rata terukur di Sungai Tulabolo $> 5,203 \text{ m}^3/\text{det}$.

a) Pengaruh debit terhadap konsentrasi merkuri di sedimen dasar

Untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara kelompok konsentrasi merkuri rata-rata di sedimen dasar pada debit rendah, sedang dan tinggi di sungai dilakukan uji beda dua rata-rata T-test (*Paired Sample T-Test*). Hasil uji beda dua rata-rata antara merkuri di sedimen dasar pada debit rendah dan tinggi, pada debit rendah dan sedang dan pada debit sedang dan tinggi adalah tidak berbeda nyata karena nilai signifikansi > 0.05 .

Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi merkuri tidak hanya dipengaruhi oleh debit tetapi dipengaruhi oleh faktor yang lain. Faktor lain yang berpengaruh adalah jarak, jumlah tromol yang beroperasi di daerah tersebut berubah ubah dari waktu ke waktu sehingga mempengaruhi hasil limbah yang dibuang ke sungai tersebut. Hal ini menyebabkan tidak signifikansinya konsentrasi merkuri pada perubahan musim.

b) Pengaruh debit terhadap konsentrasi merkuri di sedimen melayang

Hasil uji beda dua rata-rata dengan *Paired Sample Test* menunjukkan bahwa kelompok konsentrasi merkuri pada debit rendah dan sedang, debit rendah dan sedang dan pada debit rendah dan tinggi adalah tidak signifikan > 0.05 . Berdasarkan hasil ini maka perubahan debit cenderung tidak mempengaruhi konsentrasi merkuri di sedimen

melayang tapi lebih di pengaruhi oleh faktor lain. Salah satu yang paling berpengaruh selain debit dan jarak adalah beban limbah yang dibuang ke sungai tidak hanya dipengaruhi oleh musim tapi dipengaruhi oleh jumlah emas yang mereka temukan.

c) Pengaruh debit terhadap konsentrasi merkuri di air

Hasil Uji T-Test *Paired Samples Test* untuk debit rendah dan sedang diperoleh nilai signifikansi $0,011 < 0,05$. Hal ini menunjukkan bahwa ada perbedaan yang signifikan antara konsentrasi merkuri di air pada debit rendah dan debit sedang. Konsentrasi merkuri rata-rata di air pada debit tinggi cenderung sama di bandingkan dengan konsentrasi merkuri pada debit rendah. Hasil uji dua rata-rata dengan *Paired Sample Test* diperoleh nilai signifikan $0,255 > 0,05$. Hasil uji beda rata-rata antara konsentrasi merkuri di air pada debit sedang dan debit tinggi diperoleh nilai signifikansi sebesar $0,011 < 0,05$. Hasil ini menunjukkan bahwa ada perbedaan nyata antara konsentrasi merkuri di air pada debit sedang dan tinggi yang berarti debit berpengaruh terhadap konsentrasi merkuri pada air.

d) Hubungan debit, TSS dan konsentrasi merkuri di sedimen melayang

Hubungan antara konsentrasi merkuri di dalam sedimen melayang pada berbagai debit air disajikan dalam Tabel 4.17. Konsentrasi merkuri rata-rata di dalam sedimen melayang pada debit rendah berkisar berkisar $0 - 132,75$ mg/kg , debit sedang berkisar $2,817 - 37,326$ mg/kg dan debit tinggi berkisar $4,72 - 50,0831$ mg/kg.

Tabel 4.17. Konsentrasi merkuri rata-rata di dalam sedimen melayang pada berbagai debit air

Lokasi	Q R Rt(m ³ /det)	Hg (mg/kg)	QS-Rt (m ³ /det)	Hg (mg/kg)	Qt.Rt (m ³ /det)	Hg(mg/kg)
A0	0,0000	0,0000	0,6818	8.385	1.2838	23.938
A1	0,0000	0,0000	0,2378	6.52	0.1812	3.173
A2	0,0070	32,757	0,0494	48.2	0.0529	48.2
A3	0,0204	70,977	0,1476	37.326	0.2730	27.667
A4	0,1583	13,753	0,7122	10.099	2.8271	8.612
A5	0,5593	3,700	1,8507	20.296	4.2223	37.132
A6	0,4644	1,152	3.0518	7.515	4.0212	9.436
A7	0,3615	2,780	2,0569	16.133	5.5257	19.942
A8	0,3780	1,400	3,5346	6.85	7.2469	4.066
A9	0,3997	16,402	3.9182	4.312	7.8575	2.4342
B1	0,0110	125,317	0,1383	16.9962	0.3120	6.8538
B2	0,0070	321,639	0,0490	27.201	0.0596	33.9295
B3	0,0363	159,476	0,2248	19.322	0.5729	20.691
B4	0,1100	7,500	1,7927	13.865	2.2221	7.852
AB	0,4635	4,160	2,7272	5.428	6.0780	6.122
D1	9,5401	1,554	57,2283	2.804	146.3736	2.9285
D2	17,6897	0,740	67,1333	2.817	118.3994	2.9549

Sumber : Hasil perhitungan

Keterangan : QR = debit rendah

Qs-Rt = debit rata-rata sedang

Qt-rt = debit rata-rata tinggi Hg = konsentrasi merkuri rata-rata

Hasil analisis berganda menunjukkan bahwa variabel debit dan TSS dapat memberi pengaruh secara bersama-sama terhadap konsentrasi merkuri di sedimen melayang di Sungai Tulabolo dengan koefisien korelasi (R) sebesar 0,692 (debit rendah), 0,847 (debit sedang), 0,895 (debit tinggi) dan koefisien determinansi (R²) sebesar 0,478 (debit rendah), 0,718 (debit sedang) dan 0,801 (debit tinggi). Hal ini berarti bahwa TSS dan debit memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri sebesar 47,8 % (debit rendah), 71,8 % (debit sedang) dan 80,1 % (debit tinggi). Hasil uji ANOVA dengan nilai signifikansi 0,010 (debit rendah), 0,000 (pada debit sedang) dan 0,000 (debit tinggi) menunjukkan persamaan regresi berganda dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi merkuri akibat perubahan jumlah TSS dan debit di aliran Sungai Tulabolo. Variabel TSS dan debit air menunjukkan probabilitas signifikansi pada 0.05 sehingga

dapat disimpulkan bahwa konsentrasi merkuri dipengaruhi TSS dan debit. Elastisitas konsentrasi merkuri pada debit rendah dengan koefisien variabel TSS sebesar 0,176 yang berarti jika variabel TSS naik sebesar 1 % maka konsentrasi merkuri akan naik sebesar 0,176 % dengan asumsi variabel independen lainnya bernilai tetap. Elastisitas konsentrasi merkuri pada debit rendah dengan koefisien variabel debit sebesar -0,260 yang berarti jika variabel debit naik sebesar 1 % maka konsentrasi merkuri akan turun sebesar 0,260 % dengan asumsi variabel independen lainnya bernilai tetap. Elastisitas konsentrasi merkuri pada debit sedang dengan koefisien variabel TSS sebesar 0,072 yang berarti jika variabel TSS naik sebesar 1 % maka konsentrasi merkuri akan naik sebesar 0,072 % dengan asumsi variabel independen lainnya bernilai tetap. Elastisitas konsentrasi merkuri pada debit sedang dengan koefisien variabel debit sebesar -0,326 yang berarti jika variabel debit naik sebesar 1 % maka konsentrasi merkuri akan turun sebesar 0,326 % dengan asumsi variabel independen lainnya bernilai tetap. Elastisitas konsentrasi merkuri pada debit rendah dengan koefisien variabel TSS sebesar 0,053 yang berarti jika variabel TSS naik sebesar 1 % maka konsentrasi merkuri akan naik sebesar 0,053 % dengan asumsi variabel independen lainnya bernilai tetap. Elastisitas konsentrasi merkuri pada debit rendah dengan koefisien variabel debit sebesar -0,771 yang berarti jika variabel debit naik sebesar 1 % maka konsentrasi merkuri akan turun sebesar 0,771 % dengan asumsi variabel independen lainnya bernilai tetap. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi variabel TSS maka semakin tinggi konsentrasi merkuri dan semakin tinggi debit maka semakin menurun konsentrasi merkuri.

Ukuran partikel mempunyai peranan yang penting dalam distribusi logam berat pada sedimen. Logam berat yang berasal dari kegiatan penambangan terdistribusi pada partikel sedimen yang memiliki ukuran yang berbeda-beda. Persamaan regresi yang menunjukkan hubungan antara debit dan TSS terhadap hasil konsentrasi merkuri di sedimen melayang ditunjukkan pada Tabel 4.18. Koefisien unstandarisasi β di dalam sedimen melayang ditunjukkan dalam Tabel 4.19.

Tabel 4.18. Persamaan regresi antara debit dan TSS terhadap konsentrasi merkuri di sedimen melayang

No	Debit	Persamaan	R	R ²	Sig
1	Tinggi	Log Y = 1,358 - 0,260 Log X1 + 0,176 Log X2	0,692	0,478	0,010
2	Sedang	Log Y = 1,146 - 0,326 Log X1 + 0,072 Log X2	0,847	0,718	0,000
3	Rendah	Log Y = 0,571 - 0,771 Log X1 + 0,053 Log X2	0,895	0,801	0,000

Sumber : Hasil analisis

- Tidak signifikan pada tingkat kepercayaan 95%
- Y = konsentrasi merkuri di sedimen melayang, X1 =debit X2 = TSS

Tabel 4.19. Koefisien unstandarisasi β antara debit dengan TSS

No	Debit	Coefficient Variabel bebas						Coefficient		
		Koefisien β (1)	Std Error	Sig	Koefisien (β 2)	Std Error	Sig	Constant	Std Error	Sig
1	Rendah	-0,771	0,114	0,000	0,053	0,169	0,760	0,571	0,309	0,089
2	Sedang	-0,326	0,057	0,000	0,072	0,072	0,332	1,146	0,112	0,000
3	Tinggi	-0,260	0,085	0,009	0,176	0,104	0,112	1,358	0,182	0,000

Sumber : Hasil analisis

- Tidak signifikan pada tingkat kepercayaan 95%
- Y = konsentrasi merkuri di sedimen melayang, X1 =debit X2 = TSS

Kesimpulan bahwa TSS dan debit secara bersama-sama berpengaruh signifikan terhadap konsentrasi merkuri pada sedimen melayang. Ukuran partikel mempunyai peranan yang penting dalam distribusi logam berat pada sedimen. Logam berat yang berasal dari kegiatan penambangan terdistribusi pada partikel sedimen yang memiliki ukuran yang berbeda-beda. Distribusi logam berat pada berbagai ukuran dipengaruhi oleh pembentukan sedimen baik secara alami maupun non alami. Disamping itu, distribusi logam tersebut juga dipengaruhi oleh keadaan fase penyusun mengadsorbsi atau bereaksi dengan logam-logam tersebut.

4.3. Pengaruh aktivitas penambangan terhadap limbah yang dihasilkan

Data hasil perhitungan beban limbah pada masing-masing titik sampling setiap periode ditunjukkan dalam Tabel 4.10. Tabel 4.10 menunjukkan bahwa pada sampling periode ke I beban limbah Lokasi Bor Mohutango sebesar 102 kg/ bulan atau 3,4 kg/ hari dan Titik Bor 17 sebesar 105 kg/ bulan atau 3,5 kg/ hari. Jika diasumsikan beban limbah

berkurang 10 % setiap jarak 1 km, maka pada lokasi A3 = $(897\text{m}/1000\text{m}) \times 10 \% = 8.97 \%$. Hal ini mengartikan bahwa jika beban sumber limbah sebesar sebesar 3.5 kg, maka pada jarak 897 m (lokasi A3), beban limbah akan berkurang sebesar 8.97%.. Lokasi A3 dengan jarak 897 m dari beban limbah akan menjadi $((3.5 \text{ kg} - (8.97\% \times 3.5)) = 3.19 \text{ Kg}$.Jumlah tromol yang digunakan selama 6 kali sampling di DAS Tulabolo ditunjukkan dalam Tabel 4.20.

Tabel 4.20. Jumlah limbah merkuri yang dilepaskan ke lingkungan akibat aktivitas penambangan tradisional di aliran Sungai Tulabolo

Sampling	Lokasi					
	Bor Mohutango		Bor 17		Bor 15	
	Tromol	Limbah Kg/Hg/Bln	Tromol	Limbah Kg/Hg/Bln	Tromol	Limbah Kg/Hg/Bln
I	68	102	70	105	-	-
II	20	30	20	30	-	-
III	20	30	20	30	120	180
IV	20	30	70	105	178	267
V	20	30	70	105	178	267
VI	40	60	20	30	200	300

Sumber : Hasil pengamatan

a) Pengaruh beban limbah terhadap konsentrasi merkuri di dalam sedimen dasar

Hasil analisis regresi sederhana menunjukkan bahwa variabel jarak dapat memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri di air pada kriteria debit tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan koefisien korelasi (R) sebesar 0,675 (debit rendah) dan 0,534 (debit sedang) dengan koefisien determinansi (R^2) sebesar 0,456 (debit rendah) dan 0.285 (debit sedang). Hal ini berarti bahwa beban limbah yang dibuang ke sungai memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri di sedimen dasar pada debit rendah sebesar 45,6% dan 28,5% pada debit sedang. Hasil uji ANOVA dengan nilai signifikansi 0,006 (debit rendah) dan 0,027 (debit sedang) yang berarti persamaan regresi dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi merkuri di sedimen dasar pada debit rendah dan sedang. Variabel limbah menunjukkan probabilitas signifikansi pada 0.05 sehingga dapat disimpulkan bahwa konsentrasi merkuri dipengaruhi dapat dipengaruhi beban limbah

yang masuk ke sungai. Elastisitas konsentrasi merkuri terhadap beban limbah yang dibuang ke sungai pada debit rendah sebesar 2,010 yang berarti setiap penambahan beban cemar merkuri ke sungai sebesar 1 %, maka konsentrasi merkuri di sedimen dasar akan bertambah sebesar 2,010 %. Elastisitas konsentrasi merkuri terhadap beban limbah yang dibuang ke sungai pada debit sedang sebesar 1,411 % yang berarti setiap penambahan beban cemar merkuri ke sungai sebesar 1 %, maka konsentrasi merkuri di sedimen dasar akan bertambah sebesar 1,411 %.

Hal ini ditunjukkan dalam Tabel 4.11. Persamaan regresi yang menunjukkan hubungan antara beban limbah dan konsentrasi merkuri ditunjukkan dalam Tabel 4.21. Koefisien unstandarisasi β di dalam sedimen dasar dengan beban limbah ditunjukkan dalam Tabel 4.22.

Tabel 4.21. Persamaan regresi antara konsentrasi merkuri di sedimen dasar dengan beban limbah

No	Debit	Persamaan	R	R ²	Sig
1	Rendah	$\text{Ln } Y = 2,010 X - 4,626$	0,675	0,456	0,006
2	Sedang	$\text{Ln } Y = 1,411 X - 0,183$	0,534	0,285	0,027
3	Tinggi	$Y = 9,913 X - 5,878$	0,437	0,191	0,079*

Sumber : Hasil analisis

- Tidak signifikan pada tingkat kepercayaan 95%

Tabel 4.22. Koefisien unstandarisasi β di sedimen dasar dengan beban limbah

No	Debit	Coefficient			Coefficient		
		Koefisien variabel bebas	Std Error	Sig	Constant	Std Error	Sig
1	Rendah	2.010	0,609	0,006	-4,626	1,707	0.018
2	Sedang	1,411	0,578	0,027	-0,183	0,753	0,811
3	Tinggi	9,913	5,269	0,534	-5,878	9.225	0,079

Sumber : Hasil analisis

- tidak signifikan pada tingkat kepercayaan 95%

Hasil analisis regresi sederhana menunjukkan bahwa beban limbah yang terbuang ke sungai tidak berpengaruh terhadap konsentrasi merkuri pada kriteria debit tinggi. Tidak signifikannya konsentrasi merkuri pada kriteria debit tinggi adalah adanya faktor lain yang berpengaruh yaitu debit air yang mengalir dan jarak antara sumber limbah dengan lokasi yang ditinjau. Debit air berpengaruh terhadap proses pencucian logam-logam yang terlarut di dalam air.

b) Pengaruh beban limbah terhadap konsentrasi merkuri di dalam sedimen melayang

Hasil analisis regresi sederhana menunjukkan bahwa variabel jarak dapat memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri di sedimen melayang pada kriteria debit rendah. Hal ini ditunjukkan dengan koefisien korelasi (R) sebesar 0,610 dengan koefisien determinansi (R^2) sebesar 0,372. Hal ini berarti bahwa beban limbah yang dibuang ke sungai memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri di sedimen melayang pada debit rendah sebesar 37,2%. Hasil uji ANOVA dengan nilai signifikansi 0,010 yang berarti persamaan regresi dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi merkuri di sedimen melayang pada debit rendah. Variabel limbah menunjukkan probabilitas signifikansi pada 0.05 sehingga dapat disimpulkan bahwa konsentrasi merkuri di sedimen melayang dapat dipengaruhi beban limbah yang masuk ke sungai. Elastisitas konsentrasi merkuri terhadap beban limbah yang dibuang ke sungai pada debit rendah sebesar 1,3% yang berarti setiap penambahan beban cemar merkuri ke sungai sebesar 1 %, maka konsentrasi merkuri di sedimen melayang akan bertambah sebesar 1,3 %.

Persamaan regresi antara konsentrasi merkuri di sedimen melayang dengan beban limbah ditunjukkan dalam Tabel 4.23. Koefisien unstandarisasi β di dalam sedimen melayang dengan beban limbah ditunjukkan dalam Tabel 4.24.

Tabel 4.23. Persamaan regresi antara konsentrasi merkuri di sedimen melayang dengan beban limbah

No	Debit	Persamaan	R	R2	Sig
1	Rendah	$\text{Ln } Y = 1.3 X - 0.996$	0.610	0.372	0.016
2	Sedang	$\text{Ln } Y = 2.312 + 0.676 \text{ Ln } X$	0.362	0.131	0.154*
3	Tinggi	$Y = 17.524 - 1.125 X$	0.042	0.002	0.872*

Sumber : Hasil analisis

- tidak signifikan pada tingkat kepercayaan 95%

Tabel 4.24. Koefisien unstandarisasi β di sedimen melayang dengan beban limbah

No	Debit	Coeficient			Coeficient		
		Koefisien variabel bebas	Std Error	Sig	Constant	Std Error	Sig
1	Rendah	1.300	0.468	0.016	-0,996	1.312	0.461
2	Sedang	0,676	0,450	0,154	2,312	0,203	0,000
3	Tinggi	-1.125	6.847	0.872	17.542	11.987	0.164

Sumber : Hasil analisis

- tidak signifikan pada tingkat kepercayaan 95%

Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa beban limbah yang dihasilkan oleh kegiatan penambangan emas kurang berpengaruh terhadap hasil konsentrasi merkuri di dalam sedimen melayang pada kriteria debit sedang dan tinggi.

Faktor lain yang mempengaruhi kadar konsentrasi merkuri di sedimen melayang adalah besarnya debit dan TSS yang terbawa ke aliran sungai. Debit dan TSS secara bersama-sama memberi pengaruh terhadap hasil konsentrasi merkuri yang dihasilkan. Ukuran partikel turut memberi pengaruh terhadap hasil konsentrasi merkuri di sungai, semakin halus partikel semakin tinggi konsentrasi merkuri yang dihasilkan.

b. Pengaruh beban limbah terhadap konsentrasi merkuri di dalam air

Hasil analisis regresi sederhana menunjukkan bahwa variabel beban limbah dapat memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri di air pada kriteria debit sedang. Hal ini ditunjukkan dengan koefisien korelasi (R) sebesar 0,500 dengan koefisien determinansi (R^2) sebesar 0,250. Hal ini berarti bahwa beban limbah yang dibuang ke sungai memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri di air pada debit sedang sebesar 25 %. Hasil uji ANOVA dengan nilai signifikansi 0,041 yang berarti persamaan regresi dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi merkuri di air pada debit rendah. Variabel limbah menunjukkan probabilitas signifikansi pada 0.05 sehingga dapat disimpulkan bahwa konsentrasi merkuri di air dapat dipengaruhi beban limbah yang masuk ke sungai. Elastisitas konsentrasi merkuri terhadap beban limbah yang dibuang ke sungai pada debit sedang sebesar 0,005 % yang berarti setiap penambahan beban cemar merkuri ke sungai sebesar 1 %, maka konsentrasi merkuri di air akan bertambah sebesar 0,005 %.

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa beban limbah kurang berpengaruh terhadap konsentrasi merkuri pada debit air rendah dan tinggi. Pada debit rendah konsentrasi merkuri lebih banyak terendap di sekitar wilayah pengolahan sehingga konsentrasi merkuri memiliki nilai yang sangat tinggi. Demikian pula pada debit tinggi konsentrasi merkuri lebih dipengaruhi oleh proses pengenceran di badan air. Persamaan regresi hubungan antara beban limbah dengan konsentrasi merkuri ditunjukkan dalam Tabel 4.25. Koefisien unstandarisasi β di dalam air ditunjukkan dalam Tabel 4.26.

Tabel 4.25. Persamaan regresi hubungan antara konsentrasi merkuri di air dengan beban limbah

No	Debit	Persamaan	R	R ²	Sig
1	Rendah	$\text{Log} Y = 0.549 \text{ Log } X - 3.548$	0.269	0.072	0.314*
2	Sedang	$Y = 0.005 - 0.005 \text{ Ln } X$	0.500	0.250	0.041
3	Tinggi	$Y = 0.00005154 X$	0.061	0.004	0.815*

Sumber : Hasil analisis

*) tidak signifikan pada tingkat kepercayaan 95%

Tabel 4.26. Koefisien unstandarisasi β antara merkuri di air dengan beban limbah

No	Debit	Coeficient			Coeficient		
		Koefisien variabel bebas	Std Error	Sig	Constant	Std Error	Sig
1	Rendah	0,549	0,526	0,314	-3,548	0,236	0,000
2	Sedang	0,005	0,001	0,000	0,005	0,001	0,041
3	Tinggi	0,00005154	0,000	0,815	0,000	0,000	0,231

Sumber : Hasil analisis

*) tidak signifikan pada tingkat kepercayaan 95%

4.4. Implikasi Strategi Pengelolaan Ekosistem Sungai Tulabolo Akibat Penambangan Tradisional.

Untuk mengatasi berbagai persoalan lingkungan akibat penambangan emas tradisional maka dilakukan berbagai upaya pencegahan pencemaran, utamanya di ekosistem Sungai Tulabolo. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekosistem Sungai Tulabolo sudah tercemar merkuri akibat proses pemisahan emas dengan menggunakan merkuri. Semakin dekat dengan sumber limbah maka semakin tinggi konsentrasi merkuri.

Pencemaran lingkungan mempunyai dampak yang sangat luas dan sangat merugikan manusia maka perlu diusahakan pengurangan pencemaran lingkungan bila mungkin meniadakan sama sekali. Usaha untuk mengurangi dampak yang sangat luas dan menanggulangi pencemaran tersebut ada 2 macam cara yaitu penanggulangan secara non-teknis dan secara teknis (Wardana, 2004). Melalui cara penanggulangan dengan cara non-teknis dan teknis diharapkan bahwa pencemaran lingkungan akan jauh berkurang dan kualitas hidup dapat lebih ditingkatkan.

Banyak macam dan cara yang dapat ditempuh dalam penanggulangan secara teknis. Adapun kriteria yang digunakan dalam memilih dan menentukan cara yang digunakan dalam penanggulangan secara teknis tergantung pada faktor berikut yaitu mengutamakan keselamatan lingkungan, teknologinya telah dikuasai dengan baik dan secara teknis dan ekonomis dapat dipertanggung jawabkan.

Berdasarkan kriteria tersebut di atas diperoleh beberapa cara dalam hal penanggulangan secara teknis, antara lain dengan mengubah proses, mengganti sumber energi, mengelola limbah dan menambah alat bantu (Wardhana, 2004).

Alternatif pengelolaan limbah tambang tradisional di ekosistem perairan Sungai Tulabolo dapat dilakukan dengan mereduksi merkuri yang dibuang ke lingkungan. Salah satu cara mereduksi merkuri di perairan dengan fitoremediasi yaitu dengan konsep mengolah air limbah dengan menggunakan media tanaman. Hasil sebaran spasialnya tingkat pencemaran merkuri sangat tinggi di hulu sungai, baik hulu Bor 17 maupun hulu Daerah Mohutango terutama pada *effluent* limbah tambang tersebut. Oleh karena itu pencegahan merkuri lebih utama dilakukan dekat dari sumbernya.

Salah satu cara untuk mengurangi tingkat pencemaran logam berat khususnya merkuri dapat dilakukan dengan fitoremediasi yaitu konsep mengolah air limbah dengan menggunakan media tanaman. Konsep fitoremediasi sangat tepat dilakukan pada lokasi dimana *effluent* limbah tambang ini dikeluarkan. Berdasarkan hasil penelitian di aliran Sungai Tulabolo, konsentrasi merkuri tertinggi terjadi pada debit rendah dan sedang dimana pada saat-saat seperti itu kemampuan air untuk mendegradasi limbah sangat kecil.

Fitoremediasi (*phytoremediation*) merupakan suatu sistem dimana tanaman tertentu yang bekerja sama dengan mikro-organisme dalam media (tanah, koral dan air) dapat mengubah zat kontaminan (pencemar/polutan) menjadi kurang atau tidak berbahaya bahkan menjadi bahan yang berguna secara ekonomi (Anonymous, 2003). Fitoremediasi dapat digunakan untuk mengolah limbah B3 atau untuk limbah radioaktif dan relatif murah pelaksanaannya sehingga diharapkan para penambang dapat menerapkan sistem tersebut.

Jenis tanaman yang digunakan untuk fitoremediasi adalah anturium merah/kuning, alamanda kuning/ungu, akar wangi, bambu air, cana presiden merah/kuning/putih, dahlia, *dracenia* merah/hijau, heleconia kuning/merah, jaka, keladi loreng/sente/hitam, kenyeri merah/putih, lotus kuning/merah, onje merah, pacing merah/putih, spider lili, dll (Anonymous, 2003). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Palapa, (2009) menunjukkan bahwa tumbuhan air : kangkung air (*I.aquatica*), teratai (*N.nelumbo*), enceng gondok (*E.crssipes*) mampu mengakumulasi logam berat merkuri dari air limbah tambang emas rakyat di kecamatan Dimembe. Pada umur 30 hari bioakumulasi merkuri oleh kangkung air sebesar 54,525 ppm, teratai 75, 120 ppm dan enceng gondok 42,425 ppm. Hasil ini cenderung mendekati dengan hasil analisis konsentrasi merkuri pada keladi air di aliran Sungai Tulabolo sebesar 68,49 ppm pada daun dan 36,81 ppm pada akar.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa jenis tanaman tertentu seperti enceng gondok dan keladi air banyak terdapat di lokasi perairan Sungai Tulabolo, sehingga memungkinkan fitoremediasi dapat dilakukan. Dua jenis tanaman yaitu keladi air dan enceng gondok yang terdapat di lokasi penelitian dapat digunakan dan aman bagi masyarakat setempat karena ke dua tanaman tersebut tidak dijadikan konsumsi makanan bagi masyarakat.

Proses fotoremediasi dalam sistem ini berlangsung secara alami dengan enam tahap proses secara serial yang dilakukan tumbuhan terhadap zat kontaminan/ pencemar yang berada disekitarnya.

- a. *Phytoaccumulation (phytoextraction)* yaitu proses tumbuhan menarik zat kontaminan dari media sehingga berakumulasi di sekitar akar tumbuhan.

- b. *Rhizofiltration* (*rhizo*=akar) adalah proses adsorpsi atau pengendapan zat kontaminan oleh akar untuk menempel pada akar. Proses ini telah dibuktikan dengan percobaan menanam bunga matahari pada kolam yang mengandung radiaktif di Chernobil Ukraina.
- c. *Phytostabilization* yaitu penempelan zat-zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap kedalam batang tumbuhan. Zat-zat tersebut menempel erat (stabil) pada akar sehingga tidak akan terbawa oleh aliran air dalam media.
- d. *Rhizodegradation* yaitu menguraikan zat-zat kontaminan oleh aktivitas yang berada di sekitar akar tumbuhan. Misalnya ragi, fungi dan bakteri.
- e. *Phytodegradation* yaitu proses yang dilakukan tumbuhan untuk menguraikan zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul yang kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul yang lebih sederhana yang dapat berguna bagi pertumbuhan tumbuhan itu sendiri. Proses ini berlangsung pada daun, batang akar atau di luar sekitar akar dengan bantuan enzim berupa bahan kimia yang mempercepat degradasi.
- f. *Phytovolatilation* yaitu : proses menarik dan transpirasi zat kontaminan oleh tumbuhan dalam bentuk yang telah menjadi larutan terurai sebagai bahan yang tidak berbahaya lagi untuk selanjutnya diuapkan ke atmosfer. Beberapa tumbuhan dapat menguapkan air 200 sampai dengan 1000 liter perhari untuk setiap batang.

Jenis tanaman yang digunakan untuk fitoremediasi adalah anturium merah/kuning, alamanda kuning/ungu, akar wangi, bambu air, cana presiden merah/kuning/putih, dahlia, *dracenia* merah/hijau, *heleconia* kuning/merah, jaka, keladi loreng/sente/hitam, kenyeri merah/putih, lotus kuning/merah, onje merah, pancing merah/putih, spider lili, dll (Anonymous, 2003). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Palapa, (2009) menunjukkan bahwa tumbuhan air : kangkung air (*I.aquatica*), teratai (*N.nelumbo*), enceng gondok (*E.crsipes*) mampu mengakumulasi logam berat merkuri dari air limbah tambang emas rakyat di kecamatan Dimembe. Pada umur 30 hari bioakumulasi merkuri oleh kangkung air sebesar 54,525 ppm, teratai 75, 120 ppm dan enceng gondok 42,425 ppm.

Alternatif lain, cara mereduksi merkuri adalah dengan menggunakan karbon aktif batubara *sub-bituminus* yang dikarbonisasi atau disebut juga coalite (Sugarba *et al*, 2009). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif bahwa dapat menurunkan konsentrasi merkuri dengan tingkat penyerapan 70-80%. Adapun media yang digunakan adalah karbon aktif yang dibuat dari batubara jenis sub bituminous yang telah di karbonisasi (*coalite*) dan berasal dari P.T. Bukit Asam, Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Tetapi cara ini walaupun murah tapi sulit dilaksanakan karena jenis batubara *sub bituminus* tidak tersedia di Provinsi Gorontalo.

Alternatif lain untuk mengurangi limbah di ekosistem perairan adalah dengan menempatkan lokasi pengolahan emas untuk amalgamasi pada jarak 500 m dari sungai. Penempatan lokasi pada jarak 500 m harus dilakukan untuk keseluruhan tambang yang ada di Sub DAS Tulabolo. Hal ini untuk mencegah limbah hasil pencucian dibuang langsung ke sungai. Secara spasial temporal konsentrasi merkuri pada jarak 500 meter akan terpusat di saluran di sekitar pengolahan. Pada jarak 500 meter dari sungai di buat saluran pengaliran dan sekaligus pengolahan limbah. Bak-bak pengolahan limbah dengan sistem fitoremediasi di saluran pengolahan memungkinkan limbah ketika masuk ke sungai sudah tereduksi. Untuk pengolahan emas secara amalgamasi maka para penambang menggunakan pipa sebagai tempat penyaluran air dari sungai untuk proses amalgamasi atau dengan menggunakan air tanah di sekitar lokasi penambangan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Sebaran spasial temporal dapat menunjukkan hasil konsentrasi merkuri pada berbagai jarak dan debit air. Hasil analisis pada sampling periode I (debit rendah) menunjukkan bahwa konsentrasi merkuri baik di sedimen dasar, sedimen melayang dan air sangat tinggi di sekitar tailing, semakin ke muara semakin rendah. Konsentrasi merkuri di dalam sedimen dasar, sedimen melayang dan air periode ke II (debit sedang) tidak lagi terpusat di tailing tapi lebih menyebar dari hulu menuju hilir karena sampling dilakukan pada bulan pertama musim hujan. Sampling periode ke III dan IV (debit sedang), konsentrasi merkuri tertinggi di *effluent*, cenderung semakin ke hilir semakin kecil. Sampling periode ke V dan VI (debit tinggi), menunjukkan peninggian konsentrasi merkuri di titik-titik tertentu dan sangat dipengaruhi oleh masukan limbah dari tambang Bor 15.
2. Jarak memberi pengaruh yang signifikan terhadap konsentrasi merkuri di sedimen dasar, sedimen melayang dan air. Debit air tidak memberi pengaruh signifikan terhadap hasil konsentrasi merkuri. Hal ini terjadi karena aktivitas penambangan emas tidak dipengaruhi oleh perubahan musim. Semakin banyak emas ditemukan maka semakin banyak unit-unit pengolahan yang digunakan sehingga semakin tinggi limbah yang dihasilkan.

3. Berdasarkan sebaran spasial konsentrasi merkuri di aliran Sungai Tulabolo, konsentrasi merkuri tertinggi berada di lokasi sekitar tailing. Semakin jauh dari lokasi pengolahan konsentrasi merkuri semakin rendah. Strategi pengelolaan dengan menggunakan konsep fitoremediasi. Media fitoremediasi cukup tersedia di aliran Sungai Tulabolo, sehingga konsep fitoremediasi lebih mudah dilakukan.

5.2.Saran

Saran-saran yang dapat disampaikan dari hasil penelitian ini adalah :

1. Kemanfaatan Temuan Penelitian

- 1) Memperhatikan sebaran spasial konsentrasi merkuri di wilayah DAS Tulabolo, maka disarankan untuk memprioritaskan wilayah pengelolaan untuk mereduksi dan mencegah terjadi pencemaran merkuri terutama di lokasi yang menjadi sumber limbah. Jika sumber limbah dikelola dengan baik maka konsentrasi merkuri tidak akan menyebar ke arah hilir, dan ekosistem di wilayah ini akan pulih seperti keadaan alamiahnya. Fitoremediasi dapat digunakan untuk mengolah limbah B3 atau untuk limbah radioaktif dan relatif murah pelaksanaannya sehingga diharapkan para penambang dapat menerapkan sistim tersebut.
- 2) Membuat fitoremediasi pada lokasi yang menjadi sumber limbah. Salah satu cara untuk mengurangi tingkat pencemaran logam berat khususnya merkuri dapat dilakukan dengan fitoremediasi yaitu konsep mengolah air limbah dengan menggunakan media tanaman.

- 3) Mengusahakan pemberdayaan masyarakat dalam kegiatan pengelolaan lingkungan khususnya bagi pemilik-pemilik tambang sehingga pencemaran merkuri dapat dicegah sedini mungkin.
- 4) Penelitian ini masih sebatas mengkaji konsentrasi merkuri baik sedimen ataupun di air terhadap jarak, debit dan pengaruhnya terhadap ekosistem DAS Tulabolo. Perlu kajian yang mendalam terhadap fitoremediasi guna mengurangi pencemaran konsentrasi merkuri di wilayah ini serta kajian yang lebih mendalam terhadap pengaruh tambang tradisional terhadap keluhan kesehatan masyarakat sehingga dapat segera dicari solusi pengurangan kontaminan konsentrasi merkuri di wilayah ini.

2. Keterbatasan Temuan Penelitian

- 1) Keterbatasan penelitian ini adalah pada macam sampel yang diambil seperti pH, kekeruhan, besi dan mangan dihubungkan dengan keberadaan merkuri di aliran sungai dan keterbatasan dalam sampel mineral batuan yang berada di Sub DAS Tulabolo tidak terukur.

DAFTAR PUSTAKA

- Appleton, J.D., Williams, T.M., Orbea, H, and Carrasso, M. *Fluvial Contamination Associated With Artisanal Gold Mining in The Ponce Enriquez, Portovelo-Zaruma And Nambija Areas, Equador*. Water, Air, and Soil Pollution 131 : 19 – 39, 2001.
- BALIHRESTI, 2007. Status Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Gorontalo. Pemerintah Provinsi Gorontalo. Badan Lingkungan Hidup. Riset dan Teknologi Informasi, Gorontalo.
- BAPEDAL dan CEPI, 2000. Lokakarya Demo Proyek Pengembangan Rencana Strategis Pengendalian Dampak Pertambangan Emas Rakyat Manado, 7 – 8 November 2000.
- BALIHRESTI, 2008. Laporan Akhir Kegiatan Pengawasan Pelaksanaan PETI. Provinsi Gorontalo.
- Bryan, G.W.1976. Heavy Metal Contaminan in The Sea *dalam* R.Johson (Ed). Marine Pollution. London Academic Press.
- Connell, D.W., dan Miller, G.J. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Chapman, Deborah. 1992. *Water Quality Assesments*. First Edition.. Great Britain at the University Press, Cambridge.
- Darmono, 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Darmono, 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran*. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Effendi, Hefni. 2003. *Telaah Kualitas Air*. Kanisius, Yogyakarta.
- Erlangga, 2007. Efek Pencemaran Sungai Kampar di Provinsi Riau Terhadap Ikan Baung (*hemibagrus nemurus*). Tesis Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor.
- Husodo, KRT Adi Heru, Sarwono, R.J, Suhardini, S.M, Wijanarko D, Siran, Mardani,T, Iskandar G, Kasjono, H.S dan Supriadi, T, 2005. Kontaminasi Merkuri di Kalangan Pekerja Yogyakarta. Kasus Penambangan Emas Kulonprogo. *Jurnal Lembaga Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Gadjah Mada*.ISSN 1693-1033. Hal 51 – 58.

- Ikhsan, C. 2007. Pengaruh Variasi Debit Air Terhadap Laju Bed Load Pada Saluran Terbuka dengan Pola Aliran Steady Flow. *Media Teknik Sipil*. Hal 63-68. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNS Surakarta.
- Panda, A., Nitimulyo, K.H., dan Djohan T.S. 2003. *Akumulasi Merkuri pada Ikan Baung (Mytus nemurus) di Sungai Kahayan Kalimantan Tengah*. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, Vol X, No.3, November 2003.
- Palapa ,T.M. 2009. Bioremediasi Merkuri (Hg) dengan Tumbuhan Air Sebagai Salah Satu Alternatif Penanggulangan Limbah Tambang Emas Rakyat. *Jurnal : Agritek Vol.17 No.5*, September 2009. Hal 918-931.
- Lembaga Penelitian (Lemlit), Universitas Negeri Gorontalo (UNG) dan Institut Teknologi Bandung (ITB), 2006. Studi Rona Awal Kegiatan Pertambangan di Kabupaten Bone Bolango. Kabupaten Bone Bolango.
- Mukono, H.J. 2005. *Toksikologi Lingkungan*. Airlangga Universitas Press, Surabaya.
- Palar, H. 2004. *Pencemaran dan Toksikologi Logam berat*. Rineka Cipta, Jakarta.
- Roeroe, P, 2000. Kandungan Merkuri Dalam Air, Sedimen dan Kerang (Studi Kasus Perairan Teluk Buyat dan Sekitarnya, Provinsi Sulawesi Utara). *Tesis*. Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana. Universitas Indonesia.
- Sahara, E. 2009. Distribusi Pb dan Cu Pada Berbagai Ukuran Partikel Sedimen di Pelabuhan Benoa. *Jurnal Kimia 3 (2Juli 2009)*. Hal 75-80.
- Siaka, M., C.M. Owens, and G.F. Birch, 2000. *Distribution of Heavy Metals Between Grain Size*, *Review Kimia*, Vol. 3 (2).
- Soemarto, C.D. 1999. *Hidrologi Teknik*. Edisi ke-2. Penerbit Airlangga. Jakarta.
- Subandri, 2008. Kajian Beban Pencemaran Merkuri (Hg) terhadap Air Sungai Manyuke dan Gangguan Kesehatan pada Penambang sebagai akibat penambangan emas tanpa izin (PETI) di Kecamatan Manyuke Kabupaten Landak Kalimantan Barat. *Tesis* Program Pasca Sarjana Magister Kesehatan Lingkungan Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sutomo, S. 1998. Merkuri dan Bahayanya. *Jurnal Kedokteran dan Farmasi*. Medika, No12 14 Desember 1988, Hal : 1126-1129.

Widhiyatna, D.2005. Pendataan Penyebaran Merkuri Akibat Pertambangan Emas di Daerah Tasikmalaya, Propinsi Jawa Barat. Kolokium Hasil Lapangan-DIM 2005.

Widhiyatna, D., Hutamadi,R., Ahdiat,A, 2007. Pendataan Penyebaran Merkuri Pada Wilayah Pertambangan di Daerah Selogiri, Kabupaten Wonogiri, Provinsi Jawa Tengah. Kelompok Program Penelitian Konservasi.