

# **MODEL MERKURI di EKOSISTEM SUNGAI**

**Marike Mahmud  
Sudarmadji  
Slamet Suprayogi**



**UNG Press - Gorontalo**  
Anggota IKAPI  
Jl. Jend. Sudirman No. 6 Telp. (0435) 821125  
Fax. (0435) 821752 Kota Gorontalo  
Website: [www.ung.ac.id](http://www.ung.ac.id)

# MODEL MERKURI DI EKOSISTEM SUNGAI

Marike Mahmud  
Sudarmadji  
Slamet Suprayogi

ISBN : 978-602-6204-03-5



Universitas Negeri Gorontalo Press  
Anggota IKAPI

Jl. Jend. Sudirman No.6 Telp. (0435) 821125  
Kota Gorontalo  
Website : [www.unq.ac.id](http://www.unq.ac.id)

~\* UU No 19 Tahun 2002 tentang Hak Cipta ~\*

Fungsi dan Sifat Hak Cipta pasal 2

1. Hak Cipta merupakan hak eksklusif bagi pencipta atau pemegang Hak Cipta untuk mengumumkan atau memperbanyak ciptaannya, yang timbul secara otomatis setelah suatu ciptaan dilahirkan tanpa mengurangi pembatasan menurut peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Hak terkait Pasal 49

1. Pelaku memiliki hak eksklusif untuk memberikan izin atau melarang pihak lain yang tanpa persetujuannya membuat, memperbanyak, atau menyiarkan rekaman suara dan/atau gambar pertunjukannya.

Sanksi Pelanggaran Pasal 72

1. Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).





**Universitas Negeri Gorontalo Press**  
**Anggota IKAPI**

Jl. Jend. Sudirman No.6 Telp. (0435) 821125  
Kota Gorontalo  
Website : [www.ung.ac.id](http://www.ung.ac.id)

---

Katalog Dalam Terbitan (KDT)

---

© Marike Mahmud; dkk

**MODEL MERKURI DI EKOSISTEM SUNGAI**

ISBN : 978-602-6204-03-5

Cetakan Pertama : April 2016

Desain Sampul : Irvhan Male

---

**PENERBIT UNG Press Gorontalo**  
**Anggota IKAPI**

---

Isi diluar tanggungjawab percetakan

---

© 2016

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi,  
atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku  
ini tanpa izin tertulis dari penerbit

## KATA PENGANTAR

Buku ini memberikan pengantar tentang Ekosistem Daerah Aliran Sungai, Konsep Penambangan Tradisional, Pencemaran Merkuri dan Toksisitas Logam Berat, Deskripsi Wilayah, Sebaran Merkuri dan Pemodelan Konsentrasi Merkuri. Pemodelan konsentrasi merkuri ini penting karena dapat memprediksi konsentrasi merkuri pada berbagai jarak dan debit air.

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.

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.

Namun demikian, buku ini diharapkan dapat memberikan sumbangan pemikiran bagi Pemerintah daerah Khususnya bagi daerah yang memiliki penambangan tradisional dan sebagai bahan rujukan bagi semua pihak yang terkait (stakeholders) dalam pencegahan pencemaran dan pengelolaan lingkungan hidup.

Tim Penulis,

## DAFTAR ISI

	Hal.
Kata Pengantar .....	v
Daftar Isi .....	vii
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
<b>BAB II DASAR PEMODELAN MERKURI DI AIR .....</b>	<b>5</b>
A. Pemodelan Kualitas Air .....	5
B. Ekosistem Sungai.....	7
C. Konsep Penambangan Emas Tradisional.....	11
D. Pencemaran Merkuri.....	13
<b>BAB III CARA ANALISIS PEMODELAN MERKURI.....</b>	<b>21</b>
A. Pengumpulan Data.....	21
B. Data yang diperlukan.....	21
C. Bahan Penelitian .....	23
D. Alat Penelitian.....	23
E. Variabel Penelitian.....	24
F. Teknik Pengumpulan Data .....	25
G. Teknik Pengambilan Sampel .....	32
<b>BAB IV DESKRIPSI WILAYAH STUDI.....</b>	<b>37</b>
A. Letak, luas dan batas wilayah penelitian .....	37
B. Curah Hujan.....	38
C. Topografi.....	42
D. Geologi .....	42
E. Jenis Tanah .....	51
F. Karakteristik Sungai .....	57
<b>BAB V DESKRIPSI MERKURI HULU MENUJU HILIR DI EKOSISTEM SUNGAI.....</b>	<b>60</b>
A. Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri Pada Sedimen Dasar .....	60
B. Kegiatan Penambangan Emas Lokasi Mohutango.....	62



C. Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri Pada Sedimen Melayang .....	64
D. Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri di Air .....	68
<b>BAB VI MODEL MERKURI DI SUNGAI .....</b>	<b>73</b>
A. Model Pengaruh Jarak Terhadap Konsentrasi Rata-Rata Merkuri Pada Sedimen Dasar .....	73
B. Model Pengaruh Jarak Terhadap Konsentrasi Merkuri Rata-rata Pada Sedimen Melayang .....	81
C. Pengaruh Jarak Terhadap Konsentrasi Merkuri Rata-rata Pada Air .....	89
D. Pengaruh Debit, TSS dan Konsentrasi Merkuri Pada Sedimen Melayang .....	92
<b>BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>98</b>
A. Kesimpulan .....	98
B. Saran .....	98
<b>Daftar Pustaka .....</b>	<b>100</b>

## DAFTAR TABEL

	Hal.
Tabel 3.1 Jenis Data dan Teknik Pengukuran .....	22
Tabel 3.2 Penentuan bagian alur sungai yang lurus .....	26
Tabel 3.3 Penentuan banyaknya jalur lintasan pelampung .....	26
Tabel 4.1 Curah hujan rata-rata bulanan (mm/bulan) Stasiun Alale .....	39
Tabel 4.2 Jumlah hari hujan pada Stasiun Alale Tahun 2002-2009 ....	39
Tabel 4.3 Curah hujan Tahun 2010 Stasiun ARR/MRG Bone Tulabolo, Stasiun Pinogu dan Stasiun MRG DAS Bone Alale .....	40
Tabel 5.1 Konsentrasi merkuri pada sedimen dasar di Bor 17 .....	60
Tabel 5.2 Konsentrasi merkuri pada sedimen dasar di Daerah Mohutango .....	63
Tabel 5.3 Konsentrasi merkuri pada sedimen melayang di Bor 17 .....	65
Tabel 5.4 Konsentrasi merkuri pada sedimen melayang Di Daerah Mohutango .....	67
Tabel 5.5 Konsentrasi merkuri pada air di Bor 17 .....	69
Tabel 5.6 Konsentrasi merkuri dalam air Daerah Mohutango .....	71
Tabel 6.1 Hasil analisis konsentrasi merkuri rata-rata pada sedimen dasar berbagai jarak dan debit air .....	75
Tabel 6.2 Persamaan regresi hubungan antara jarak dengan konsentrasi merkuri rata-rata pada sedimen dasar .....	76
Tabel 6.3 Koefisien Unstandardized beta .....	77
Tabel 6.4 Hasil analisis konsentrasi merkuri rata-rata pada sedimen melayang pada berbagai jarak dan debit air .....	82
Tabel 6.5 Persamaan regresi hubungan antara jarak dengan konsentrasi merkuri rata-rata pada sedimen melayang .....	84

Tabel 6.6. Koefisien unstandarisasi $\beta$ .....	84
Tabel 6.7. Hasil Analisis Konsentrasi Merkuri Rata-Rata Pada Air Pada Berbagai Jarak dan Debit Air.....	89
Tabel 6.8. Persamaan regresi hubungan antara jarak dengan konsentrasi merkuri rata-rata di dalam air.....	90
Tabel 6.9. Koefisien unstandarisasi $\beta$ di dalam air.....	91
Tabel 6.10. Hasil analisis TSS di air pada variasi debit air.....	92
Tabel 6.11. Hubungan debit air, TSS dan konsentrasi merkuri pada sedimen melayang.....	93

## DAFTAR GAMBAR

	Hal.
Gambar 3.1. Lokasi Sampel Penelitian.....	36
Gambar 4.1. Peta lokasi penelitian.....	37
Gambar 4.2. Peta Kemiringan Lereng.....	42
Gambar 4.3. Peta Geologi di Lokasi penelitian.....	50
Gambar 4.4. Peta Jenis Tanah di Lokasi Penelitian.....	57
Gambar 5.1. Pola konsentrasi merkuri di dalam sedimen dasar di Bor 17.....	61
Gambar 5.2. Pola konsentrasi merkuri pada sedimen dasar di Daerah Mohutango.....	64
Gambar 5.3. Pola konsentrasi merkuri pada sedimen melayang di Bor 17.....	65
Gambar 5.4. Pola konsentrasi merkuri pada sedimen melayang Daerah Mohutango.....	68
Gambar 5.5. Pola Konsentrasi merkuri dalam air di Titik Bor 17.....	70
Gambar 5.6. Pola Konsentrasi merkuri dalam air di Daerah Mohutango.....	71



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

Air merupakan kebutuhan mutlak bagi kehidupan manusia. Kenyataannya tidak ada makhluk hidup yang tidak membutuhkan air. Semakin berkembangnya kota akibat penambahan 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.

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 amalgamasi. 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. Merkuri di air 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).

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.

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.

Atas dasar inilah maka kajian mengenai pengaruh penambangan emas rakyat ini perlu dilakukan, baik secara spasial maupun temporal untuk mengetahui konsentrasi merkuri di aliran Sungai. Pentingnya kajian ini karena banyaknya masyarakat yang sangat membutuhkan air Sungai Bone sebagai air irigasi dan sumber air minum masyarakat Gorontalo.

Karakteristik curah hujan di atas 2000 mm/thn termasuk daerah basah dengan sebaran bulan basah sepanjang tahun yang tidak merata akan menyebabkan terjadinya puncak bulan basah dengan intensitas hujan dan debit aliran yang tinggi. Hujan berperan dalam erosi tanah melalui pelepasan dari pukulan butir-butir hujan pada permukaan tanah dan sebagian melalui kontribusinya terhadap aliran permukaan. Pengaruh tenaga kinetis air hujan dan aliran permukaan, partikel-partikel tanah tersebut dapat terkelupas dan terangkut ke tempat yang lebih rendah untuk kemudian masuk ke dalam sungai dan dikenal sebagai sedimen. Tanah hasil erosi dan sisa-sisa limbah padat buangan merkuri akibat penambangan terbawa dengan aliran air menuju sungai. Hal ini dikhawatirkan dapat meningkatkan pencemaran merkuri di air maupun sedimen di sungai tersebut. Kondisi iklim DAS Bone mengalami dua musim yang nyata yaitu musim kemarau dan musim hujan, curah hujan rata-rata tahunan berkisar antara 2.087,29 (Stasiun

Tumbehe) sampai 2.400,47 mm/thn (Stasiun Boidu), beriklim Tipe A ( Berdasarkan Schmidt & Ferguson dalam DPDAS, 2005).

Model diartikan sebagai suatu cara untuk mendeskripsikan sesuatu yang tidak dapat diobservasi secara langsung. Model akan membantu memahami, menerangkan, mengendalikan dan kemudian memprediksikan kelakuan sistem yang diteliti. Secara umum, model merupakan penyederhanaan dan abstraksi dari keadaan alam yang sesungguhnya. Keadaan alam yang ingin diteliti biasanya amat rumit dan kemampuan menelitinya secara keseluruhan terbatas, karena itu perlu menyederhanakannya sesuai dengan kemampuan akal menghadapinya (Sembiring, 1995).

Kajian ini untuk mendapatkan gambaran sebaran spasial maupun temporal konsentrasi merkuri pada berbagai jarak dan perubahan debit air dengan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Kajian model konsentrasi merkuri pada ekosistem Sungai Tulabolo dapat dilakukan berdasarkan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Survey lapangan untuk lokasi pengambilan sampel
- b. Menghitung debit air pada berbagai musim
- c. Pengambilan sampel merkuri baik pada air dan sedimen pada berbagai debit air
- d. Mendeskripsikan merkuri dari hulu menuju hilir
- e. Menemukan model prediksi konsentrasi merkuri pada berbagai jarak dan debit air



## BAB II

# DASAR PEMODELAN MERKURI DI AIR

### A. Pemodelan Kualitas Air

Dalam pengelolaan dan perencanaan sistem lingkungan, salah satu kebutuhan yang utama adalah bagaimana memprakirakan (*forecasting*) kondisi-kondisi yang mungkin terjadi di masa mendatang. Namun demikian, dengan adanya interaksi yang kompleks antara variabel-variabel yang ada pada lingkungan, maka prakiraan merupakan suatu prosedur yang sulit (Beer, 1997 dalam Paryono, 2003).

Model dalam arti luas merupakan penggambaran sebagian dari kenyataan, yaitu antara model dan kenyataan harus ada persamaan agar model yang bersangkutan dapat digunakan secara berarti (Winardi, 1999 dalam Purnama, 2006 ). Hal tersebut tidak berbeda dengan Ford (1999) yang mengartikan model sebagai pengganti sistem yang sebenarnya untuk memudahkan kerja. Menurut Suratmo (2002), model adalah gambaran dari sistem interaksi antar komponen di alam dengan meniadakan komponen yang pengaruhnya kecil, sehingga analisis model selalu memiliki kesalahan atau ketidaktepatan. Kesalahan dari model adalah kesalahan dalam memilih komponen yang dihilangkan. Beberapa penelitian menggunakan kriteria berikut : tingkat kebenaran di atas 95% di sebut sangat baik, 85 – 94% baik, 75 – 84% cukup baik dan dibawah 75% disebut tidak baik (Purnama, dkk 2006).

Dalam prakteknya model dianalisis dalam dua kategori yaitu model analitik dan model simulasi. Model analitik adalah model yang rumus eksplisitnya diperoleh dari nilai penduga atau distribusi, termasuk dalam model ini adalah model regresi, eksperimen, baku mutu dan distribusi statistik. Model simulasi

adalah model yang dapat dijelaskan oleh operasi aritmatika secara rutin termasuk di dalamnya, matrik atau penggunaan bilangan random (Jeffer, 1998 dalam Purnama dkk, 2006). Salah satu contoh pemodelan kualitas air sungai dengan menggunakan program simulasi adalah model Qual2E dan model AVSWAT 2000.

Berdasarkan bentuknya model dibedakan atas model fisik (*physical model*), model analog dan model matematis. Menurut Maidment (1995), model pada prinsipnya dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian besar yakni model fisik dan model abstrak. Termasuk dalam model fisik adalah model berskala atau prototipe. Prototipe merupakan tiruan yang sebenarnya. Termasuk model fisik adalah model analog yang menggunakan system lainnya yang mempunyai karakteristik identik dengan prototype tersebut (Indarto, 2010).

Model abstrak merupakan deskripsi sistem dalam bentuk persamaan matematis. Operasi sistem digambarkan dalam bentuk suatu seri persamaan matematis yang menghubungkan antara variabel masukan dan keluaran. Variabel-variabel ini mungkin merupakan fungsi ruang dan waktu. Variabel ini mungkin dapat tidak mempunyai nilai yang pasti dalam dimensi ruang dan waktu, akan tetapi dapat dinyatakan dengan distribusi probabilitistik (Indarto, 2010).

Pemodelan kualitas air adalah suatu prosedur kerja untuk membuat suatu mekanisme proses transfer masuknya beban pencemar ke dalam suatu sel dari ruas sungai menjadi besaran kadar kualitas airnya. Beban limbah atau polutan dapat disebarkan dalam air karena sifat difusi maupun karena terbawa oleh partikel air saat bergerak yang biasa disebut peristiwa adveksi. Pergerakan beban limbah atau polutan berupa difusi dan adveksi sudah dapat ditirukan oleh persamaan matematika (persamaan pengatur yang sering disebut sebagai model matematika). Persamaan tersebut mengandung koefisien yang berbeda untuk setiap polutan. Dengan berpedoman pada persamaan matematika tersebut, gerakan polutan dapat disimulasikan dengan pengaruh arus, tinggi air,



panas matahari, hujan perubahan terhadap sumber polutan dan lain sebagainya (Triatmadja, 2009).

## **B. Ekosistem Sungai**

Istilah ekosistem mengandung pengertian hubungan timbal balik (saling mempengaruhi) antara makhluk hidup dengan lingkungannya. Ekosistem ditinjau dari segi penyusunannya, maka dapat dibedakan 4 komponen, yaitu :

1. Bahan tak hidup (abiotik), yaitu komponen fisik dan kimia yang terdiri dari tanah, air, udara, sinar matahari dan sebagainya yang merupakan medium untuk berlangsungnya kehidupan.
2. Produsen, yaitu organisme yang autotrof yang umumnya tumbuhan berklorofil, yang mensintesis makanan dari bahan organik yang sederhana.
3. Konsumen, yaitu organisme heterotrofik misalnya hewan dan manusia yang makan organisme lain.
4. Pengurai atau dekomposer, yaitu organisme heterotrofik yang menguraikan bahan organik yang berasal dari organisme mati, menyerap sebagian hasil penguraian tersebut dan melepas bahan-bahan yang sederhana yang dapat dipakai produsen. Bakteri dan jamur termasuk dalam kelompok ini.

Ekosistem adalah suatu sistem ekologi yang terbentuk oleh hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya. Dengan kata lain ekosistem adalah tatanan kesatuan secara utuh dan menyeluruh antara segenap unsur lingkungan hidup yang saling mempengaruhi. Komponen hidup dan tak hidup akan berada pada suatu tempat dan berinteraksi membentuk suatu kesatuan yang teratur.

Ekosistem sungai disusun atas dua macam elemen, yaitu "*dynamic hydrology*" dan elemen fisik tetap. Elemen "*dynamic hydrology*" adalah elemen utama air itu sendiri dan komponen iklim yang berhubungan dengan presipitasi, evaporasi, dan temperatur. Sementara elemen fisik tetap terdiri atas lahan (topografi, geomorfologi, dan tanah) dan vegetasi, yang keduanya menyajikan

seluruh ekosistem dalam ukuran dan bentuk yang berbeda yang seluruhnya mengelilingi badan air.

Sungai memiliki ciri utama yaitu mengalir dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah, sehingga kegiatan di daerah hulu seperti aktivitas penambangan tradisional akan memberi dampak terhadap daerah hilir. Aktivitas penambangan tradisional di ekosistem Sungai Tulabolo akan memberi dampak terhadap kualitas air dan sedimen (abiotik) yang pada akhirnya akan mencemari tumbuhan dan hewan aquatik lainnya di aliran sungai tersebut. Mengubah suatu faktor misalnya faktor abiotik yaitu air atau sedimen maka dengan mudah akan menaikkan atau menurunkan faktor lainnya misalnya tumbuhan dan hewan *aquatic*. Oleh karena, dalam rencana pengelolaan perlu sekali dilihat dari sudut operasi seluruh ekosistem dan mempertimbangkan bagaimana semua faktor itu berinteraksi.

Sungai mempunyai fungsi mengumpulkan air hujan dalam suatu daerah tertentu dan mengalirkannya ke laut. Sehingga ekosistem sungai dapat diartikan sebagai ekosistem perairan yaitu suatu sistem lingkungan perairan yang merupakan tempat berlangsungnya hubungan timbal balik antara jasad hidup perairan (komponen biotik), dengan lingkungan fisik perairan (komponen abiotik) dan antar komponen biotik itu sendiri.

Peranan manusia dalam ekosistem sangat luas. Sebab lingkungan hidup manusia tidak hanya terbatas pada sarana fisik kimia dan biologi saja, tetapi termasuk juga di dalamnya persoalan ekonomi, budaya, sosial-budaya dan agama. Segala macam perubahan dalam lingkungan hidup manusia, mau tidak mau akan berpengaruh terhadap dirinya. Manusia dengan kemampuan ilmu dan teknologi bisa mengadakan perubahan-perubahan, baik secara kecil maupun besar terhadap lingkungannya. Hal ini terutama terjadi karena meningkatnya kebutuhan hidup manusia, sehingga interaksi antara manusia dan lingkungannya semakin intensif. Misalnya dalam penggalian sumber alam, pengelolaan dan penggunaan sumber alam, peranan manusia terhadap alam serta alam

lingkungannya makin mendalam. Manusia merupakan bagian integral dari ekosistem, maka bila struktur dan sifat fungsional ekosistem rusak, akan menimbulkan penderitaan pada manusia itu sendiri. Bila sifat-sifat fungsional ekosistem rusak, maka keseimbangan ekologi akan terganggu dengan akibat penderitaan pada manusia itu sendiri (Supardi, 1994).

Keteraturan ekosistem menunjukkan bahwa ekosistem tersebut berada dalam keseimbangan ini tidak bersifat statis, melainkan bersifat dinamis dan selalu berubah-ubah. Perubahan dapat terjadi secara alamiah, maupun akibat ulah manusia. Dengan konsep ekosistem kita memandang unsur-unsur dalam lingkungan hidup tidak secara terpisah-pisah, melainkan secara terintegrasi sebagai komponen yang saling berkaitan dalam suatu sistem. Pendekatan ini disebut pendekatan ekosistem (Kristanto, 2004).

Lingkungan sungai mempunyai batas pengaliran yang biasa disebut dengan daerah pengaliran sungai (DPS atau DAS). Daerah pengaliran sungai dibatasi oleh igir atau punggung bukit, yang membagi masing-masing daerah pengaliran didasarkan atas laju pengaliran yang terjadi, apabila di daerah tersebut teraliri air, baik air hujan ataupun limpasan air sungai yang mengalir dalam daerah pengaliran tersebut.

Beberapa parameter hidrologi suatu badan air yang perlu diketahui adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan (*Velocity*)

Kecepatan arus (*Velocity / flow rate*) suatu badan air sangat berpengaruh terhadap kemampuan badan air tersebut untuk mengasimilasi dan mengangkut bahan pencemar. Pengetahuan akan kecepatan arus digunakan untuk memperkirakan kapan bahan pencemar akan mencapai suatu lokasi tertentu, apabila bagian hulu suatu badan air mengalami pencemaran. Kecepatan arus dinyatakan dalam satuan m/detik.

2. Debit

Debit (*discharge*) dinyatakan sebagai volume yang mengalir pada selang tertentu, biasanya dinyatakan dalam satuan m<sup>3</sup>/detik. Perhitungan debit ditentukan dengan persamaan di bawah ini (Jeffries dan Mills, 1996)

$$Q = V \times A \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan : Q = debit air (m<sup>3</sup>/detik), V = kecepatan (m/dt) , A = luas penampang basah (m<sup>2</sup>).

Dengan meningkatnya debit, kadar bahan-bahan alam yang terlarut ke suatu badan air akibat erosi meningkat secara eksponensial. Namun konsentrasi bahan-bahan antropogenik yang memasuki badan air tersebut mengalami penurunan karena terjadi proses pengenceran. Jika suatu bahan pencemar masuk ke badan air dengan kecepatan konstan, kadar bahan pencemar dapat ditentukan dengan membagi jumlah bahan pencemar yang masuk dengan debit air ( Efendi, 2003).

### **C. 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  $\pm 400$  °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).

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 di letakkan 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.

#### **D. 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* ( $\text{CH}_3\text{Hg}_x$ )/*ethyl mercury* ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{Hg}_x$ ) yang ada di perairan, 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.

Pengambilan awal logam oleh makhluk hidup air dapat dianggap dalam tiga proses utama yaitu (1) dari air melalui permukaan pernapasan (misalnya insang); (2) penyerapan dari air ke dalam permukaan tubuh; dan (3) dari makanan, partikel atau air yang dicerna melalui sistem pencernaan (Connell dan Miller, 2006).

Logam dapat diserap oleh makhluk hidup air dapat juga diserap oleh tanaman. Terdapat dua jalan masuk utama logam ke dalam tanaman yaitu melalui permukaan daun di atas tanah dan melalui sistem perakaran. Sifat yang

mengatur masuknya partikel ke dalam tanaman dan permukaan tanah telah dirangkum oleh Hughes dkk, (1980) sebagai berikut : (1) ukuran partikel, (2) morfologi permukaan deposisi, (3) umur aerosol, dan (4) kecepatan angin. Sekali tertimbun, sifat kimiawi bentuk logam tertentu yang ada merupakan hal penting. Proses melarutnya bahan metalik pada permukaan daun menyebabkan bahan ini dapat masuk ke dalam tanaman, sedangkan yang masuknya melalui sistem perakaran pertama-tama harus lewat melalui tanah. Interaksi logam dan tanah merupakan proses yang sangat rumit yang bergantung pada kandungan organik tanah sebagaimana bahan penting lainnya seperti tanah liat dan oksida logam hidrat (Connell dan Miller, 2006).

Sesudah masuk, logam dapat disebarkan melalui proses yang rumit ke bagian lain dari tanaman tersebut. Tetapi mereka dapat juga menjadi tidak bergerak oleh penyerapan ke permukaan atau detoksifikasi oleh pengkelatan dengan senyawa yang ada dalam tanaman (Malone dkk., 1974). Namun, secara umum akumulasi logam terjadi di permukaan daun, batang, dan akar (Connell dan Miller, 2006).

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  $\text{Hg}^{2+}$  yang dihasilkan dari perombakan persenyawaan merkuri pada endapan lumpur dapat berubah menjadi dimetil merkuri  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$  dan ion metil merkuri  $(\text{CH}_3\text{Hg}^+)$ ,

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 membandingkan kondisi fisik (air dan sedimen) antar lokasi dengan pendekatan sub DAS dimana dilakukan dengan Sistem Informasi Geografis (SIG). Adanya SIG dapat diketahui konsentrasi merkuri pada variasi jarak. 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 abiotik seperti komponen merkuri di dalam air dan sedimen akan memberi pengaruh terhadap komponen biotik seperti tumbuhan, hewan *aquatic* dan manusia juga terhadap kesehatan masyarakat. 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 dalam air maupun di dalam sedimen berdasarkan waktu dengan melihat variasi pada tiga kriteria tinggi muka 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.

## BAB III

### CARA ANALISIS PEMODELAN MERKURI

#### A. Pengumpulan Data

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.

Analisis konsentrasi merkuri pada air, sedimen dasar dan sedimen melayang dilakukan di laboratorium Pembinaan dan Pengujian Mutu Perikanan Provinsi Gorontalo dan analisis TSS dilakukan di laboratorium Dinas Kesehatan Kabupaten Gorontalo. Pemsyaratan umum kompetensi laboratorium pengujian dan laboratorium kalibrasi mengacu pada SNI 19-17025-2000. Lama penelitian sekitar 12 (dua belas) bulan, meliputi penelitian di lapangan dan di laboratorium.



## B. Data yang diperlukan

Data utama dalam penelitian ini adalah Karakteristik lokasi Daerah Mohutango dan Tulabolo, kualitas 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
<b>Data Karakteristik Sub DAS Tulabolo</b>			
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	

.....natujnaL .1.3 lebaT

Penggunaan lahan	S	Data Dalam Angka (DDA)	Kuesioner
Data Sosial Budaya Masyarakat			
Banyaknya unit pengolahan emas	P	-	Wawancara
Jumlah Penambang	P	-	Wawancara
Banyaknya merkuri yang digunakan	P	-	Wawancara
Data konsentrasi merkuri			
Air	P	Metode AAS	-
Sedimen Dasar	P	Metode AAS	-
TSS	P	Gravimetri & AAS	-

\*) S = Sekunder; P = Primer

### C. 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 pH<2 digunakan untuk mengawetkan air sebelum diperiksa dilaboratorium.
7. Aceton digunakan untuk mencuci rambut kepala sebelum dianalisis dilaboratorium.
8. Es batu untuk mengawetkan hewan *aquatic*

#### **D. 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.
14. *Sediment Sampler* tipe USDH 48 untuk mengambil sedimen melayang di sungai.

## **E. Variabel Penelitian.**

Variabel-variabel yang dikaji dalam penelitian ini adalah :

### **Konsentrasi merkuri di air dan sedimen**

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

## **F. Teknik Pengumpulan Data**

### **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.

**a. 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 3.2 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 3.3 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 :

$V_p$  = kecepatan lintasan pelampung (m/detik)

$L$  = panjang lintasan pelampung

$T$  = Waktu lamanya lintasan pelampung (detik)

Debit dihitung dengan rumus :

$$Q = \sum (a. \tilde{v}) \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\tilde{v} = k.V_p \dots\dots\dots(3.2)$$



Keterangan :

Q = debit sungai total (m<sup>3</sup>/detik)

A = luas bagian penampang basah (m<sup>2</sup>)

$\tilde{v}$  = kecepatan aliran rata-rata pada bagian penampang basah (m/detik)

k = faktor koreksi kecepatan

V<sub>p</sub> = kecepatan lintasan pelampung (m/detik)

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

**b. 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 :

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

Keterangan :

Q = debit total (m<sup>3</sup>/det);

q = debit setiap bagian penampang (m<sup>3</sup>/det)

$\tilde{v}$  = kecepatan aliran rata-rata pada bagian luas penampang basah

(m/det);

$\left( \frac{A + A'}{2} \right)$  = luas bagian penampang basah rata-rata hulu-hilir (m<sup>2</sup>);

m = banyaknya luas bagian penampang basah.

Kecepatan rata-rata disetiap bagian penampang basah dihitung berdasarkan rumus 3.1 dan 3.2.

## **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 survey 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 titik-titik yang sudah ditentukan berdasarkan pada jarak dan perubahan debit air.

### **a. 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.

**b. 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  $\mu\text{m}$ .

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. Prosedur pengujian merkuri di sedimen dasar dan TSS ditunjukkan dalam Lampiran 2a.

## **G. Teknik Pengambilan Sampel**

### **1. Pengambilan Sampel 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. 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  $\text{pH} < 2$ .

## **2. Pengambilan sampel sedimen dasar dan TSS**

Pengambilan sampel air, sedimen dasar dan TSS diambil pada 17 lokasi seperti yang tertera dalam Gambar 3.1. Untuk menentukan daerah jangkauan dari sampel sedimen, sedimen dasar diambil 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. Gambar pengambilan sampel di sedimen dan air ditunjukkan dalam Lampiran 3e.

Lokasi pengambilan sampel air sedimen dasar dan TSS meliputi :

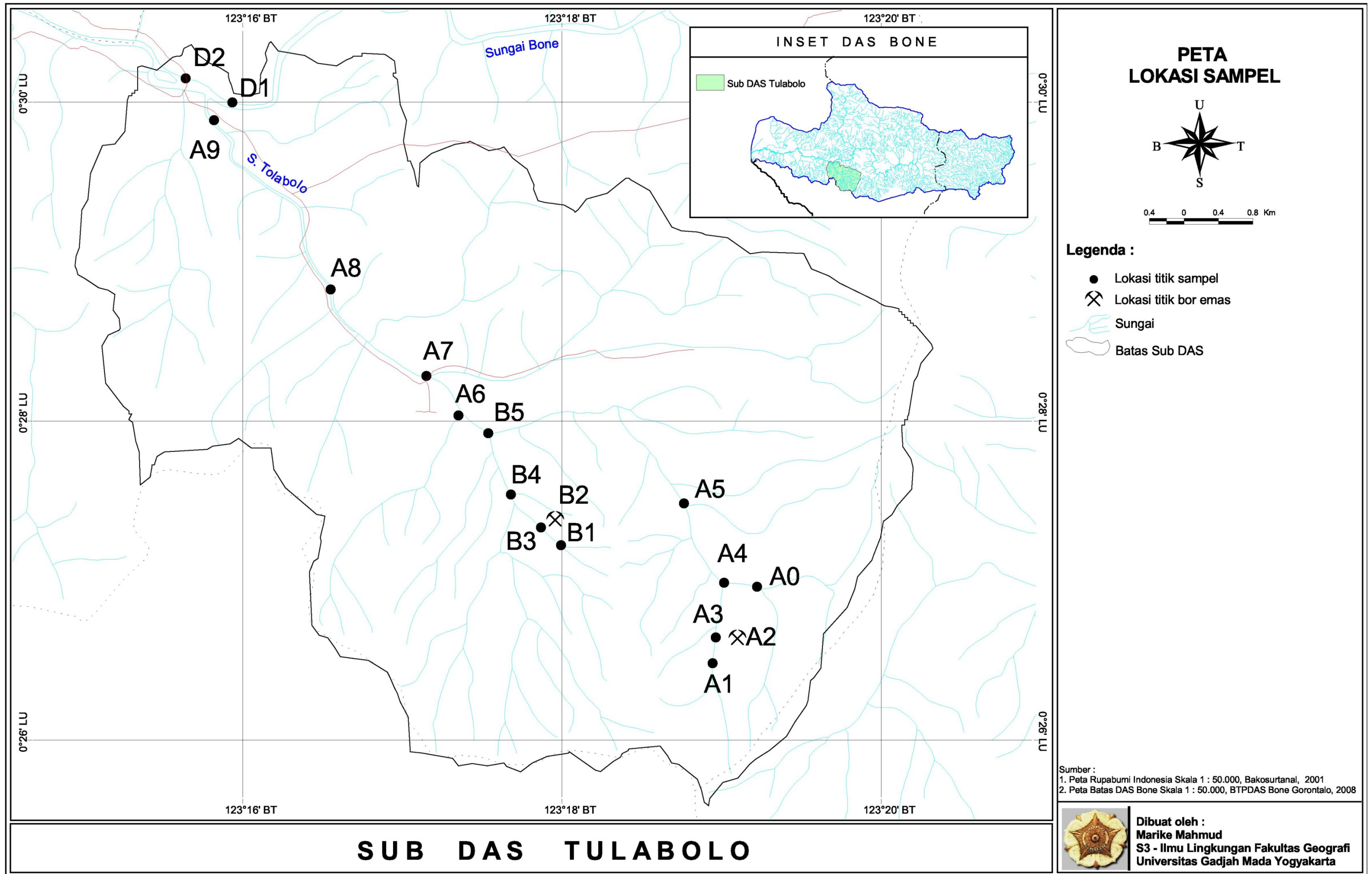
1. Titik 1 (A1) Sungai 17 sebelum lokasi penambangan Titik Bor 17 sebagai kontrol.
2. Titik 2 (A2) saluran tailing pada lokasi penambangan Titik Bor 17.
3. Titik 3 (A3) Sungai 17 di *effluent* lokasi pengolahan penambangan di Titik Bor 17.
4. Titik 4 (A4) Sungai Tulabolo sesudah pertemuan antara Sungai 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
11. Titik 11 (A6) Sungai Tulabolo di sekitar pemukiman (sesudah pertemuan dengan Sungai Tombiato).
12. Titik 12 (A7) Sungai Tulabolo Daerah Pertanian Lahan Kering (setelah pertemuan dengan sungai Segitia).
13. Titik 13 (A8) Sungai Tulabolo (Jembatan Mono)
14. Titik 14 (A9) Hilir Sungai Tulabolo
15. Titik 15 ( D1) Sungai Bone sebelum pertemuan antara Sungai Tulabolo dan Sungai Bone.
16. Titik 16 ( D2) Sungai Bone sesudah pertemuan antara Sungai Tulabolo dan Sungai Bone.
17. Titik 17 (A0) Sungai Kuning sebagai kontrol tambang Titik Bor 15.

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 Penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Lokasi Sampel Penelitian





## BAB IV

### DESKRIPSI WILAYAH STUDI

#### A. Letak, luas dan batas wilayah penelitian

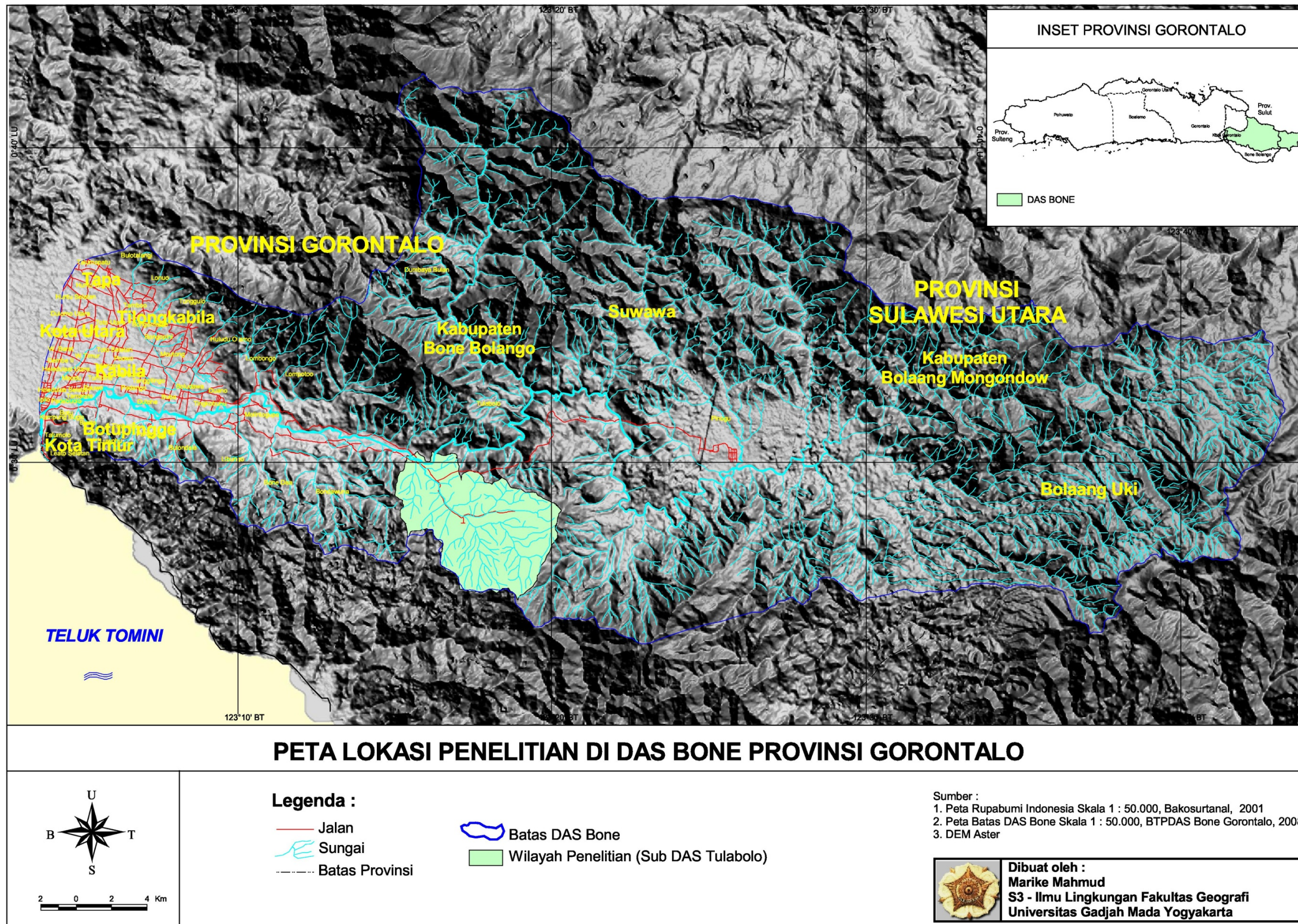
Lokasi penelitian adalah di aliran Sungai yang berada di Sub DAS Tulabolo yang terletak di Kecamatan Bone Bolango Provinsi Gorontalo. Sub DAS Tulabolo memiliki luas 149,04 km<sup>2</sup> yang terletak pada : 123°13'12.3700" – 123°22'3.1582" BT dan 0°25'32.5697" – 0°30'26.2503" LU.

Batas Sub DAS Tulabolo adalah sebagai berikut :

- a. Sebelah utara berbatasan dengan Pegunungan Pangi
- b. Sebelah timur berbatasan dengan Kecamatan Pinogu
- c. Sebelah barat berbatasan dengan Kecamatan Suwawa Barat
- d. Sebelah selatan berbatasan dengan Kecamatan Bone Pantai.

Lokasi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1.





Gambar 4.1. Peta lokasi penelitian  
88



## **B. Curah hujan**

Curah hujan yaitu jumlah air hujan yang turun pada suatu daerah dalam waktu tertentu. Curah hujan adalah butiran air dalam bentuk cair pada atmosfer yang jatuh ke permukaan bumi. Curah hujan bertindak sebagai pencuci atmosfer. Air hujan sebagai pelarut umum, cenderung melarutkan bahan polutan yang terdapat dalam udara (Bayong, 2004 dalam Faisal and Ulfah, 2009). Biasanya hujan memiliki kadar asam pH 6. Air hujan dengan pH di bawah 5,6, dianggap hujan asam.

Aktivitas penambangan emas tradisional akan menghasilkan limbah buangan merkuri. Bentuk limbah dapat berupa limbah cair maupun gas. Wilayah dekat lokasi tambang tradisional dapat menghasilkan polutan merkuri di udara akibat pembakaran amalgam yaitu pemisahan emas dari amalgam. Hasil pembakaran ini menyebabkan merkuri akan menguap ke udara. Tetapi pada akhirnya, merkuri yang menguap di udara akan berada dalam tatanan udara itu dan akan masuk kembali ke badan perairan oleh air hujan.

Hujan berperan sebagai pelarut zat kimia baik di udara maupun setelah kontak dengan tanah atau batuan yang dialirinya. Proses pelarutan zat pencemar di aliran Sungai Tulabolo dapat terjadi ketika hujan jatuh, kemudian mendispersi tanah di sekitar lokasi tambang tradisional yang sudah terkontaminasi dengan merkuri, pada akhirnya terbawa masuk ke sungai.

Berdasarkan data yang diperoleh dari stasiun *automatic rain recorder/ manual rain gauge* ARR/MRG Sub DAS Tulabolo tahun 2010, (ARR/MRG) Sub DAS Pinogu dan Stasiun ARR Alale di Tahun 2010 di sekitar lokasi penelitian berkisar antara hujan 2599,1 dan 2729,6 mm/tahun dengan hari hujan per tahun berkisar 176 – 214 hari hujan. Pada Tabel 4.1 disajikan data curah hujan Stasiun Alale dari Tahun 2002-2009. Jumlah hari hujan pada Stasiun Alale Tahun 2002 – 2009 ditunjukkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Curah hujan rata-rata bulanan (mm/bulan) Stasiun Alale

Bulan	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Rata-rata
Januari	285,5	133,0	426,5	116,5	344,8	437,2	176,0	168,3	260,97
Februari	94,5	193,5	82,5	184,5	185,2	498,3	176,5	117,5	191,56
Maret	117,5	217,5	230,0	126,0	213,7	444,8	435,7	102,0	235,89
April	82,0	207,5	119,0	166,5	372,7	164,8	465,5	338,5	239,56
Mei	225,5	204,5	168,0	143,0	477,6	131,0	322,5	183,9	231,99
Juni	108,0	56,5	24,5	135,5	353,2	489,1	231,5	24,7	177,86
Juli	0,0	100,5	157,5	57,0	23,5	221,9	433,85	27,9	377,77
Agustus	15,0	32,5	1,5	13,0	54,0	323,1	121,2	4,4	78,58
Sept	58,0	104,5	22,0	3,0	176,8	189,3	246,7	1,2	100,18
Oktober	28,5	76,5	85,0	377,0	6,0	220,8	381,3	50,0	153,14
November	158,0	117,0	151,5	430,5	389,9	273,1	234,9	135,4	236,29
Desember	207,0	255,5	128,5	454,4	387,0	370,3	146,4	127,3	259,53
Jumlah	1379,5	1699,0	1596,5	2206,9	2984,4	3863,7	3372,1	1281,1	2297,9

Sumber : Departemen PU, 2009

Tabel 4.2. Jumlah hari hujan pada Stasiun Alale Tahun 2002-2009

Bulan	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Januari	17	11	23	6	17	13	10	17
Februari	8	11	6	14	12	16	11	11
Maret	13	17	12	11	14	14	17	12
April	11	16	13	11	16	8	12	21
Mei	9	11	10	15	19	9	11	11
Juni	13	7	11	8	4	25	16	7
Juli	-	10	10	2	3	10	24	5
Agustus	1	5	1	2	4	16	18	2
Sept	1	3	2	2	6	7	11	1
Oktober	2	5	9	6	1	10	16	7
November	13	8	10	11	11	11	18	18
Desember	15	16	13	13	18	23	13	9
Jumlah	103	120	120	101	125	162	177	121

Sumber : Departemen PU, 2009

Hasil pemeriksaan hujan untuk Stasiun ARR/MRG Bone Tulabolo curah hujan tertinggi terjadi pada Bulan April 434.60 mm/bulan dengan hari hujan 25 HH/bulan. Stasiun ARR/MRG Bone Alale, curah hujan tertinggi pada bulan Mei sebesar 335.5 mm/bulan dengan hari hujan 19 HH/bulan. Sedangkan Stasiun ARR/MRG Pinogu, curah hujan tertinggi

terjadi pada bulan Juli sebesar 470,70 mm/bulan dengan hari hujan 29 HH/bulan.

Data curah hujan Tahun 2010 Stasiun ARR/MRG Bone Tulabolo, Stasiun ARR/MRG Bone Alale dan Stasiun ARR/MRG Pinogu ditunjukkan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Curah hujan Tahun 2010 Stasiun ARR/MRG Bone Tulabolo, Stasiun Pinogu dan Stasiun MRG Das Bone Alale

Bulan	Stasiun ARR/MRG Bone Tulabolo		Stasiun ARR/MRG Bone Alale		Stasiun ARR/MRG Pinogu	
	CH (mm)	HH	CH (mm)	HH	CH (mm)	HH
Januari	-	-	213,1	13	172,80	12
Februari	-	-	109,9	11	85,60	11
Maret	46,20	10	58,3	7	282,40	13
April	434,60	25	173,1	23	470,70	29
Mei	356,40	24	335,5	19	336,80	21
Juni	265,80	21	245,2	21	408,60	18
Juli	209,70	24	268,6	20	260,30	15
Agustus	262,80	22	278,8	15	330,90	19
September	347,50	27	279,1	23	351,90	21
Oktober	210,00	19	312,2	19	381,50	17
November	252,10	21	208,2	16	214,00	25
Desember	214,00	25	237,3	23	232,90	20
Total	2599,1	214	2719,3	210	3528,00	221

Keterangan : Sumber : Departemen PU, 2010

- = Tidak ada data

0 = Tidak ada hujan

Karakteristik curah hujan di atas 2000 mm/tahun termasuk daerah basah dengan sebaran bulan basah sepanjang tahun yang tidak merata akan menyebabkan terjadinya puncak bulan basah dengan intensitas hujan dan debit aliran permukaan yang tinggi. Hujan berperan dalam erosi tanah melalui tenaga penglepasan dan pukulan butir-butir hujan pada permukaan tanah dan sebagian melalui kontribusinya terhadap aliran permukaan.

Curah hujan merupakan salah satu unsur iklim yang penting bagi kehidupan di bumi. Jumlah curah hujan dicatat dalam inci atau millimeter.

Jumlah hujan 1mm, menunjukkan tinggi air hujan yang menutup permukaan 1 mm, jika air tidak meresap ke dalam tanah atau menguap ke atmosfer.

Klasifikasi iklim menurut Schmidt Fergusson (1951) adalah menentukan nilai Q ( perbandingan rata-rata bulan kering dengan bulan basah). Bulan kering yaitu bulan dengan curah hujan lebih kecil dari 60 mm dan bulan basah adalah bulan dengan curah hujan lebih besar dari 100 mm (Daldjoeni, 1986 dan Tjasyono, 2004). Berdasarkan Schmidt Fergusson dimana Q dari data curah hujan Tahun 2010 di lokasi penelitian diperoleh 0% sehingga lokasi penelitian termasuk tipe iklim A yaitu sangat basah dengan vegetasinya hutan hujan tropis.

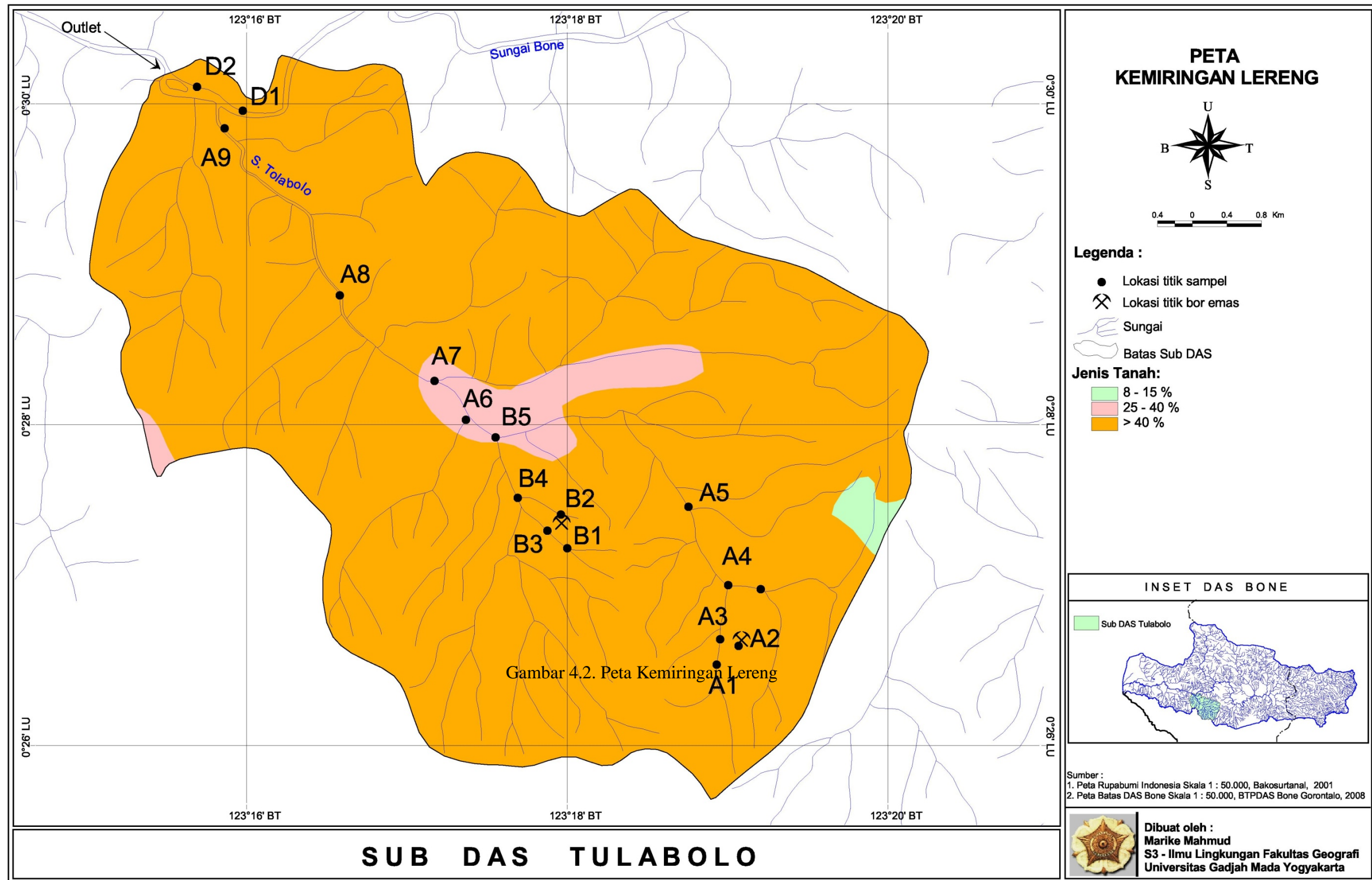
Terjadinya pencemaran terhadap kualitas air sungai dapat dipengaruhi secara tidak langsung oleh kondisi iklim. Kondisi iklim yang berada di Sub DAS Tulabolo mengalami dua musim yang nyata yaitu musim kemarau dan musim hujan. Musim kemarau di Sub DAS Tulabolo umumnya berkisar dari bulan Februari – Agustus dan musim hujan antara bulan September – Februari. Tetapi pada Tahun 2010 terjadi penyimpangan curah hujan dimana musim kemarau antara Bulan Januari – Maret dan musim hujan antara Bulan April – Desember. Pada musim hujan dapat terjadi erosi yang membawa beban-beban cemar dari daerah tambang sehingga mempengaruhi jumlah konsentrasi merkuri di air dan sedimen. Sebaliknya pada musim kering dengan curah hujan kurang dari 60 mm/hari dapat meningkatkan konsentrasi merkuri di air, akan terlarut dalam sedimen karena kurangnya penguraian atau pembersihan beban-beban cemar oleh air tersebut.

### **C. Topografi**

Berdasarkan Peta Rupa Bumi Skala 1 : 50.000 DAS Bone Tahun 2005 serta pengecekan lapangan Tahun 2010 di Sub DAS Tulabolo didominasi oleh lereng curam dengan kemiringan lereng berkisar > 40 %.

Kemiringan lereng yang besar akan mempercepat laju dan volume aliran permukaan, sehingga dapat meningkatkan energi kinetik aliran permukaan untuk melepaskan partikel-partikel tanah. Peta kemiringan lereng Sub DAS Tulabolo ditunjukkan dalam Gambar 4.2.





Gambar 4.2. Peta Kemiringan Lereng

## D. Geologi

Salah satu aspek geologi yang berperan terhadap proses pencemaran air adalah litologi. Litologi (batuan) menjadi dasar untuk memperoleh informasi dan karakteristik kualitas air yang mengalir di suatu daerah pengaliran sungai. Karakteristik kualitas air dapat dipengaruhi oleh mineral-mineral batuan yang dialirinya.

Mineral didefinisikan sebagai bahan padat anorganik yang terdapat secara alamiah, yang terdiri dari unsur-unsur kimiawi dalam perbandingan tertentu, dimana atom-atom didalamnya tersusun mengikuti suatu pola yang sistimatis. Mineral dapat kita jumpai dimana-mana di sekitar batuan, tanah, atau pasir yang diendapkan pada dasar sungai (Noor, 2009).

Mineral pembentuk batuan dikelompokkan menjadi empat : (1) Silika, (2) Oksida, (3) Sulfida dan (4) Karbonat dan Sulfat. Mineral sulfida merupakan mineral hasil persenyawaan langsung antara unsur tertentu dengan sulfur (belerang), seperti besi, perak, tembaga, timbal, seng dan merkuri. Beberapa dari mineral sulfida ini terdapat sebagai bahan yang mempunyai nilai ekonomis atau bijih seperti *pirit* ( $\text{FeS}_3$ ), *chalcocite* ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), *galena* ( $\text{PbS}$ ), dan *sphalerit* ( $\text{ZnS}$ ) (Noor, 2009). Sumber alami merkuri adalah *cinnabar* ( $\text{HgS}$ ) (Novotny dan Olem, 1994 dalam Effendi, 2003). Selain itu, mineral sulfida, misalnya *sphalerite* ( $\text{ZnS}$ ), *wurtzite* ( $\text{ZnS}$ ), *chalcopyrite* ( $\text{CuFeS}$ ), dan *galena* ( $\text{PbS}$ ), juga mengandung merkuri. (Effendi, 2003). *Cinnabar* sukar larut dalam air. Namun pelapukan bermacam-macam batuan dan erosi tanah dapat melepaskan merkuri ke dalam lingkungan perairan (McNeely *et al*, 1979 dalam Effendi, 2003).

Jenis-jenis batuan dapat dikelompokkan dalam tiga kelompok besar yaitu batuan beku, batuan sedimen dan batuan malihan atau metamorfosis. Sejarah pembentukan bumi, diperoleh gambaran bahwa awalnya seluruh bagian luar dari bumi terdiri dari batuan beku. Proses perjalanan waktu maka terjadilah perubahan-perubahan yang disertai

dengan pembentukan kelompok-kelompok batuan yang lainnya. Proses perubahan satu kelompok batuan ke kelompok lainnya, merupakan suatu siklus yang dinamakan daur batuan. Konsep daur batuan yang diutarakan oleh James Hutton, batuan beku terbentuk sebagai akibat dari pendinginan dan pembekuan magma. Pendinginan magma yang berupa lelehan silikat, akan diikuti oleh proses penghabluran yang dapat berlangsung di bawah atau di atas permukaan bumi melalui erupsi gunung berapi. Kelompok batuan beku tersebut, apabila tersingkap di permukaan, maka ia akan bersentuhan dengan atmosfer dan hidrosfir, yang menyebabkan berlangsungnya proses pelapukan. Melalui proses ini batuan akan mengalami penghancuran. Selanjutnya, batuan yang telah dihancurkan ini akan dipindahkan/digerakkan dari tempatnya terkumpul oleh gaya berat, air yang mengalir di atas dan di bawah permukaan, angin yang bertiup, gelombang dipantai dan gletser di pegunungan-pegunungan yang tinggi. Media pengangkut tersebut juga dikenal sebagai alat pengikis, yang dalam bekerjanya berupaya untuk meratakan permukaan bumi. Bahan-bahan yang diangkutnya baik itu berupa fragmen-fragmen atau bahan yang larut, kemudian akan diendapkan ditempat-tempat tertentu sebagai sedimen. Proses berikutnya adalah terjadinya perubahan dari sedimen yang bersifat lepas, menjadi batuan yang keras, melalui pembebanan dan perekatan oleh senyawa mineral dalam larutan, dan kemudian disebut sebagai batuan sedimen. Apabila terhadap peningkatan tekanan dan suhu sebagai akibat dari penimbunan atau terlibat dalam proses pembentukan pegunungan, maka batuan sedimen tersebut mengalami ubahan dengan lingkungan yang baru disebut batuan malihan atau batuan metamorfis (Noor, 2009).

Deskripsi formasi batuan penyusun pada Sub DAS Tulabolo di dasarkan pada Peta Geologi Bersistem Skala 1 : 250.000, P3G Bandung Lembar Kotamobagu Tahun 1997. Formasi batuan di lokasi penelitian ditunjukkan dalam Gambar 4.3. Formasi batuan penyusun Sub DAS Tulabolo diuraikan sebagai berikut :

a) Endapan Danau (Qpl)

Satuan ini dikuasai oleh batu lempung kelabu, setempat mengandung sisa tumbuhan dan lignit. Batu pasir berbutir halus sampai kasar serta kerikil dijumpai di beberapa tempat. Satuan ini termampatkan lemah, tebalnya menurut data bor mencapai 94 meter (Trail, 1974). Endapan ini terdapat pada hilir Sub DAS Tulabolo. Berdasarkan klasifikasi batuan maka batu lempung kelabu dan batu pasir merupakan jenis batuan sedimen. Batuan sedimen terbentuk karena endapan dari hasil erosi material-material batuan, organik dan terkompaksi serta tersementasi. Bahan asal batuan lempung biasanya berasal dari tempat yang tinggi. Daerah itu merupakan akuifer yang cukup luas. Karakteristik air yang mengalir dan kontak dengan batuan lempung adalah air tersebut akan mengandung mineral-mineral yang terdapat pada batuan lempung. Unsur kimia yang terdapat pada batuan lempung adalah Na dan K yang cukup tinggi. Namun sering terjadi pergantian ion yaitu ion Na dan K diganti oleh ion Ca dan Mg. Hal ini terjadi karena pelarutan lempung dalam air yang mengalir tersebut. Karakteristik kimia dari batu pasir adalah didominasi oleh unsur pengikatnya. Batu pasir berupa pasir yang membatu karena adanya unsur pengikatnya. Pada kenyataannya unsur pengikat lebih mudah larut dalam air jika dibandingkan dengan pasir itu sendiri, sehingga yang banyak terpengaruh pada kualitas air tersebut adalah unsur pengikat tersebut.

b) Formasi Tinombo Fasies Sedimen (Tets)

Serpit dan batupasir sisipan batu gamping dan rijang. Serpit kelabu dan merah, getas, sebagian gampingan; rijang mengandung radiolaria. Batupasir berupa gres dan batupasir kuarsa, kelabu dan hijau, pejal, berbutir halus sampai sedang, sebagian mengandung pirit. Satuan batuan ini diterobos oleh granit, diorit dan trakit. Satuan ini mempunyai hubungan menjemari dengan formasi Tinombo fasies gunung api. Umur formasi ini menurut Ratman (1976) adalah Eosen sampai

Oligosen Awal, sedang menurut Sukamto (1973) dan Brower (1934) adalah kapur akhir sampai Eosin awal. Tebal formasi diduga lebih dari 1000 meter, sedang lingkungan pengendapannya adalah laut dalam. Formasi Tinombo terletak di hulu Daerah Mohutango. Formasi Tinombo mengandung salah satu mineral yang mengandung merkuri yaitu mineral pirit. Sehingga wilayah hulu Daerah Mohutango berpotensi secara alamiahnya, baik batuan maupun air yang melaluinya mengandung merkuri. Rata-rata konsentrasi merkuri di kerak bumi berkisar 0,080 mg/kg, dalam perairan tawar alami berkisar antara 10 – 100 ng/l (Moore, 1991 dalam Effendi, 2003). Jika ekosistem di wilayah ini memiliki lebih dari nilai alamiahnya maka dapat diduga telah terjadi pencemaran akibat pengaruh antropogenik. Unsur merkuri akan menjadi tinggi pada batuan yang banyak mengandung besi dan besi oxy-hidroksida terutama batuan ferruginous yang dibentuk ketika proses pengeringan laterik.

Serpih dan batupasir sisipan batu gamping dan rijang termasuk jenis batuan endapan. Rijang sejenis batu sedimen yang mengandung silika. Batu pasir berupa pasir yang membatu karena adanya unsur pengikat yang berada diantara butir-butir pasir. Pada kenyataannya unsur pengikat lebih mudah larut dalam air jika dibandingkan dengan pasir itu sendiri, sehingga yang banyak terpengaruh pada kualitas air adalah unsur pengikatnya. Misalnya batu pasir sungai dengan unsur  $Fe_3O_4$  (ferri oksida), sehingga air yang melalui batuan ini akan banyak mengandung unsur besi (Fe). Secara rinci, faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kualitas air pada batuan pasir meliputi : 1) material pengikat yang mengeras, 2) pergantian ion dan kation, 3) adanya reaksi reduksi pembentukan pirit dan 4) terjadinya mineralisasi dalam air. Batu gamping merupakan jenis batuan endapan. Secara umum kecepatan aliran air yang melalui batuan gamping lebih cepat daripada batu pasir. Pada batuan gamping gerakan air hanya terjadi pada bagian luarnya saja, sehingga kontak antara batuan dengan air secara keseluruhan kurang intensif. Akibatnya jumlah zat terlarut yang dihasilkan pada batu gamping

kecil, lebih banyak mengandung kalsium dan bikarbonat. Merkuri biasanya terikat bersama unsur lain dalam mineral sulfida. Mineral sulfida merupakan persenyawaan sulfur dengan unsur tertentu misalnya besi, tembaga dan seng.

c) Diorit Bone (Tmb)

Diorit kuarsa, diorit, granodiorit, granit. Diorit kuarsa banyak dijumpai di daerah Sungai Taludaa, dengan keragaman diorit, granodiorit dan granit, sedang granit utamanya dijumpai di Sungai Bone. Satuan ini menerobos batuan gunung api Bilungala maupun formasi Tinombo. Umur satuan ini sekitar Miosin Akhir. Batuan ini banyak terdapat di daerah hulu kegiatan penambangan Daerah Mohutango. Diorit, granodiorit dan granit merupakan jenis batuan beku plutonik atau intrusif. Hal ini jika dihubungkan dengan kualitas air maka batuan ini bersifat impermeabel. Oleh karena itu air yang mengalir melalui batuan intrusi akan sedikit kandungan kimianya, karena air mengalir dengan cepat sehingga kontak antara air dengan batuan intrusi tersebut tidak lama. Dapat dikatakan bahwa kualitas air yang melalui batuan intrusi adalah rendah. Turekian (1977) menunjukkan rata-rata konsentrasi merkuri pada granit sebesar 0,040 ug/g lebih kecil dari konsentrasi merkuri rata-rata yang berada di kerak bumi sebesar 0,080 ug/g.

d) Batuan Gunung Api Bilungala (Tmbv)

Breksi, tuf dan lava bersusunan andesit, dasit dan riolit. Zeolit dan kalsit sering dijumpai pada kepingan batuan penyusun breksi. Tuf umumnya bersifat dasitan, agak kompak dan berlapis buruk di beberapa tempat. Di daerah Pantai Selatan Bilungala, satuan ini dikuasai oleh lava dan breksi yang umumnya bersusunan dasit, dan dicirikan oleh warna alterasi kuning sampai coklat. Mineralisasi pirit, perekahan yang intensif, serta banyak dijumpai batuan terobosan diorite. Propilitisasi, kloritisasi, dan epidotisasi banyak dijumpai pada lava. Tebal satuan diperkirakan lebih dari 1000 meter, sedang umurnya berdasarkan kandungan fosil

dalam sisipan batu gamping adalah Miosin Bawah – Miosin Akhir. Batuan ini terdapat di wilayah hulu kegiatan tambang Titik Bor 17 dan hulu kegiatan tambang Daerah Mohutango. Daerah ini juga tersusun dari mineralisasi pirit, sehingga kondisi alamiahnya baik batuan maupun air yang melalui batuan tersebut mengandung merkuri.

Daerah ini merupakan campuran antara jenis batuan sedimen dan batuan beku. Breksi merupakan batuan sedimen. Batuan sedimen adalah batuan yang terjadi karena pengendapan materi hasil erosi. Sekitar 80% permukaan benua tertutup batuan sedimen, walaupun volumenya hanya sekitar 5%. Kualitas air pada batuan sedimen banyak dipengaruhi oleh unsur pengikatnya sehingga air yang melalui batuan ini akan dipengaruhi oleh unsur pengikat tersebut. Andesit merupakan batuan beku basa dengan kandungan  $\text{SiO}_2$  antara 45% - 52%. Dasit merupakan batuan beku intermediate. Riolit merupakan batuan beku asam dengan kandungan  $\text{SiO}_2$  lebih dari 66%. Batuan beku intrusi seperti riolit, dasit dan andesit bersifat permiabel. Dengan demikian kualitas airnya mengandung unsur kimia terlarut cukup tinggi.

e) Batuan Gunung Api Pinogu (Tqpv)

Tuf, tuf lapili, breksi dan lava. Breksi gunung api di Pegunungan Bone, Gunung Mongadalia dan Pusian bersusunan andesit piroksin dan dasit. Tuf yang tersingkap di Gunung Lemibut dan Gunung Lolombulan umumnya berbatu apung, kuning muda, berbutir sedang sampai kasar, diselingi oleh lava bersusunan menengah sampai basa. Tuf dan tuf lapili di sekitar Sungai Bone bersusunan dasitan. Lava berwarna kelabu muda hingga kelabu tua, pejal, umumnya diduga Pliosen-Plistosen. Umumnya terdapat di wilayah Sub DAS Tulabolo.

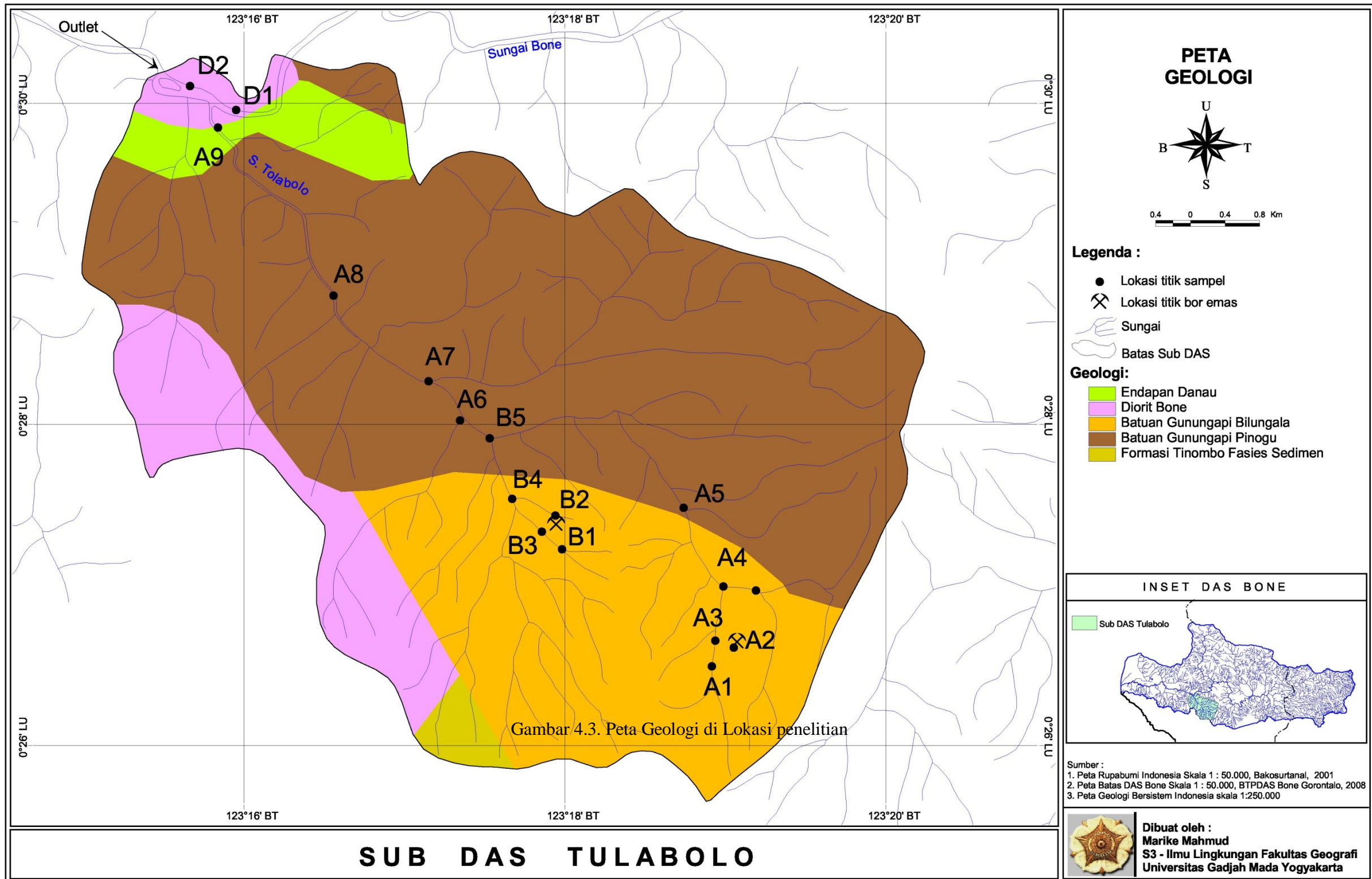
Tuf, dan lava pada umumnya merupakan material gunung berapi. Extrusi merupakan sebuah fenomena geologi di mana terjadi keluarnya magma ke permukaan bumi dan menjadi lava atau meledak secara

dahsyat di atmosfer dan jatuh kembali sebagai bebatuan piroklastik atau batu tuff. Batuan ini tergolong pada jenis batuan beku. Lava dan tuff terjadi karena ekstrusi yaitu terjadi pada saat magma membeku setelah keluar ke permukaan. Batuan beku ekstrusi bersifat permeabel. Pada batuan ini air dapat masuk menembus pori-pori batuan sehingga memungkinkan terjadinya kontak antara air dengan batuan lebih lama. Dengan demikian kualitas air pada batuan ekstrusi merupakan batuan yang baik sebagai pelarut, yaitu unsur-unsur kimia yang terlarut cukup tinggi. Misalnya batuan riolit (ekstrusi) mengakibatkan air banyak mengandung silikat.

Merkuri dan senyawa-senyawanya, seperti halnya dengan logam-logam yang lain, tersebar luas di alam. Mulai dari batuan, air, udara dan bahkan dalam organisme hidup. Penyebaran dari logam merkuri ini, turut dipengaruhi oleh faktor geologi, fisika dan biologi. Merkuri biasanya terikat pada mineral sulfida. Mineral sulfida merupakan mineral hasil persenyawaan antara unsur tertentu dengan sulfur (belerang).

Secara alamiah pencemaran oleh merkuri dan logam-logam lain ke lingkungan umumnya berasal dari kegiatan-kegiatan gunung api, rembesan-rembesan air tanah yang melewati daerah deposit merkuri dan lain-lainnya. Namun demikian, meski sangat banyak sumber keberadaan merkuri di alam, dan masuk ke dalam suatu tatanan lingkungan tertentu secara alamiah, tidaklah menimbulkan efek-efek merugikan bagi lingkungan karena ditolerir oleh alam itu sendiri. Merkuri menjadi bahan pencemar sejak manusia mengenal industri, kemudian menggali sumber daya alam dan memanfaatkannya semaksimal mungkin untuk kebutuhannya. Kenyataannya ini berarti menunjukkan bahwa manusialah yang telah menciptakan suatu bentuk lingkungan yang tidak seimbang (tercemar) sebagai efek negatif dari kemajuan yang telah dicapai.





## **E. Jenis Tanah**

Salah satu aspek yang berperan terhadap terjadinya pencemaran air di sungai adalah jenis tanah. Peranan tanah terhadap pengangkutan dan menghilangkan bahan-bahan pencemar sangat besar. Proses pengangkutan tersebut ada bermacam-macam diantaranya pengaliran (*flow on*), peresapan (*absorbtion*) dan pelumeran (*leaching*) (Palar, 2004). Dua cara terakhir merupakan proses pengangkutan bahan-bahan pencemar yang paling dominan. Proses peresapan dari bahan-bahan pencemar yang terjadi pada lapisan tanah dipengaruhi oleh banyak hal yaitu :

- (1) Karakteristik atau ciri khas dari struktur bahan pencemar karena bahan pencemar akan mengalami pertukaran ion ketika melewati lapisan lempung organik.
- (2) Kandungan bahan organik yang terdapat dalam lapisan tanah. Hal ini menjadi penentu, apakah bahan pencemar yang akan ditahan atau diteruskan oleh lapisan tanah.
- (3) pH tanah sangat dipengaruhi oleh seberapa besar kadar lempung yang ada pada tanah. Pada lapisan lempung ini sangat besar jumlahnya, maka proses peresapan akan menjadi sangat rendah atau tidak terjadi peresapan sama sekali. Hal ini disebabkan partikel tanah lempung sangat halus dan tersusun sangat rapat sehingga sulit untuk dilalui.
- (4) Ukuran partikel tanah. Besar kecilnya ukuran partikel tanah akan menentukan besar kecilnya pori-pori tanah. Semakin besar partikel tanah akan semakin besar pula pori-pori tanah dan keadaan itu akan semakin mempermudah proses peresapan oleh tanah. Sebaliknya semakin kecil partikel tanah, maka pori-pori tanah akan

semakin kecil pula sehingga proses peresapan akan semakin sulit terjadi.

- (5) Kemampuan pertukaran ion. Hal ini bergantung pada jumlah residu bermuatan dari bahan pencemar dan struktur lapisan lempung pada bahan tanah.
- (6) Temperatur. Pada setiap peristiwa peresapan temperatur mempunyai pengaruh yang besar terhadap laju peresapan karena pada umumnya semakin tinggi temperatur maka daya serap tanah terhadap bahan pencemar akan semakin besar.

Deskripsi jenis tanah yang mendominasi wilayah ini berdasarkan pada Peta Tanah DAS Bone Tahun 2008 skala 1 : 50.000 BPDAS Bone Gorontalo 2008. Jenis tanah yang ada di lokasi penelitian Sub DAS Tulabolo didominasi oleh Podsolik dan Andosol. Lokasi sampel A1 – A5 dan B1 dan B5 termasuk jenis tanah Podsolik dan Andosol. Lokasi B5 – A9 termasuk jenis tanah Alluvial Coklat dan Mediteran. Lokasi D1 – D2 termasuk jenis tanah Grumosol, Latosol dan Aluvial Kelabu. Peta jenis tanah di lokasi penelitian dapat ditunjukkan pada Gambar 4.4.

### **Jenis Tanah Podsolik (Spodosol)**

Spodosol merupakan tanah mineral yang mempunyai horizon spodik, suatu horizon dalam dengan akumulasi bahan organik, dan alumunium (AL) dengan atau tanpa oksidasi besi (Fe). Bahan induk Spodosol berupa endapan pasir atau batu pasir kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ). Spodosol adalah tanah-tanah yang secara unik berkembang dari endapan pasir atau batu sedimen berupa batu pasir kuarsa. Kualitas air pada tanah Spodosol lebih didominasi oleh unsur pengikatnya. Unsur pengikat tanah Spodosol adalah alumunium dan juga besi. Kandungan unsur pengikat tanah Spodosol dapat memberi pengaruh terhadap terhadap kualitas air di aliran Sungai Tulabolo.

Tanah Spodosol termasuk tanah dengan kelas berbutir pasir dengan kandungan fraksi pasir tinggi (65-96%). Reaksi tanah menunjukkan masam eksrem sampai sangat masam (pH 3,3 – 4,9) diseluruh lapisan tanah, biasanya terdapat lapisan organik (Oi dan Oe) tipis (5-10) cm dan dibawahnya terdapat Horizon Al dengan kandungan bahan organik termasuk sedang sampai tinggi (3,1 – 9,5)%. Karena tanah berbutir pasir maka tanah Spodosol akan berperan terhadap peresapan konsentrasi merkuri jika masuk ke lapisan tersebut.

Tanah dengan akumulasi material amorf di horizon sub permukaan, biasanya lembab atau basah. Semua Spodosol memiliki horizon Spodik. Horizon Spodik adalah horizon di bawah permukaan Alluvial yang bahan-bahan amorfnya terdiri atas bahan organik, alumunium dan besi telah terkumpul dan kira-kira dapat dibandingkan dengan horizon bhir. Sifat-sifat Spodosol adalah memiliki solum yang sangat asam seluruhnya dan memiliki kapasitas pertukaran kation yang rendah (kecuali di tempat humus tertimbun) dan persentase kejenuhan basa yang rendah. Kejenuhan basa beberapa horizon sering kurang dari 10%. Spodosol memiliki kapasitas menyimpan air yang terbatas dan secara alami tidak subur untuk kebanyakan tanaman.

### **Jenis Tanah Andosol**

Tanah Andosol adalah tanah mineral yang telah mengalami perkembangan profil, solum agak tebal, warna coklat kekelabuan hingga hitam, kandungan organik tinggi, tekstur geluh berdebu, struktur remah, konsistensi gembur dan bersifat licin berminyak (*smearly*), kadang-kadang berpadas lunak, agak asam kejenuhan basa tinggi dan daya absorpsi sedang, kelembaban tinggi, permeabilitas sedang dan peka terhadap erosi. Tanah Andosol dapat berperan terhadap peresapan konsentrasi merkuri karena jenis tanah ini bersifat permeabilitas sedang.

Tanah Andosol adalah tanah yang berasal dari abu gunung berapi seperti di daerah Sumatra, Jawa, Bali, Lombok, Halmahera dan Minahasa.

Tanah ini umumnya berwarna hitam (epipedon molik atau umbrik) dan mempunyai horizon kambik, kerapatan limbak (bulk density) kurang dari  $0,85 \text{ g/cm}^3$  banyak mengandung amorf atau lebih dari 60% terdiri dari abu vulkanik vitrik, cinders atau bahan *pyroklastik* lain. Vegetasi yang tumbuh di tanah Andosol adalah hutan hujan tropis, bambu dan rumput.

### **Jenis Tanah Aluvial**

Tanah Alluvium adalah tanah hasil erosi yang diendapkan di dataran rendah. Ciri-ciri tanah Alluvium adalah berwarna kelabu dan subur. Jenis tanah ini masih muda, belum mengalami perkembangan, berasal dari bahan induk Aluvium, tekstur beraneka ragam, belum terbentuk struktur, konsistensi dalam keadaan basah lekat, pH bermacam-macam, kesuburan sedang hingga tinggi. Penyebarannya di daerah dataran aluvial sungai, dataran aluvial pantai dan daerah cekungan (depresi). Baru-baru ini tanah dengan sedimen Alluvium akan menghasilkan tanah laterik tua, juga menambah jumlah konsentrasi merkuri (Brabo *et al*, 2003).

### **Jenis Tanah Latosol**

Tanah Latosol yaitu tanah yang banyak mengandung zat besi dan alumunium. Tanah ini sudah sangat tua, sehingga kesuburannya rendah. Tanah ini berwarna merah hingga kuning, sehingga sering disebut tanah merah. Latosol yaitu tanah yang telah mengalami pelapukan intensif, warna tanah tergantung susunan bahan induknya dan keadaan iklim. Tanah ini merupakan hasil pelapukan batuan beku dan batuan sedimen dan banyak mengandung besi dan alumunium sehingga tanah jenis Latosol dapat memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri di aliran Sungai Tulabolo.

Costa *et al*, (1999) dalam Brabo *et al*, (2003) menunjukkan bahwa secara alamiah konsentrasi merkuri rata-rata dalam Latosol  $0,196 \text{ ug/g}$  dan berkisar antara  $0,060 \text{ ug/g}$  dan  $0,410 \text{ ug/l}$ . Tingkat konsentrasi

merkuri rata-rata di atas horizon tanah 0,077 ug/g cenderung mendekati konsentrasi merkuri di kerak bumi yang berkisar 0,080 ug/g. Tanah tanpa diolah sebesar 0,056 ug/g 0,056 ug/g. Tanah yang sangat dalam yang diperkaya dalam Fe oxi-hydroxida memiliki kandungan merkuri rata-rata 0,117 ug/g dan diperkaya dengan besi, merkuri akan sebesar 0,190 ug/g.

Jenis tanah ini semula sudah mengalami perkembangan membentuk solum tanah dalam (lebih dari 1 m). Tetapi selanjutnya dengan adanya pembukaan hutan di daerah-daerah perbukitan yang mempunyai lereng miring hingga curam menyebabkan terjadinya erosi berat. Solum tanah tersebut menjadi tipis dan beberapa tempat menampakkan singkapan batuan induk (*out crop*). Beberapa tempat dari jenis tanah Latosol berubah menjadi Litosol, atau dalam satuan peta disebut tanah kompleks Latosol Litosol.

### **Jenis Tanah Grumusol**

*Grumusol* atau Margalit, terdiri dari beberapa macam; Grumusol pada batu kapur, Grumusol pada sedimen tuff, Grumusol pada lembah-lembah kaki pegunungan, Grumusol endapan Aluvial. Grumusol merupakan batuan endapan. Secara umum kecepatan aliran air yang melalui tanah kapur lebih cepat dari tanah pasir. Pada tanah kapur gerakan air hanya terjadi pada bagian luarnya saja, sehingga kontak antara batuan dengan air secara keseluruhan kurang intensif. Akibatnya jumlah zat terlarut yang dihasilkan pada tanah kapur kecil, lebih kecil jika dibandingkan pada tanah pasir. Grumusol kurang memberi pengaruh terhadap pencemaran merkuri di alam karena tanah kapur lebih banyak mengandung kalsium dan bikarbonat.

Tanah mineral yang mempunyai perkembangan profil, agak tebal, tekstur lempung berat, struktur kersai (*granular*) di lapisan atas dan gumpal hingga pejal di lapisan bawah, konsistensi bila basah sangat lekat dan plastis, bila kering sangat keras dan tanah retak-retak, umumnya

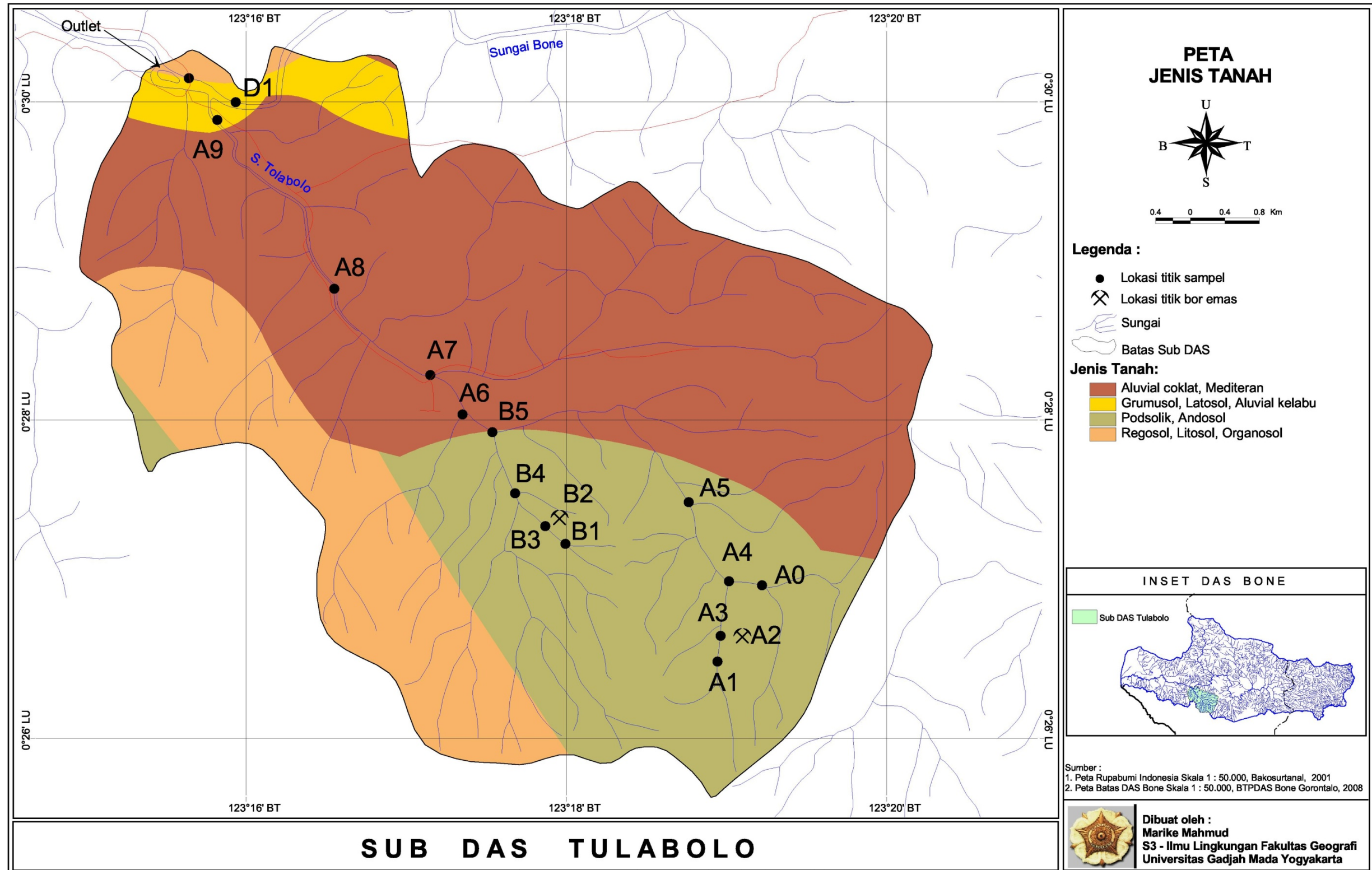
bersifat alkalis, kejenuhan basa, dan kapasitas absorpsi tinggi, permeabilitas lambat dan peka erosi. Jenis ini berasal dari batu kapur, mergel, batuan lempung atau tuf vulkanik bersifat basa. Penyebarannya di daerah iklim sub humid atau sub arid, curah hujan kurang dari 2500 mm/tahun.

### **Jenis Tanah Mediteran Merah dan Kuning**

Tanah jenis ini berasal dari batuan kapur keras (limestone). Penyebaran di daerah beriklim subhumid, topografi karst dan lereng vulkan dengan ketinggian di bawah 400 m. Warna tanah coklat hingga merah. Tanah ini kurang memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri di aliran Sungai Tulabolo. Hal ini disebabkan karena tanah di daerah Kapur, pada umumnya banyak mengandung kalsium dan bikarbonat. Konsentrasi merkuri dapat terjadi secara alamiah jika air ini melewati batuan yang mengandung mineral sulfida. Tanah ini sangat sulit dilalui pencemar karena jika jumlah lempungnya dalam jumlah besar maka proses peresapan akan menjadi rendah bahkan tidak ada sama sekali. Jika aliran air yang mengandung merkuri melewati lapisan ini maka bahan pencemar tersebut tidak akan meresap ke dalam tanah, karena merupakan lapisan impermeabel.

Tanah mempunyai perkembangan profil, solum sedang hingga dangkal, warna coklat hingga merah, mempunyai horizon B argilik, tekstur geluh hingga lempung, struktur gumpal bersudut, konsistensi teguh dan lekat bila basah, pH netral hingga agak basa, kejenuhan basa tinggi, daya absorpsi sedang, permeabilitas sedang dan peka erosi, berasal dari batuan kapur keras (*limestone*) dan tuf vulkanis bersifat basa. Penyebaran di daerah beriklim sub humid, bulan kering nyata. Curah hujan kurang dari 2500 mm/tahun, di daerah pegunungan lipatan, topografi karst dan lereng vulkan ketinggian di bawah 400 m. Khusus tanah mediteran merah dan kuning di daerah topografi Karst disebut Terra Rossa. Jenis tanah di lokasi penelitian ditunjukkan dalam Gambar 4.4.





Gambar 4.4. Peta Jenis Tanah di Lokasi Penelitian



## **F. Karakteristik Sungai**

Air permukaan yang diteliti di daerah penelitian adalah sungai. Sungai yang ada di wilayah penelitian ini adalah Sungai 17, Sungai Tulabolo, Sungai Kuning dan Sungai Mohutango yang pada akhirnya bermuara di Sungai Bone. Sungai-sungai yang bermuara ke Sungai Tulabolo bersifat *perennial* yaitu sungai-sungai yang mengalirkan air sepanjang tahun dan *intermitten* yaitu kondisi air sungai yang dipengaruhi oleh musim hujan. Pada hulu Sungai 17 yang dijadikan lokasi penambangan Bor 17 mengalami kekeringan pada musim kemarau panjang, sehingga para penambang mengambil air tanah untuk mengalirkannya ke dalam tromol.

Sungai-sungai pada Sub DAS Tulabolo mengikuti suatu jaringan dimana cabang dan anak sungai mengalir ke sungai utama yang lebih besar dan membentuk suatu pola aliran tertentu. Pola aliran di Sub DAS Tulabolo pada umumnya membentuk suatu pola aliran dendritik. Pola ini pada umumnya terdapat pada daerah dengan batuan sejenis dan penyebarannya luas.

Ukuran dan besar kecilnya daerah tangkapan hujan, akan memberi kontribusi terhadap aliran sungai di dalam DAS dan berpengaruh langsung terhadap total volume aliran yang keluar dari DAS. Umumnya jika hujan merata di dalam dua DAS, yang satu berukuran besar dan daerah tangkapan luas (DAS besar) dan yang lain memiliki daerah tangkapan hujan yang kecil (DAS kecil), maka total volume aliran yang dihasilkan oleh DAS besar akan relatif lebih banyak dari DAS yang berukuran kecil dan volume air tersebut proporsional terhadap luas daerah tangkapannya. Kebanyakan kejadian hujan hanya meliputi luasan tertentu di dalam DAS. Oleh karena itu volume aliran hanya akan ditentukan oleh luasan kontribusi. Luasan itu menyatakan luas bagian DAS yang terkena hujan, bukan luas total DAS.

DAS berukuran besar, aliran permukaan yang berjalan dari suatu titik ke bagian hulu DAS akan menempuh waktu yang lama sebelum sampai ke

outlet, bila dibandingkan dengan titik pada posisi yang sama untuk mencapai outlet pada DAS kecil. Kejadian hujan akan dapat menutup sebagian wilayah DAS besar, tetapi dapat menutup seluruh wilayah DAS kecil. Jadi ukuran DAS akan berpengaruh terhadap aliran permukaan yang teramati di outlet DAS ( Indarto, 2010). Pola aliran sungai menentukan bentuk DAS. Bentuk daerah pengaliran sungai mempunyai penting dalam hubungannya dengan aliran sungai, yaitu berpengaruh terhadap kecepatan terpusatnya aliran (Soewarno, 1991). Sungai Tulabolo mempunyai bentuk pengaliran sungai yang memanjang dengan anak-anak sungai langsung masuk ke induk Sungai Tulabolo. Hal ini menyebabkan banjir relatif kecil karena perjalanan banjir dari anak sungai berbeda-beda waktunya.

Ada 5 sungai yang bermuara di Sungai Tulabolo yaitu Sungai 17, Sungai Kuning, Sungai Mohutango, Sungai Tombiato dan Sungai Segitia dan mengalirkan airnya sepanjang tahun. Kondisi dasar sungai pada bagian hulu terjal berbatu curam, sedikit pasir dan lumpur. Pada bagian tengah dan hilir sebagian besar materialnya pasir batu dan lumpur.

## BAB VI

### MODEL MERKURI DI SUNGAI

#### A. Model Pengaruh Jarak Terhadap Konsentrasi Rata-rata Merkuri Pada Sedimen Dasar

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.

Hasil analisis konsentrasi merkuri pada berbagai jarak dan debit air ditunjukkan pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Hasil analisis konsentrasi merkuri rata-rata pada sedimen dasar berbagai jarak dan debit air

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 laboratorium Tahun 2010

Hasil analisis konsentrasi merkuri ini pada Tabel 5.1. jika dikorelasikan menunjukkan bahwa ada hubungan linier antara variabel jarak dengan konsentrasi merkuri pada sedimen dasar pada debit rendah sebesar  $R = 0,783$ , dengan koefisien determinansi sebesar  $R^2 = 0,613$ . Hal ini menunjukkan bahwa jarak memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri di dalam sedimen dasar pada debit rendah sebesar 61,3 % dan sisanya disebabkan oleh faktor lain.

Hasil uji Anova dengan nilai signifikansi  $0,001 < 0,05$  menunjukkan bahwa persamaan regresi sederhana dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi merkuri pada sedimen dasar pada berbagai jarak di aliran Sungai Tulabolo. Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa ada hubungan antara hasil konsentrasi merkuri dengan jarak pada debit sedang dengan koefisien korelasi sebesar  $R = 0,873$ . Jarak memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri pada debit sedang dengan koefisien determinansi  $R^2 = 0,762$ , sisanya dipengaruhi faktor lain. Hasil uji ANOVA menunjukkan nilai signifikansi sebesar  $0,000 < 0,05$  yang berarti model persamaan regresi sederhana dapat digunakan untuk memprediksi hasil konsentrasi merkuri dalam sedimen dasar pada berbagai jarak. Elastisitas konsentrasi merkuri pada debit sedang terhadap jarak sebesar  $-1,951$  yang berarti setiap penambahan jarak sebesar  $1\%$  akan menurunkan konsentrasi merkuri sebesar  $1,951\%$ . Persamaan regresi hubungan antara konsentrasi merkuri pada berbagai jarak dan debit air ditunjukkan dalam Tabel 6.2. Koefisien unstandarisasi  $\beta$  pada sedimen dasar ditunjukkan dalam Tabel 6.3.

Tabel 6.2. Persamaan regresi hubungan antara jarak dengan konsentrasi merkuri rata-rata pada sedimen dasar

No	Debit	Persamaan	R	R <sup>2</sup>	Sig
1	Rendah	$\text{LogY} = 4,962 - 1,573 \text{ Log X}$	0,783	0,613	0,001
2	Sedang	$\text{LogY} = 6,658 - 1,951 \text{ Log X}$	0,873	0,762	0,000
3	Tinggi	$\text{LogY} = 2,928 - 0,713 \text{ log X}$	0,670	0,449	0,003

Sumber : Hasil analisis

Keterangan : Signifikansi pada tingkat kepercayaan 95%

Tabel 6.3. Koefisien Unstandardized beta

No	Debit	Koefisien			Koefisien		
		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%

Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa ada hubungan jarak dengan konsentrasi merkuri pada debit tinggi dengan koefisien korelasi  $R = 0,67$ . Jarak memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri pada sedimen dasar pada debit tinggi, hal ini ditunjukkan dengan koefisien determinasi  $R^2 = 0,449$ . Hal ini mengartikan konsentrasi merkuri pada sedimen dasar pada kriteria debit tinggi dipengaruhi oleh jarak sebesar 44,9% dan sisanya dipengaruhi oleh faktor yang lain di aliran Sungai Tulabolo. Hasil uji ANOVA dengan tingkat signifikansi sebesar  $0,003 < 0,05$  menunjukkan bahwa persamaan ini dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi merkuri pada sedimen dasar pada debit tinggi. Pada debit tinggi, elastisitas konsentrasi merkuri terhadap jarak sebesar  $-0,713$  yang berarti setiap penambahan jarak 1% akan menurunkan konsentrasi merkuri sebesar 0,713%.

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.

Hasil analisis menunjukkan konsentrasi merkuri di saluran tailing pada debit rendah, sebesar 172,25 mg/kg dan di muara Sungai Tulabolo sebesar 0,22 mg/kg. Konsentrasi merkuri di saluran tailing pada debit sedang, sebesar 16,649 mg/kg dan di muara Sungai Tulabolo sebesar 3.855 mg/kg. Konsentrasi merkuri sebesar 21.48 mg/kg di saluran tailing dan 0.7292 mg/kg di muara Sungai Tulabolo pada debit tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi merkuri di sedimen dasar cenderung menurun menuju hilir.

Berdasarkan hasil penelitian maka hipotesis pertama yaitu jarak memberi pengaruh yang signifikan telah terbukti. Semakin ke hilir konsentrasi merkuri cenderung makin kecil. Hal ini ditunjukkan dengan sebesar  $R^2 = 0,613$  (debit rendah),  $R^2 = 0,762$  (debit sedang) dan  $R^2 = 0,449$  (debit tinggi) dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Reaksi redoks dan pH di dalam air akan mempengaruhi jumlah konsentrasi merkuri di sedimen dasar.

Faktor lain yang berpengaruh terhadap konsentrasi merkuri pada sedimen dasar pada berbagai jarak adalah kecepatan aliran. Aliran sungai yang kecepatannya rendah akan mengakibatkan pembentukan lumpur dan sedimen di sungai. Pada debit rendah, konsentrasi merkuri di sedimen dasar sangat tinggi terutama dekat dengan lokasi pengolahan emas. Hal ini disebabkan karena debit maupun kecepatan air kecil sehingga sisa merkuri yang terbawa bersama aliran air ke sungai akan mengendap di dasar sungai.

Secara umum berdasarkan hasil analisis bahwa konsentrasi merkuri di sedimen dasar pada berbagai debit memiliki kecenderungan semakin ke hilir semakin rendah. Pada jarak yang lebih dekat akan mempunyai konsentrasi merkuri yang lebih besar dibandingkan dengan jarak yang jauh dari kegiatan penambangan. Hal ini disebabkan adanya pengenceran atau pencucian oleh air sepanjang aliran sungai yang mengalir dari hulu menuju hilir. Konsentrasi merkuri yang berada di Sungai Tulabolo berasal dari proses amalgamasi,



yaitu menggunakan merkuri sebagai media untuk menangkap emas baik pada proses pengambilan amalgam maupun pada penanganan tailing.

Pada debit sedang konsentrasi merkuri lebih menurun dibandingkan debit rendah tetapi jumlah konsentrasi merkurnya lebih menyebar masuk dari hulu ke hilir sungai. Hal ini karena debit sedang dilakukan pada musim hujan maka pengaruh tenaga kinetis air hujan dan aliran permukaan, partikel-partikel tanah yang berasal dari daerah sekitar pengolahan akan terkelupas dan terangkut dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah. Demikian pula pada debit tinggi, konsentrasi merkuri rata-rata cenderung sama dengan debit sedang, karena sampling diambil pada musim hujan. Pada debit tinggi walaupun terjadi proses pengenceran konsentrasi merkuri cenderung sama dengan debit sedang karena limbah yang masuk dari tambang lain di sekitar bertambah jumlahnya. Pengambilan sampel diambil pada musim hujan sehingga kemampuan energi kinetis cukup kuat mengangkut aliran yang mengandung sedimen dari lokasi pengolahan masuk sampai ke hilir sungai.

Konsentrasi logam berat pada sedimen tergantung pada beberapa faktor yang berinteraksi. Faktor-faktor tersebut adalah :

1. Sumber dari mineral sedimen antara sumber alami atau hasil aktivitas manusia. Melalui partikel pada lapisan permukaan atau lapisan dasar sedimen.
2. Melalui partikel yang terbawa sampai ke lapisan dasar
3. Melalui penyerapan dari logam berat terlarut dari air yang bersentuhan.

Beberapa material yang terkonsentrasi di udara dan permukaan air mengalami oksidasi, radiasi ultraviolet, evaporasi dan polimerisasi. Jika tidak mengalami proses pelarutan, material ini akan saling berikatan dan bertambah berat sehingga tenggelam dan menyatu dalam sedimen. Logam

berat yang diadsorbsi oleh partikel tersuspensi akan menuju dasar perairan, menyebabkan kandungan logam di air lebih rendah.

Mengendapnya logam berat bersama-sama dengan padatan tersuspensi akan mempengaruhi kualitas sedimen di dasar perairan dan juga perairan sekitarnya. Kekuatan ionik yang terdapat di perairan disebabkan adanya berbagai kandungan anion dan kation, sehingga memungkinkan terjadinya proses koagulasi (penggumpalan) senyawa logam berat yang ada dan memungkinkan terjadinya proses sedimentasi. Jika kapasitas angkut sedimen cukup besar, maka sedimen di dasar perairan akan terangkat dan terpindahkan.

## **B. Model Pengaruh Jarak Terhadap Konsentrasi Merkuri Rata-rata Pada Sedimen Melayang**

Sedimen melayang didefinisikan sebagai sedimen yang tidak pernah berada di alas alur sungai selama dalam kondisi aliran (Soemarto, 1999). Muatan sedimen melayang dapat dipandang sebagai material dasar yang melayang di dalam aliran dan terdiri terutama dari butiran-butiran halus yang senantiasa didukung oleh air dan hanya sedikit sekali interaksinya dengan dasar sungai, karena selalu didorong ke atas oleh turbulensi aliran (Soewarno, 1991).

Muatan sedimen melayang dapat dibedakan menjadi tiga keadaan, yaitu :

- 1) Apabila tenaga gravitasi partikel sedimen lebih besar daripada tenaga turbulensi aliran, maka partikel sedimen akan mengendap dan akan terjadi pendangkalan.
- 2) Apabila tenaga gravitasi partikel sedimen sama dengan tenaga turbulensi aliran, maka akan terjadi keadaan seimbang (*equilibrium*) dan partikel sedimen tersebut tetap konstan terbawa aliran sungai ke arah hilir.

- 3) Apabila tenaga gravitasi partikel sedimen lebih kecil daripada tenaga turbulensi aliran, maka dasar sungai akan terkikis dan akan terjadi penggerusan (*degradasi*) pada dasar sungai.

Ukuran partikel mempunyai peranan penting dalam distribusi logam berat pada sedimen. Kandungan bahan organik berhubungan dengan ukuran partikel sedimen. Pada sedimen yang halus prosentasinya bahan organik lebih tinggi daripada dalam sedimen yang kasar. Hal ini berhubungan dengan kondisi lingkungan yang tenang sehingga memungkinkan pengendapan sedimen halus yang berupa lumpur yang diikuti oleh akumulasi bahan organiknya lebih tinggi. Logam berat yang berasal dari aktivitas manusia maupun alam terdistribusi pada partikel sedimen yang memiliki ukuran berbeda. Sieka *et al*, (2000) telah mempelajari hubungan antara ukuran partikel sedimen dengan konsentrasi logam berat. Distribusi logam berat pada berbagai ukuran partikel dipengaruhi oleh pembentukan sedimen baik secara alami maupun non alami (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). Hasil analisis konsentrasi merkuri pada sedimen melayang pada berbagai jarak dan debit air ditunjukkan dalam Tabel 6.4

Tabel 6.4. Hasil analisis konsentrasi merkuri rata-rata pada sedimen melayang pada berbagai jarak dan debit air

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	16,402	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 laboratorium Tahun 2010

Hasil analisis menunjukkan bahwa apabila Tabel 6.4 dikorelasikan maka ada hubungan antara konsentrasi merkuri dalam sedimen melayang pada debit rendah pada berbagai jarak dari sumber limbah. Hal ini ditunjukkan dengan koefisien korelasi  $R = 0,852$ . Jarak memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri pada sedimen melayang, hal ini ditunjukkan dengan koefisien determinansi  $R^2 = 0,727$ .

Hal ini mengartikan bahwa konsentrasi merkuri pada sedimen melayang pada debit rendah dipengaruhi jarak sebesar 72,7 % sisanya dipengaruhi oleh faktor yang lain di aliran Sungai Tulabolo. Berdasarkan hasil uji ANOVA persamaan ini dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi merkuri dalam sedimen melayang pada berbagai jarak yang ditinjau di aliran Sungai Tulabolo. Elastisitas konsentrasi merkuri pada debit rendah terhadap jarak sebesar -1,226 yang berarti setiap penambahan jarak 1 % dari lokasi tambang, maka konsentrasi merkuri akan menurun sebesar 1,226%.

Hasil analisis menunjukkan ada hubungan antara konsentrasi merkuri di sedimen melayang pada kriteria debit sedang pada berbagai jarak dengan koefisien korelasi (R) adalah 0,662. Jarak memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri dalam sedimen melayang dapat dibuktikan dengan

koefisien determinansi ( $R^2$ ) = 0,439 sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Berdasarkan hasil analisis, nilai signifikansi  $0,004 < 0,05$ , hal ini dapat diartikan bahwa persamaan regresi linier sederhana dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi merkuri pada sedimen melayang pada debit sedang pada berbagai jarak di aliran Sungai Tulabolo. Elastisitas konsentrasi merkuri pada debit sedang terhadap jarak sebesar  $-0,398$  yang berarti setiap penambahan jarak sebesar  $1\%$  akan menurunkan konsentrasi merkuri sebesar  $0,398\%$ . Persamaan regresi antara jarak dengan konsentrasi merkuri pada sedimen melayang ditunjukkan dalam Tabel 6.5. Koefisien unstandarisasi  $\beta$  di dalam sedimen melayang ditunjukkan dalam Tabel 6.6.

Tabel 6.5. Persamaan regresi hubungan antara jarak dengan konsentrasi merkuri rata-rata pada sedimen melayang

No	Debit	Persamaan	R	$R^2$	Sig
1	Rendah	$\text{Log } Y = 4,696 - 1,226 \text{ Log } X$	0,852	0,727	0,000
2	Sedang	$\text{Log } Y = 2,187 - 0,398 \text{ Log } X$	0,662	0,439	0,004
3	Tinggi	$\text{Log } Y = 2,211 - 0,416 \text{ Log } X$	0,583	0,340	0,014

Sumber : Hasil analisis

Keterangan : Signifikansi pada tingkat kepercayaan 95%

Tabel 6.6. Koefisien unstandarisasi  $\beta$

No	Debit	Koefisien			Koefisien		
		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%

Hasil analisis menunjukkan bahwa ada hubungan antara jarak dengan konsentrasi merkuri pada sedimen melayang pada debit tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan koefisien korelasi ( $R$ ) = 0,583. Pengaruh jarak terhadap kadar konsentrasi merkuri, ditunjukkan dengan koefisien determinansi ( $R^2$ ) = 0,340. Hal ini menunjukkan bahwa jarak memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri pada sedimen melayang sebesar 34,0%. Hasil uji Anova

dengan nilai signifikansi  $0,014 < 0,05$ , menunjukkan bahwa persamaan ini dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi merkuri dalam sedimen melayang pada berbagai jarak pada debit tinggi di aliran Sungai Tulabolo. Pada debit tinggi, elastisitas konsentrasi merkuri terhadap jarak sebesar  $-0,416$  yang berarti setiap penambahan jarak 1% akan menurunkan konsentrasi merkuri sebesar 0,416%. Semakin jauh jarak yang di tinjau maka konsentrasi merkuri pada sedimen melayang semakin menurun.

Secara umum konsentrasi merkuri pada sedimen melayang semakin jauh jarak, konsentrasi merkuri semakin menurun. Hal ini disebabkan limbah cair yang masih mengandung merkuri mengalami pengenceran dan penyebaran di badan air. Faktor lain yang memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri dalam sedimen melayang adalah debit aliran, kecepatan aliran dan jenis aliran. Pada bagian alur sungai yang relatif pendek, maka muatan sedimen melayang dapat dianggap tetap konsentrasinya. Pada seluruh panjang sungai konsentrasi merkuri akan sangat bervariasi, oleh karena partikel-partikelnya akan terendap sedangkan pada bagian lain akan terangkut dari dasar sungai dengan jumlah yang berbeda. Partikel sedimen melayang bergerak melayang di dalam aliran sungai apabila aliran itu turbulen, tetapi apabila aliran sungai itu laminar maka konsentrasi sedimennya akan berkurang dari waktu ke waktu dan akhirnya mengendap.

Tingginya konsentrasi merkuri pada sedimen melayang karena terbawa aliran air setelah proses amalgamasi. Aliran air yang masih mengandung merkuri akan diadsorpsi oleh partikel-partikel halus yang melayang-layang di 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).

Secara alami, ukuran butiran sedimen dipengaruhi oleh dua faktor yaitu antropogenik dan masuknya logam secara alami (Birch *et al*, 2001). Hasil penelitian pada umumnya kandungan logam berat tertinggi terakumulasi pada partikel sedimen yang lebih kecil, sedangkan kandungan logam berat terendah terakumulasi pada partikel yang berukuran besar (Siaka *et al*, 2000).

Hasil analisis konsentrasi merkuri pada sedimen melayang menunjukkan bahwa di saluran tailing Tambang Bor 17 sebesar 132,757 mg/kg dan 0,7399 mg/kg di muara Sungai Tulabolo (debit rendah), 48,2 mg/kg di saluran tailing Daerah Mohutango dan 2,817 mg/kg di muara Sungai Tulabolo (debit sedang) , 48,2 mg/kg di *outlet* Sungai Tulabolo dan 2,955 mg/kg di muara Sungai Tulabolo (debit tinggi). Berdasarkan hasil analisis maka adanya kecenderungan konsentrasi merkuri pada sedimen melayang, semakin ke hilir semakin menurun. Adanya kecenderungan konsentrasi merkuri menurun ke arah hilir karena proses pengenceran di badan air. Romimohtarto (1991) menyatakan bahwa setelah memasuki perairan, sifat bahan pencemar ditentukan oleh beberapa faktor atau beberapa jalur dengan kemungkinan perjalanan bahan pencemar sebagai berikut :

- 1) Terencerkan dan tersebar oleh adukan turbulensi aliran air.
- 2) Proses biologis dengan cara diserap ikan, plankton nabati atau oleh ganggang yang pada gilirannya dimakan oleh mangsanya.
- 3) Proses fisik dan kimiawi dengan cara absorpsi, pengendapan, pertukaran ion dan kemudian bahan pencemar itu akan mengendap di dasar perairan.
- 4) Terbawa langsung oleh arus air dan biota ikan.

Padatan tersuspensi terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik, yang terutama disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah terbawa ke badan air (Effendi, 2003). Tingginya konsentrasi merkuri pada sedimen melayang selain karena terbawa aliran air ke sungai akibat proses

amalgamasi juga dapat disebabkan oleh karena ukuran partikel suspensi yang sangat halus. Peningkatan kandungan TSS di badan air berhubungan erat dengan aliran air yang membawa bahan-bahan yang terlarut ke perairan yang lebih rendah atau dari hulu ke hilir. Peningkatan nilai TSS ini juga disebabkan oleh banyak faktor yang salah satunya semakin banyak penggudulan hutan yang menyebabkan terjadi pengikisan tanah yang masuk melalui *run-off*.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut maka hipotesis pertama yaitu jarak sangat mempengaruhi konsentrasi merkuri di dalam melayang. Hal ini dibuktikan secara signifikan dengan koefisien determinansi ( $R^2$ ) sebesar 0,727 (debit rendah), ( $R^2$ ) sebesar 0,439 (debit sedang) dan ( $R^2$ ) sebesar 0,34 (debit tinggi), sisanya dipengaruhi oleh faktor lain.

Faktor lain yang memberi pengaruh terhadap konsentrasi merkuri pada sedimen melayang adalah kecepatan aliran dan jenis aliran. Pada bagian alur sungai yang relatif pendek, maka muatan sedimen melayang dapat dianggap tetap konsentrasinya. Seluruh sungai konsentrasinya akan sangat bervariasi, oleh karena partikel-partikelnya akan terendap sedangkan pada bagian lain akan terangkut dari dasar sungai dengan jumlah yang berbeda. Partikel sedimen melayang bergerak melayang di dalam aliran sungai apabila aliran itu turbulen, tetapi apabila aliran sungai itu laminar maka konsentrasi sedimennya akan berkurang dari waktu ke waktu dan akhirnya mengendap.

Faktor lain yang mempengaruhi konsentrasi merkuri pada sedimen melayang adalah debit air dan transpor sedimen. Debit air memberi pengaruh terhadap pengenceran konsentrasi merkuri di sungai. Semakin besar debit air, semakin besar TSS maka semakin tinggi konsentrasi merkuri pada sedimen melayang. Demikian juga dengan transpor sedimen memberi pengaruh terhadap jumlah sedimen melayang di sungai. Ketika sedimen memasuki badan sungai, maka berlangsunglah transpor sedimen. Kecepatan



transport sedimen merupakan fungsi dari kecepatan aliran sungai dan ukuran partikel sedimen. Partikel sedimen ukuran kecil seperti tanah liat dan debu dapat diangkut aliran air dalam bentuk terlarut. Sedangkan partikel yang lebih besar antara lain pasir cenderung bergerak dengan cara melompat. Partikel yang lebih besar dari pasir, misalnya kerikil (*gravel*) bergerak dengan cara merayap atau menggelinding di dasar sungai.

Besarnya jumlah sedimen yang terangkut aliran air ditentukan oleh banyak interaksi faktor-faktor sebagai berikut : ukuran sedimen yang masuk ke badan sungai, karakteristik sungai, debit dan karakteristik fisik partikel sedimen. Besarnya sedimen yang masuk ke sungai dan besarnya debit ditentukan oleh faktor iklim, topografi, geologi, vegetasi dan cara bercocok tanam di daerah tangkapan air yang merupakan asal datangnya sedimen. Sedang karakteristik sungai yang penting, terutama bentuk morfologi sungai, tingkat kekasaran dasar sungai, dan kemiringan sungai. Interaksi dari masing-masing faktor tersebut di atas akan menentukan jumlah dan tipe sedimen serta kecepatan transport sedimen (Asdak, 2007).

### **C. Pengaruh Jarak Terhadap Konsentrasi Merkuri Rata-rata Pada Air**

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. Hasil analisis konsentrasi merkuri dalam air pada berbagai jarak dan debit air ditunjukkan dalam Tabel 6.7.

Tabel 6.7. Hasil Analisis Konsentrasi Merkuri Rata –Rata Pada Air Pada Berbagai Jarak dan Debit 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
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 laboratorium Tahun 2010

Hasil analisis konsentrasi merkuri pada Tabel 5.7 jika dihubungkan maka menunjukkan bahwa hubungan korelasi (R) antara jarak dengan konsentrasi merkuri dalam air pada debit rendah dan sedang adalah lebih kecil dari 0,50. Nilai signifikansi  $> 0,05$  menunjukkan bahwa persamaan regresi sederhana tidak dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi merkuri dalam air pada debit rendah dan sedang. Ada hubungan antara jarak dengan konsentrasi merkuri pada debit tinggi dengan koefisien korelasi (R) adalah 0,630. Pengaruh jarak terhadap konsentrasi merkuri dalam air pada debit tinggi dengan koefisien determinansi ( $R^2$ ) adalah 0,397. Nilai signifikansi  $< 0,05$  menunjukkan bahwa persamaan regresi sederhana dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi merkuri dalam air pada debit tinggi pada berbagai jarak.

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 gejala penurunan konsentrasi merkuri dari hulu ke arah hilir, hal ini diakibatkan oleh adanya efek pengenceran pada sungai tersebut. Persamaan regresi hubungan antara jarak dengan konsentrasi merkuri rata-rata dalam air ditunjukkan dalam Tabel 6.8. Koefisien unstandarisasi  $\beta$  di dalam sedimen melayang ditunjukkan dalam Tabel 6.9.

Tabel 5.8 Persamaan regresi hubungan antara jarak dengan konsentrasi merkuri rata-rata di dalam air

No	Debit	Persamaan	R	R <sup>2</sup>	Sig
1	Rendah	$\text{Log Y} = -2.262 - 0.068 \text{ Log X}$	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 6.9. Koefisien unstandarisasi  $\beta$  di dalam air

No	Debit	Koefisien			Koefisien		
		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.

#### **D. Pengaruh Debit, TSS dan Konsentrasi Merkuri Pada Sedimen Melayang**

Padatan tersuspensi total (*Total Suspended Solid* atau *TSS*) adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter > 1  $\mu\text{m}$ ) yang tertahan pada saringan *millipore* dengan diameter pori 0.45  $\mu\text{m}$ . TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik, yang terutama disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa air (Efendi, 2003). Hasil analisis TSS enam kali sampling ditunjukkan pada Tabel 6.10.

Tabel 6.10. Hasil analisis TSS di air pada variasi debit air

Lokasi		TSS (mg/l)					
Sampel	Jarak (m)	Qr1	Qs1	Qs2	Qs3	Qt1	Qt2
A0	250				0.0425	0.0417	0.0429
A1	243	0	0.0115	0.0004	0.0036	0.0021	0.0008
A2	100	0.3617	0.8161	0.0194	0.0194	0.0194	0.0194
A3	273	0.1831	0.0529	0.0007	0.0195	0.0073	0.0035
A4	897	0.0866	0.0437	0.0176	0.0356	0.0114	0.0516
A5	1981	0.0428	0.0336	0.01715	0.0465	0.0242	0.0364
1	290	0.0007	0.0016	0.0003	0.0019	0.0042	0.0011
B2	100	0.1765	0.0324	5.4256	0.9561	0.4129	3.9625
B3	178	0.0292	0.0134	0.9742	0.2594	0.0535	2.1356
B4	752	0.0289	0.0123	0.0564	0.0603	0.0389	0.06295
AB	1539	0.0182	0.0119	0.0178	0.0465	0.0256	0.05865
A6	1933	0.0416	0.0191	0.0776	0.0337	0.0122	0.0626
A7	2557	0.0031	0.0223	0.00105	0.0273	0.0117	0.00215
A8	4203	0.0184	0.0105	0.00185	0.0227	0.0127	0.0017
A9	6823	0.0083	0.0296	0.00130	0.0190	0.014	0.0020
D1	1000	0.0297	0.0815	0.08775	0.0564	0.0496	0.0483
D2	7361	0.0316	0.0927	0.1109	0.0706	0.0442	0.0402

Sumber : Hasil analisis laboratorium Tahun 2010

Keterangan : Qr = debit rendah

Qs2 = debit sedang2

Qs1 = debit sedang 1

Qs3 = debit sedang 3

Qt1 = debit tinggi

Qt2 = debit tinggi

Hasil analisis TSS pada 6 kali sampling, tertinggi di lokasi tailing berkisar 0,0194 – 0,8161 mg/l di lokasi A2 dan 0,0336 – 5,4256 mg/l di lokasi B2. Partikel-partikel halus yang berada di tailing terbawa oleh aliran air pada proses pencucian dan amalgamasi.

Hasil konsentrasi merkuri di dalam sedimen melayang dapat tergantung dari besarnya hasil sedimen yang dihasilkan dan proses pengangkutan partikel- partikel tanah tersebut di badan air. Hubungan antara debit air, TSS dan konsentrasi merkuri pada sedimen melayang di tunjukkan dalam Tabel 6.11.

Tabel 6.11. Hubungan debit air, TSS dan konsentrasi merkuri pada sedimen melayang

Lokasi	Q R Rt	TSS	Hg	QS-Rt	TSS-Rt	Hg	Qt.Rt	TSS-Rt	Hg
	(m3/det)	(mg/l)	(mg/kg)	(m3/det)	(mg/l)	(mg/kg)	(m3/det)	(mg/l)	(mg/kg)
A0	0	0	0	0.6818	0.0425	8.385	1.2838	0.0423	23.938
A1	0	0	0	0.2378	0.0052	6.52	0.1812	0.0015	3.173
A2	0.0070	0.3617	132.7566	0.0494	0.2850	48.2	0.0529	0.0194	48.2
A3	0.0204	0.1831	70.9765	0.1476	0.0244	37.326	0.2730	0.0054	27.667
A4	0.1583	0.0866	13.7529	0.7122	0.0323	10.099	2.8271	0.0315	8.612
A5	0.5593	0.0428	3.7	1.8507	0.0324	20.296	4.2223	0.0303	37.132
A6	0.4644	0.0416	1.1516	3.0518	0.0435	7.515	4.0212	0.0374	9.436
A7	0.3615	0.00306	2.7794	2.0569	0.0169	16.133	5.5257	0.0069	19.942
A8	0.3780	0.0184	1.3994	3.5346	0.0117	6.85	7.2469	0.0072	4.066
A9	0.3997	0.0083	16.4024	3.9182	0.0166	4.312	7.8575	0.0080	2.4342
B1	0.0110	0.0007	125.3167	0.1383	0.0013	16.9962	0.3120	0.0027	6.8538
B2	0.0070	0.1765	321.6388	0.0490	2.1380	27.201	0.0596	2.1877	33.9295
B3	0.0363	0.0292	159.476	0.2248	0.4157	19.322	0.5729	1.0946	20.691
B4	0.1100	0.0289	7.5	1.7927	0.0430	13.865	2.2221	0.0509	7.852
AB	0.4635	0.0182	4.1595	2.7272	0.0254	5.428	6.0780	0.0421	6.122
D1	9.5401	0.0297	1.5537	57.2283	0.0752	2.804	146.374	0.0490	2.9285
D2	17.6897	0.0316	0.7399	67.1333	0.0914	2.817	118.3994	0.0422	2.9549

Sumber : Hasil pengukuran dan analisis laboratorium Tahun 2010

Keterangan : QR = debit rendah

Qs-Rt = debit rata-rata sedang

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

Hasil analisis regresi berganda menunjukkan bahwa variabel debit tinggi dan TSS secara bersama-sama berpengaruh terhadap hasil konsentrasi merkuri pada sedimen melayang, dengan koefisien korelasi (R) sebesar 0,692, koefisien determinansi ( $R^2$ ) sebesar 0,478 dan nilai adjudted  $R^2$  sebesar 0,404 . Hal ini menunjukkan bahwa variable TSS dan debit secara bersama-sama memberi pengaruh sebesar 40,4 % terhadap hasil konsentrasi merkuri pada sedimen melayang. Uji Anova dengan nilai signifikansi  $0,010 < 0,05$ . Karena probabilitas signifikansi lebih kecil dari 0,05 maka model regresi berganda dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi merkuri atau secara bersama-sama debit dan TSS dapat memprediksi peningkatan konsentrasi merkuri pada sedimen melayang

sebesar 40.4 % di aliran Sungai Tulabolo. Elastisitas konsentrasi merkuri pada debit rendah dengan koefisien sebesar 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 sebesar 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. Hasil analisis regresi berganda diperoleh model persamaan regresi sebagai berikut :

$$\text{Log Y} = 1,358 - 0,260 \text{ Log X1} + 0,176 \text{ Log X2} \dots\dots\dots(4.1)$$

Keterangan :

Log Y = konsentrasi merkuri pada sedimen melayang

Log X1 = debit tinggi

Log X2 = TSS

Hasil analisis regresi berganda menunjukkan bahwa variabel debit sedang dan TSS secara bersama-sama berpengaruh terhadap hasil konsentrasi merkuri pada sedimen melayang, dengan koefisien korelasi (R) sebesar 0,847, koefisien determinansi ( $R^2$ ) sebesar 0,718 dan adjusted  $R^2$  sebesar 0,678. Berdasarkan hasil ini bahwa 67.8% konsentrasi merkuri pada sedimen melayang dipengaruhi oleh TSS dan debit. Hasil uji Anova menunjukkan dengan tingkat signifikansi  $p = 0.000 < \alpha 0,05$ . 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 sebesar 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. Hal ini menunjukkan bahwa persamaan regresi berganda dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi merkuri pada sedimen melayang pada debit sedang.

Hasil analisis regresi berganda diperoleh model regresi sebagai berikut :

$$\text{Log Y} = 1.146 - 0,326 \text{ Log X1} + 0,072 \text{ Log X2} \dots\dots\dots(4.2)$$

Keterangan :

Log Y = konsentrasi merkuri pada sedimen melayang

X1 = debit sedang

X2 = TSS

Hasil analisis regresi berganda menunjukkan bahwa variabel debit rendah dan TSS secara bersama-sama berpengaruh terhadap hasil konsentrasi merkuri pada sedimen melayang, dengan koefisien korelasi (R) sebesar 0,895, koefisien determinansi ( $R^2$ ) sebesar 0,801 dan nilai adjudted  $R^2$  sebesar 0,768. Nilai adjudted  $R^2$  sebesar 76,8% mengartikan bahwa konsentrasi merkuri pada sedimen melayang dipengaruhi secara bersama-sama oleh debit dan TSS sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Hasil uji Anova menunjukkan tingkat signifikansi  $p < 0,000 < \alpha < 0,05$  mengartikan bahwa model persamaan regresi berganda dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi merkuri pada sedimen melayang pada kriteria debit rendah. Elastisitas konsentrasi merkuri pada debit rendah dengan koefisien sebesar 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.



Hasil analisis regresi berganda diperoleh model persamaan sebagai berikut :

$$\text{Log Y} = 0,571 - 0,771 \text{ Log X1} + 0,053 \text{ Log X2} \dots\dots\dots(4.3)$$

Keterangan :

Log Y = konsentrasi merkuri pada sedimen melayang

Log X1 = debit rendah

X2 = jarak

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 mengadsorpsi atau bereaksi dengan logam-logam tersebut.

## BAB V

### Deskripsi Merkuri Hulu Menuju Hilir Di Ekosistem Sungai

#### A. Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri Pada Sedimen Dasar

##### 1. Kegiatan Penambangan Emas Lokasi 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 5.1.

Tabel 5.1. 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 Tahun 2010

Keterangan : Qr 1 = debit rendah

Qs2 = debit sedang ke II

Qt1 = debit tinggi ke I

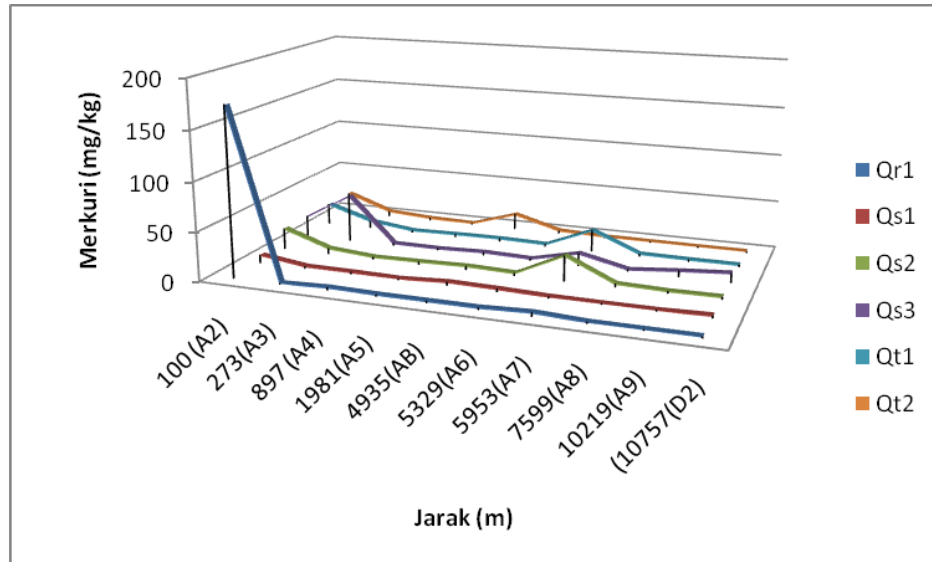
Qs1 = debit sedang ke I

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 5.1.



Gambar 5.1. 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.

## **2. Kegiatan Penambangan Emas Lokasi 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 5.2.

Tabel 5.2. 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
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 Tahun 2010

Keterangan : Qr 1 = debit rendah

Qs2 = debit sedang ke II

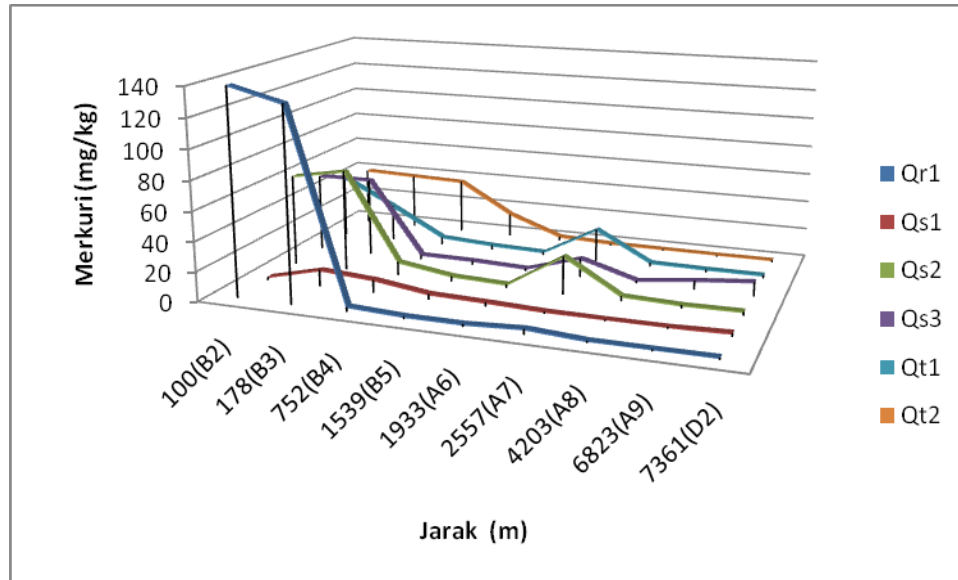
Qt1 = debit tinggi ke I

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 5.2.



Gambar 5.2. Pola konsentrasi merkuri pada sedimen dasar di Daerah Mohutango

Tabel 5.2 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.

## B. Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri Pada Sedimen Melayang

### 1. 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 5.3.

Tabel 5.3. 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 Tahun 2010

Keterangan : Qr1 = debit rendah

Qs2 = debit sedang ke II

Qt1 = debit tinggi ke I

Qs1 = debit sedang ke I

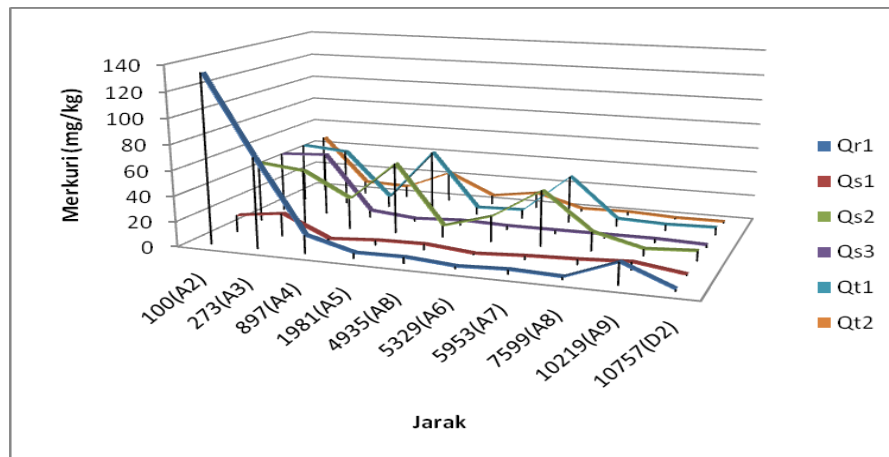
Qs3 = debit sedang ke III

Qt2 = debit tinggi ke II

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 m<sup>3</sup>/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 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 5.3.



Gambar 5.3. 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 pertambahan jarak.

## 2. 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.

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. Pengaruh kegiatan penambangan Bor Mohutango dari tailing menuju hilir Sungai Bone pada sedimen melayang ditunjukkan dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4. 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 Tahun 2010

Keterangan : Qr 1 = debit rendah

Qs2 = debit sedang ke II

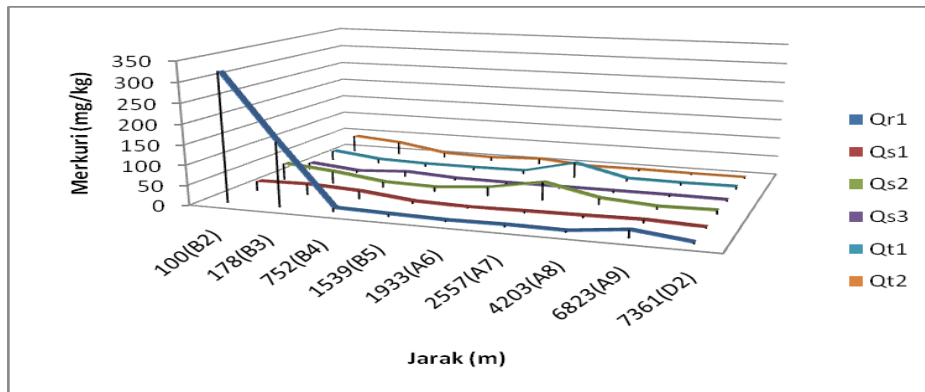
Qt1 = debit tinggi ke I

Qs1 = debit sedang ke I

Qs3 = debit sedang ke III

Qt2 = debit tinggi ke II

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 5.4.



Gambar 5.4. Pola konsentrasi merkuri pada sedimen melayang Daerah Mohutango

### C. Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri di Air

#### 1. Kegiatan Penambangan Emas Titik Bor 17

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

penambahan terhadap konsentrasi merkuri dalam air dari tailing Bor 17 hingga hilir Sungai Bone ditunjukkan pada Tabel 5.5.

Tabel 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 Tahun 2010

Keterangan : Qr 1 = debit rendah

Qs2 = debit sedang ke II

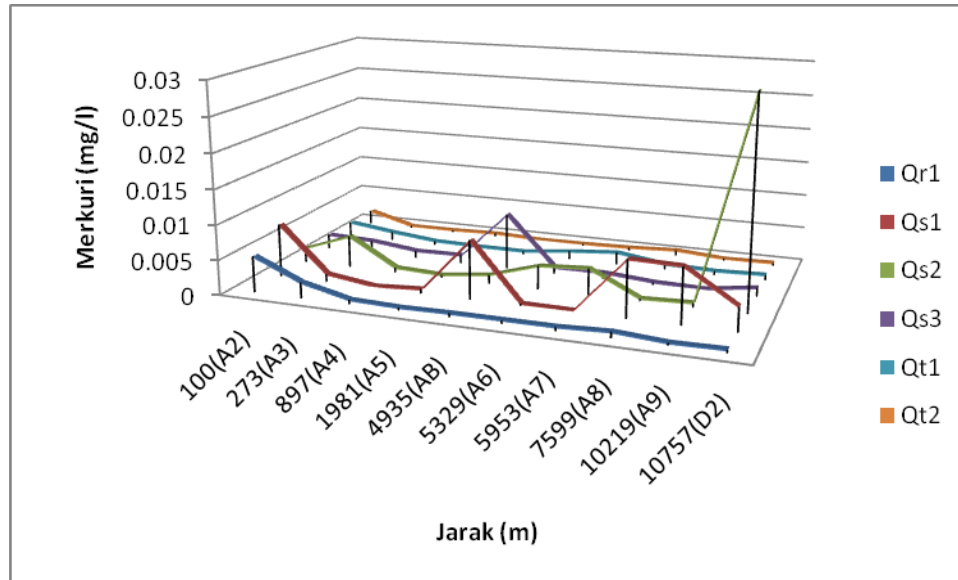
Qt1 = debit tinggi ke I

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 5.5.



Gambar 5.5. 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.

## 2. 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 5.6.

Tabel 5.6. 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 Tahun 2010

Keterangan : Qr I = debit rendah

Qs2 = debit sedang ke II

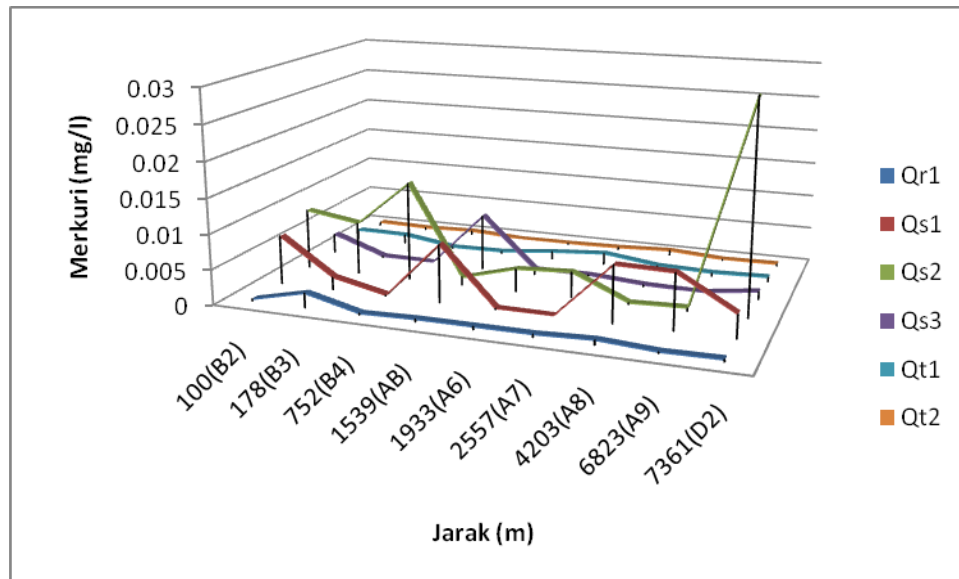
Qt1 = debit tinggi ke I

Qs1 = debit sedang ke I

Qs3 = debit sedang ke III

Qt2 = debit tinggi ke II

Berdasarkan Tabel 5.6, 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 5.6.



### Gambar 5.6. 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.

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.

Penulisan buku ini bertujuan sebagai buku rujukan bagi mahasiswa S1, S2 dan S3 pada universitas atau yang sederajat. Buku ini merupakan bagian dari hasil penelitian, yang pokok tulisannya berisi tentang bagaimana membuat prediksi jumlah merkuri di sungai akibat suatu pertambangan ilegal pada berbagai jarak dan debit air. Pada buku ini BAB I berisi tentang Pendahuluan yang menceritakan Dampak Negatif akibat Penambangan ilegal pada Lingkungan Hidup. Pada BAB II berisi tentang Pentingnya Pemodelan Konsentrasi Merkuri, BAB III berisi tentang Analisis Pemodelan Matematis Konsentrasi Merkuri, BAB IV Deskripsi Wilayah Studi, BAB V berisi tentang Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri di Ekosistem Sungai BAB VI berisi tentang Model Matematis Konsentrasi Merkuri dan BAB VII berisi tentang Kesimpulan dan Saran. Model analisis merkuri pada buku ini mengambil studi kasus pada Lokasi Penambangan Tradisional di ekosistem Sungai Tulabolo Provinsi Gorontalo.

Demikian uraian buku ini di buat. Terima Kasih.



**Dr. Marike Mahmud ST.M.Si**, lahir di Gorontalo, pada tanggal 7 Agustus 1969, adalah Dosen Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo dengan jabatan Lektor Kepala. Menyelesaikan pendidikan Sarjana Teknik Sipil di Universitas Sam Ratulangi Manado Tahun 1994; Program magister Ilmu Lingkungan di Universitas Sam Ratulangi Manado Tahun 2002 dan Program doktoral Ilmu Lingkungan pada Fakultas Geografi Universitas Gajah Mada pada Tahun 2012. Sejak lima tahun terakhir sudah sekian banyak Pengabdian dan Penelitian yang dilakukan, dan telah menghasilkan puluhan artikel ilmiah yang dimuat dalam jurnal/proceeding.

**Prof. Dr. Sudarmadji, M.Eng.Sc.**, lahir di Kebumen, pada tanggal 21 Desember 1948, adalah Guru Besar Hidrologi Fakultas Geografi Universitas Gajah Mada. Menempuh pendidikan sarjana pada Fakultas Geografi UGM Yogyakarta pada tahun 1975. Program magister pada School of Civil Engineering Faculty of Engineering, University of New South Wales pada tahun 1980. Tahun 1991 menyelesaikan program doktoral (Ph.D) pada Universitas Gadjah Mada. Jabatan yang pernah diemban diantaranya Ketua Jurusan Geografi Fisik 1995-2000; Dekan Fakultas Geografi 2000-2004; Kepala Bapedalda Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta 2004-2007; Ketua Program Pascasarjana Fakultas Geografi hingga saat ini.

**Dr. Slamet Suprayogi, MS.**, lahir di Nganjuk, pada tanggal 11 Desember 1957, adalah dosen Fakultas Geografi Universitas Gajah Mada dengan jabatan Lektor Kepala. Menyelesaikan pendidikan pada program sarjana di Fakultas Geografi UGM Yogyakarta pada tahun 1984; Program magister bidang ilmu Pengelolaan DAS di PPs-IPB Bogor pada tahun 1991; dan program doktoral bidang ilmu Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan di PPs-IPB Bogor pada tahun 2003. Sejak tahun 2010 telah melakukan berbagai penelitian diantaranya Pemetaan Sumberdaya Air Pulau Bali (2012); Kajian Hidrologi Daerah Perkotaan (Studi Kasus subDAS Kali Belik Yogyakarta) (2013).



UNG Press - Gorontalo  
Anggota IKAPI  
Jl. Jend. Sudirman No. 6 Telp. (0435) 821128  
Fax. (0435) 821752 Kota Gorontalo  
Website: www.ung.ac.id

ISBN : 978-602-6204-03-5