



Identifikasi Kadar Merkuri (Hg) Dan Arsen (As) Di Sungai Desa Tobongon Kabupaten Bolaang Mongondow Timur

Nadda N. A. Manoppo^{#a}, Hendra Riogilang^{#b}, Herawaty Riogilang^{#c}

[#]Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^anadda170602manoppo@gmail.com, ^briogilanghendra@gmail.com, ^chera28115@gmail.com

Abstrak

Keberadaan sumber daya mineral emas di Desa Tobongon ditandai dengan tingkat kelimpahan yang tinggi, dengan mayoritas masyarakat melakukan aktivitas pertambangan. Masyarakat melakukan penambangan emas melalui teknik amalgamasi yaitu penggabungan emas dengan logam berat Merkuri (Hg). Teknik amalgamasi melibatkan pencampuran batuan yang mengandung emas dan merkuri menggunakan gelondong. Namun demikian, pemanfaatan merkuri (Hg) dapat menimbulkan berbagai permasalahan, seperti pencemaran, kerusakan lingkungan, dan keracunan organisme lain. Untuk memastikan kadar Merkuri (Hg) dan Arsen (As) di sungai sekitar tambang emas masyarakat Desa Tobongon dan kolam limbah pengelolaan emas, peneliti mengumpulkan sampel air dan sedimen sungai dan Kolam limbah pengelolaan emas. Selanjutnya, Laboratorium Air Nusantara (WLN) di Manado melakukan analisis terhadap sampel tersebut. Analisis kadar merkuri (Hg) memberikan hasil sebagai berikut: titik I 0,0213 mg/L, titik II 0,0006 mg/L, dan titik III 0,0002 mg/L. Hasil arsen (As) sebagai berikut: titik I 0,029 mg/L, titik II 0,0042 mg/L, dan titik III 0,024 mg/L. Analisis sedimen mengungkapkan temuan selanjutnya mengenai kadar Merkuri (Hg): Pada titik I, konsentrasinya adalah 375 mg/kg. Pada titik II sebesar 1,94 mg/kg. Pada titik III adalah 12,5 mg/kg. Pada titik I konsentrasi Arsenya sebesar 610 mg/kg, pada titik II sebesar 598 mg/kg, dan pada titik III sebesar 850 mg/kg. Untuk menghindari kenaikan kadar Merkuri (Hg) dan Arsen (As), perlu dilakukan upaya pencegahan dan penanganan seperti Fitoremediasi, kolam sedimentasi bertingkat (Settling Pond), Bioremediasi dengan menggunakan bakteri, IPAL Industri Kecil Pelapisan Logam.

Kata kunci: Merkuri (Hg), Arsen (As), fitoremediasi, kolam pengendapan bertingkat, bioremediasi dengan bakteri, Desa Tobongon

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara yang kaya dengan sumber daya alam, baik sumber daya alam yang dapat diperbaharui maupun tidak dapat diperbaharui. Sumber daya alam yang dimiliki oleh Indonesia merupakan sumber daya yang esensial bagi kelangsungan hidup masyarakatnya, terutama sungai. Sungai berfungsi sebagai tempat pertemuan air dari lingkungan yang turun ketinggiannya. Daerah yang berbatasan dengan sungai pemberi air disebut daerah tangkapan air atau daerah penyangga. Perilaku dan tindakan penduduk daerah penyangga berdampak pada kondisi ketersediaan air. (Wardhana, 2007).

Penggunaan merkuri dalam mengolah bijih emas banyak dilakukan pada penambangan skala kecil atau penambangan emas rakyat atau tradisional (*artisanal small scale gold mining-ASGM*) (Sumarjono, 2020). Logam berat menjadi berbahaya disebabkan sistem bioakumulasi yaitu peningkatan konsentrasi unsur kimia di dalam tubuh makhluk hidup. Logam-Logam berat dapat menimbulkan efek kesehatan bagi manusia tergantung pada bagian mana logam berat tersebut terikat dalam tubuh. (Ade dan Yulis, 2018).

Banyak masyarakat di Desa Tobongon di Kecamatan Modayag bergantung pada pertambangan emas, dan beberapa orang yang dulunya petani karet dan sawit akhirnya menjadi

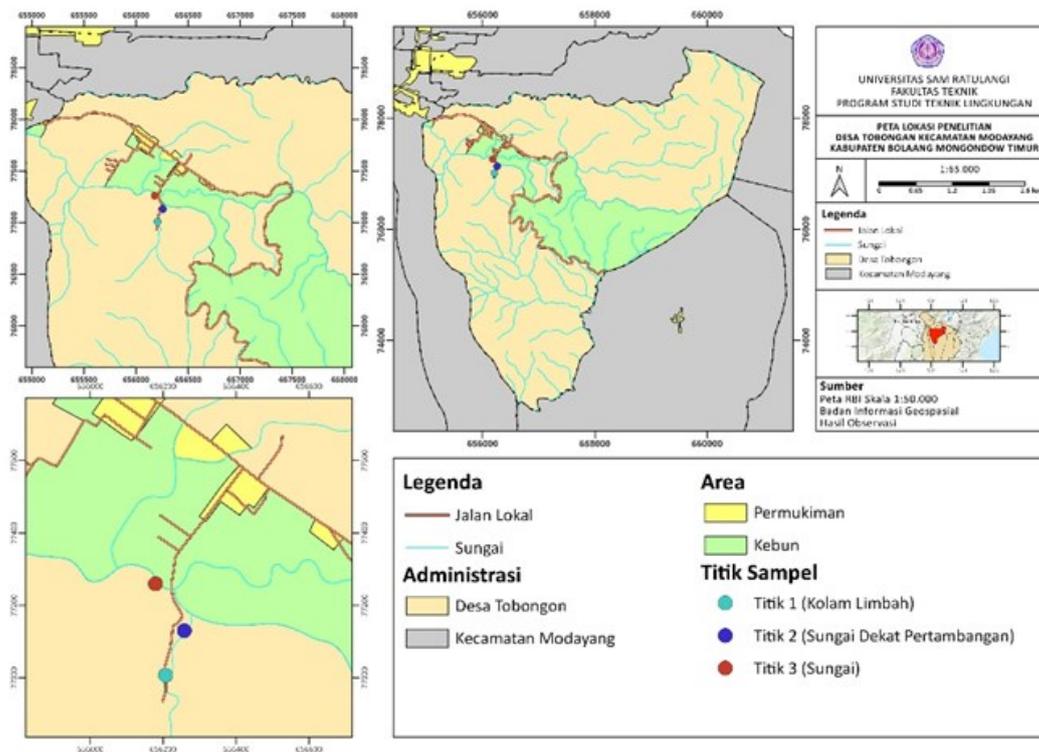
buruh tambang. Selama ini, pertambangan merupakan bentuk eksploitasi sumber daya alam yang berlebihan. Tambang emas di wilayah ini masih dilakukan secara manual, sederhana. Menurut (Fauziah, 2009), limbah atau lumpur yang dihasilkan dari proses pertambangan emas dalam jumlah besar dapat menjadi masalah yang sangat serius, yaitu penurunan kualitas air sungai maupun tanah, karena dibuang begitu saja tanpa proses pengolahan apa pun.

Oleh karena itu, perlu dilakukan identifikasi kadar Merkuri (Hg) dan Arsen (As) di sungai agar dapat mengelola risiko pencemaran dan menjaga kesehatan masyarakat secara efektif. Hal ini mencakup penerapan peraturan ketat terkait pelepasan dan pemanfaatan Merkuri (Hg) dan Arsen (As) dalam kegiatan industri dan lainnya. Tujuan dari peraturan ini adalah untuk memitigasi pencemaran lingkungan dan menjaga kesehatan manusia dengan mengatasi risiko yang terkait dengan akumulasi logam berat di badan air.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Sungai Tobongon, Kabupaten Bolaang Mongondow Timur, Provinsi Sulawesi Utara. Penentuan lokasi pengambilan sampel berdasarkan potensi pencemaran, mulai dari hulu sampai ke hilir sungai. Lokasi pengambilan sampel air dan sedimen di Sungai Tobongon dilakukan di 3 titik. Lokasi pertama di kolam limbah pengelolaan emas pertambangan, lokasi kedua di sungai paling dekat dengan kolam pertambangan dan lokasi ketiga di sungai sesudah area pertambangan emas. Lokasi Penelitian bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

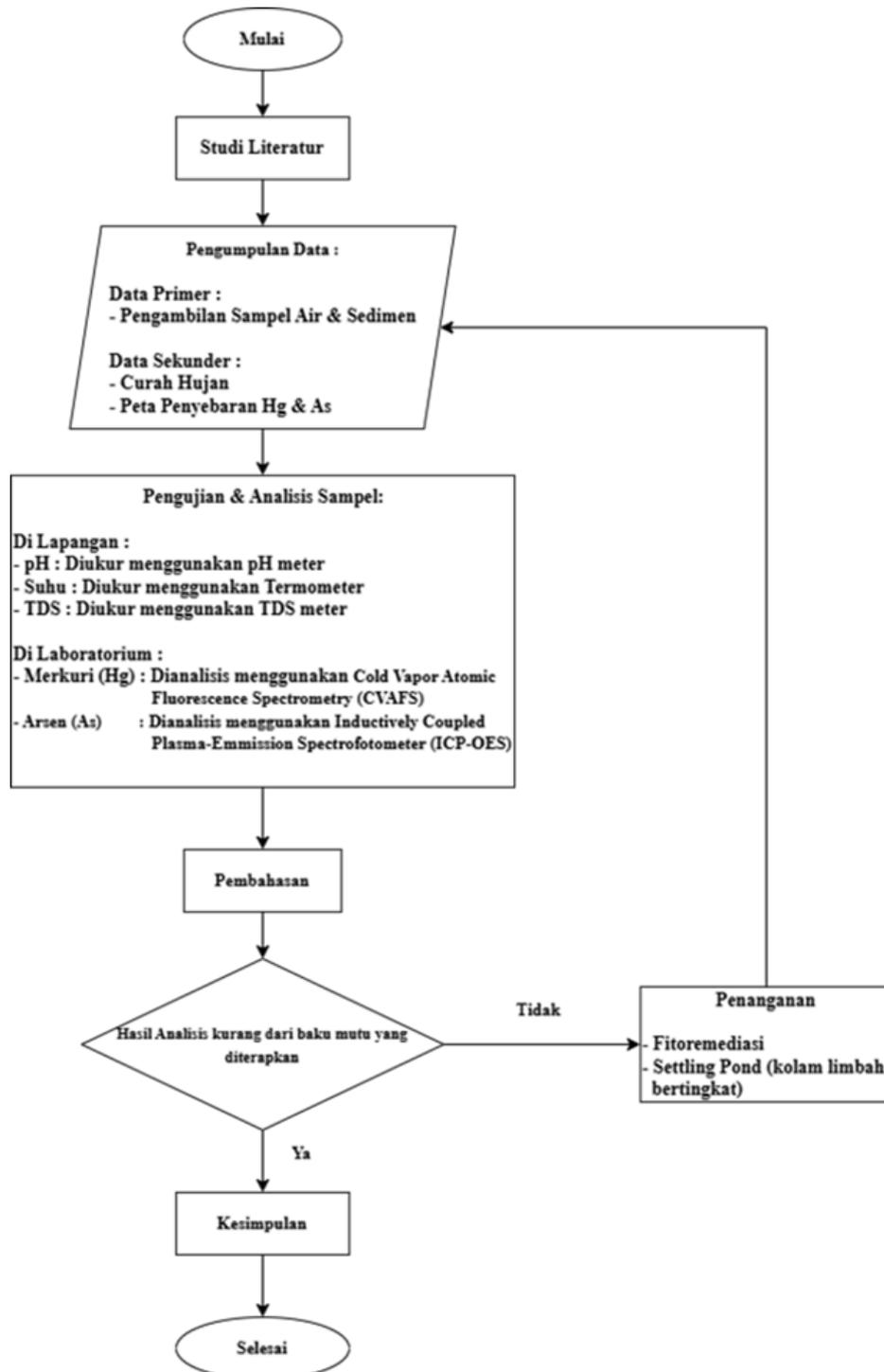
2.2 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan Data Primer yang dibutuhkan yaitu sampel air dan sampel sedimen. Pengambilan sampel air mengacu SNI 6989.57-2008 tentang metode pengambilan contoh air permukaan dan untuk sampel sedimen dilakukan menurut America Public Health Association (APHA). Pengujian sampel air dan sampel sedimen dilakukan secara *ex-situ* di SGS Water Laboratory Nusantara (SGS WLN). Dan untuk pengujian pH, suhu (APHA). Pengujian sampel air dan sampel sedimen dilakukan secara *ex-situ* di SGS Water Laboratory Nusantara (SGS WLN). Dan untuk pengujian pH, suhu, dan Total Dissolved Solid (TDS) dilakukan secara *in-situ*

dimana metode pengujian pH mengacu pada SNI 06-6989-11-2008 tentang cara Uji Derajat Keasaman pH menggunakan pH Meter, untuk suhu mengacu pada SNI 06-6989-23-2005 tentang cara uji suhu dengan Termometer Air & Air Limbah, dan untuk TDS mengacu pada SNI 03-7016-2004 tentang Tata Cara Pengambilan Contoh dalam Rangka Pemantauan Kualitas Air pada Suatu Daerah Pengaliran Sungai. Untuk pengumpulan Data Sekunder terdiri dari Peta Sebaran Merkuri (Hg) dan Arsen (As) dan Curah Hujan 15 tahun terakhir.

2.3 Kerangka Penelitian

Kegiatan Penelitian dilakukan berdasarkan Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengukuran Merkuri (Hg) pada air Sungai dan Kolam Limbah sekitar Tambang Emas di Desa Tobongon

Baku mutu air sungai mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI Kelas II dan baku mutu data hasil pemeriksaan merkuri (Hg) pada kolam pengelolaan emas mengacu pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 202 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan Penambangan Bijih Emas dan atau Tembaga.

Tabel 1. Hasil kadar Merkuri pada air Sungai dan Kolam Limbah Tambang Emas

No	Titik Koordinat	Lokasi	Hasil	Baku Mutu
1.	0°41'50"N 124°24'14"E	Kolam Limbah (Titik I)	0.0213 mg/L	0.005 mg/L
2.	0°41'49"N 124°24'15"E	Sungai terdekat dengan pertambangan (Titik II)	0.0006 mg/L	0.002 mg/L
3.	0°41'54"N 124°24'14"E	Sungai (Titik 3)	0.0002 mg/L	0.002 mg/L

Berdasarkan gambar diatas, hasil pemeriksaan kadar Merkuri (Hg) pada titik sampling I (Kolam Limbah) dan titik sampling II (Sungai dekat pertambangan) menunjukkan telah melebihi baku mutu yaitu sebesar 0.0213 mg/L dan 0.0006 mg/L, sedangkan pada titik sampling III (Sungai) sebesar 0.0002 mg/L masih memenuhi atau belum melampaui baku mutu yang sebesar 0.0005 mg/L mengacu pada Keputusan Menti Lingkungan Hidup Nomor 202 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan Penambangan Bijih Emas dan atau Tembaga. Perbedaan kadar merkuri pada air kolam limbah dan air sungai dekat pertambangan berbeda jauh sebesar 0.0207 mg/L. Perbedaan ini dikarenakan sisa-sisa limbah pada kolam limbah di tambang emas masih digunakan kembali untuk proses pengolahan emas di gerondol. Untuk perbedaan kadar merkuri pada air sungai dekat pertambangan dan air sungai yang terletak jauh dari pertambangan hanya sebesar 0.0002 mg/L, karena air sungai dekat pertambangan secara tidak langsung terkontaminasi kandungan merkuri melalui luapan kolam limbah pertambangan.

3.2 Hasil Pemeriksaan Arsen (As) di Sedimen Sungai dan Kolam Limbah Tambang Emas Desa Tobongon

Baku mutu data hasil analisis pH pada perairan sungai mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI Kelas II dan baku mutu data hasil analisis pH pada kolam pengelolaan emas mengacu pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 202 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan Penambangan Bijih Emas dan atau Tembaga.

Berdasarkan Gambar diatas, Hasil pemeriksaan kadar Arsen (As) pada setiap sampling air Sungai Desa Tobongon menunjukkan masih memenuhi atau belum melampaui baku mutu yang sebesar 0.5 mg/L dan 0.05 mg/L mengacu pada baku mutu. Kadar Arsen yang teridentifikasi ini masih dalam kontaminasi alami dalam bentuk mineral.

3.3 Hasil Pemeriksaan Kadar Merkuri (Hg) pada Sedimen Sungai dan Kolam Limbah Tambang Emas Desa Tobongon

Baku mutu data hasil analisis pH pada perairan sungai mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI Kelas II dan baku mutu data hasil analisis pH pada kolam pengelolaan emas mengacu pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 202 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan Penambangan Bijih Emas dan atau Tembaga. Hasil pemeriksaan kadar Merkuri (Hg) pada Sungai melewati batas baku mutu yang diterapkan. Pada Titik I (Kolam Limbah) menunjukkan kadar Merkuri (Hg) yang sangat tinggi sebesar 375 mg/kg, ini karena limbah yang mengandung merkuri tersebut akan digunakan berulang kali. Untuk Kadar

merkuri (Hg) yang paling rendah terletak pada Titik II (Sungai dekat pertambangan) sebesar 1,94 mg/kg

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Kadar Arsen (As) pada air Sungai dan Kolam Limbah Tambang Emas

No.	Titik Koordinat	Lokasi	Hasil	Baku Mutu
1.	0°41'50"N 124°24'14"E	Kolam Limbah (Titik I)	0.029 mg/L	0.5 mg/L
2.	0°41'49"N 124°24'15"E	Sungai terdekat dengan pertambangan (Titik II)	0.042 mg/L	0.05 mg/L
3.	0°41'54"N 124°24'14"E	Sungai (Titik 3)	0.024 mg/L	0.05 mg/L

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Merkuri (Hg) pada Sedimen Sungai dan Kolam Limbah Tambang Emas

No	Titik Koordinat	Lokasi	Hasil	Baku Mutu
1.	0°41'50"N 124°24'14"E	Kolam Limbah (Titik I)	375 mg/kg	1 mg/kg
2.	0°41'49"N 124°24'15"E	Sungai terdekat dengan pertambangan (Titik II)	1,94 mg/kg	1 mg/kg
3.	0°41'54"N 124°24'14"E	Sungai (Titik 3)	12,5 mg/kg	1 mg/kg

3.4 Hasil Pemeriksaan Kadar Arsen (As) pada Sedimen Sungai dan Kolam Limbah Tambang Emas Desa Tobongon

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Kadar Arsen (As) pada Sedimen Sungai dan Kolam Limbah Tambang Emas Desa Tobongon

No	Titik Koordinat	Lokasi	Hasil	Baku Mutu
1.	0°41'50"N 124°24'14"E	Kolam Limbah (Titik I)	610 mg/kg	32 mg/kg
2.	0°41'49"N 124°24'15"E	Sungai terdekat dengan pertambangan (Titik II)	598 mg/kg	32 mg/kg
3.	0°41'54"N 124°24'14"E	Sungai (Titik 3)	850 mg/kg	32 mg/kg

Hasil pemeriksaan Kadar Arsen (As) pada Sungai melewati batas baku mutu yang diterapkan. Pada Titik III (Sungai) menunjukkan kadar Arsen (As) yang sangat tinggi sebesar 850 mg/kg dan yang paling rendah pada Titik II (Sungai dekat pertambangan) sebesar 598 mg/kg. Kadar arsen (As) pada titik I (Kolam Limbah) tidak beda jauh dengan titik II (Sungai dekat pertambangan) yang sebesar 610 mg/kg, ini menunjukkan selisih antara kedua kadar tersebut sebesar 12 mg/kg.

3.5 Hasil Pengukuran pH pada Sungai dan Kolam Limbah Tambang Emas Desa Tobongon

Baku mutu data hasil analisis pH pada perairan sungai mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI dan baku mutu data hasil analisis pH pada kolam tambang emas mengacu pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 202 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan Penambangan Bijih Emas dan atau Tembaga.

Hasil pengukuran pH atau Derajat Keasaman pada setiap lokasi titik sampling sungai Desa Tobongon masih memenuhi atau belum melampaui baku mutu sebesar 6-9 mengacu pada baku mutu hasil analisis pH pada sungai mengacu Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan Lampiran VI dan untuk pada kolam limbah pertambangan emas mengacu pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 202 Tahun 2004 tentang Baku Mutu

Air Limbah bagi Kegiatan Penambangan Bijih Emas dan atau Tembaga. pH yang paling tinggi berada di lokasi titik III (sungai) dan yang paling rendah berada di lokasi titik I (sungai dekat pertambangan).

Tabel 4. Hasil Pengukuran pH pada Sungai dan Kolam Limbah Tambang Emas Desa Tobongon

No.	Titik Koordinat	Lokasi	Hasil	Baku Mutu
1.	0°41'50"N 124°24'14"E	Kolam Limbah (Titik I)	6.84	6-9
2.	0°41'49"N 124°24'15"E	Sungai terdekat dengan pertambangan (Titik II)	6.68	6-9
3.	0°41'54"N 124°24'14"E	Sungai (Titik 3)	7.01	6-9

3.6 Hasil Pengukuran Suhu pada Sungai dan Kolam Limbah Tambang Emas Desa Tobongon

Baku mutu data hasil analisis Suhu pada sungai mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI dan baku mutu data hasil analisis pH pada kolam tambang emas mengacu pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 202 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan Penambangan Bijih Emas dan atau Tembaga.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Suhu pada Sungai dan Kolam Limbah Tambang Emas Desa Tobongon

No.	Titik Koordinat	Lokasi	Hasil	Baku Mutu
1.	0°41'50"N 124°24'14"E	Kolam Limbah (Titik I)	28,4°C	25-32°C
2.	0°41'49"N 124°24'15"E	Sungai terdekat dengan pertambangan (Titik II)	27,9 °C	25-32°C
3.	0°41'54"N 124°24'14"E	Sungai (Titik 3)	25,9 °C	25-32°C

Hasil pengukuran Suhu pada setiap lokasi titik sampling sungai Desa Tobongon masih memenuhi atau belum melampaui baku mutu sebesar 25 - 32°C mengacu pada baku mutu Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan Lampiran VI. Suhu yang paling tinggi berada di lokasi titik I (kolam limbah) dan yang paling rendah berada di lokasi titik III (sungai).

3.7 Hasil Pengukuran Total Padatan Terlarut (TDS) pada Sungai dan Kolam Limbah Tambang Emas

Baku mutu data hasil analisis Suhu pada sungai mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI dan baku mutu data hasil analisis pH pada kolam tambang emas mengacu pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 202 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan Penambangan Bijih Emas dan atau Tembaga.

Kadar TDS pada tiap titik sampling masih memenuhi batas baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Lampiran VI Kelas III. TDS dapat mempengaruhi konsentrasi merkuri (Hg) dan Arsen (As) dalam sedimen maupun air sungai. Semakin tinggi konsentrasi TDS, semakin besar kemungkinan kadar merkuri yang terlarut dalam air, dan pada sedimen besar kemungkinan merkuri (Hg) dan Arsen (As) terakumulasi dalam sedimen.

Tabel 6. Hasil Pengukuran Total Padatan Terlarut (TDS) pada Sungai dan Kolam Limbah Tambang Emas Desa Tobongon

No	Titik Koordinat	Lokasi	Hasil	Baku Mutu
1.	0°41'50"N 124°24'14"E	Kolam Limbah (Titik I)	283 ppm	1000 ppm
2.	0°41'49"N 124°24'15"E	Sungai terdekat dengan pertambangan (Titik II)	321 ppm	1000 ppm
3.	0°41'54"N 124°24'14"E	Sungai (Titik 3)	93 ppm	1000 ppm

3.8 Penanganan Pencemaran

3.8.1 Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan proses pembersihan tanah dan air yang memanfaatkan tanaman. Tanaman dapat digunakan dalam proses fitoremediasi untuk mengatasi berbagai macam polutan, termasuk logam, radionuklida, dan zat organik. (Sidauruk dan Sipayung, 2015). Teknologi fitoremediasi mampu mengatasi senyawa organik dan anorganik, dan dapat diterapkan baik di dalam maupun di luar lokasi, dengan biaya yang relatif rendah. Teknik fitoremediasi mempunyai kapasitas untuk menurunkan kadar logam berat secara signifikan. Proses serapan polutan terjadi melalui pemanfaatan unsur hara, khususnya melalui penyerapan air dan unsur hara pada daerah akar, proses transpirasi melalui daun, dan tahap metabolisme.

3.8.2 Kolam Pengendapan Bertingkat

Kolam pengendapan bertingkat dibuat untuk pengolahan limbah pertambangan emas yang memiliki tingkat kekeruhan yang tinggi dan apabila langsung dibuang ke badan air dapat menyebabkan penurunan kualitas air dan terganggunya ekosistem badan air. Perencanaan ini menggunakan serangkaian kumpulan bertingkat yang berurutan, dengan masing-masing kumpulan dirancang khusus untuk mencapai pengurangan kadar logam berat secara bertahap.

- Kapasitas Kolam Pengendapan bertingkat
Debit air limpasan sebesar 117.963 m³/jam dengan asumsi waktu 4 jam, maka volume yang didapatkan yaitu 470,88 m³ digunakan untuk menghitung kapasitas kolam pengendapan. Hasil perhitungan menunjukkan kapasitas kolam pengendapan dengan asumsi luas daerah tangkapan 0,01 km² diperoleh 720 m³. Untuk kedalaman 1,5 meter dan lebar 18 meter dan masing-masing panjang kolam 6,67 meter.
- Dimensi kolam pengendapan direkomendasikan sebagai berikut
 - Lebar kolam (l) = 18 meter
 - Panjang kolam (p) = (3 kompartemen × 6,67 meter) = 20 meter
 - Jumlah penyekat = 4 buah
 - Kedalaman = 1,5 meter
 - Volume = 3 (6,67 m × 18 m × 1,5 m) = 720 m³

Kolam limbah bertingkat digunakan sebagai sarana penanganan limbah cair secara efektif, khususnya di bidang pertambangan atau industri lain yang menghasilkan limbah beracun atau berbahaya. Kolam limbah bertingkat beroperasi dengan memanfaatkan rangkaian kolam yang dirancang khusus untuk memisahkan partikel padat dan menurunkan kadar zat berbahaya, sebelum air dibuang atau diolah lebih lanjut. Berikut ini adalah prosedur dasar yang terlibat dalam pengoperasian kolam limbah bertingkat:

1. Cekungan sedimentasi primer
Proses penambangan membuang limbah cair ke kolam sedimentasi primer awal. Kolam-kolam ini biasanya berukuran cukup besar dan berfungsi untuk memperlambat pergerakan air limbah, sehingga memungkinkan terjadinya sedimentasi partikel padat yang lebih besar.
2. Pemisahan padatan kasar

Di dalam kolam sedimentasi primer, partikel yang lebih padat dan lebih besar, seperti pasir, lumpur, atau material padat lainnya, secara alami akan tenggelam ke dasar kolam. Kolam sedimentasi sekunder akan menerima air yang mengandung partikel halus dan larutan kimia berbahaya lainnya.

3. Cekungan sedimentasi sekunder

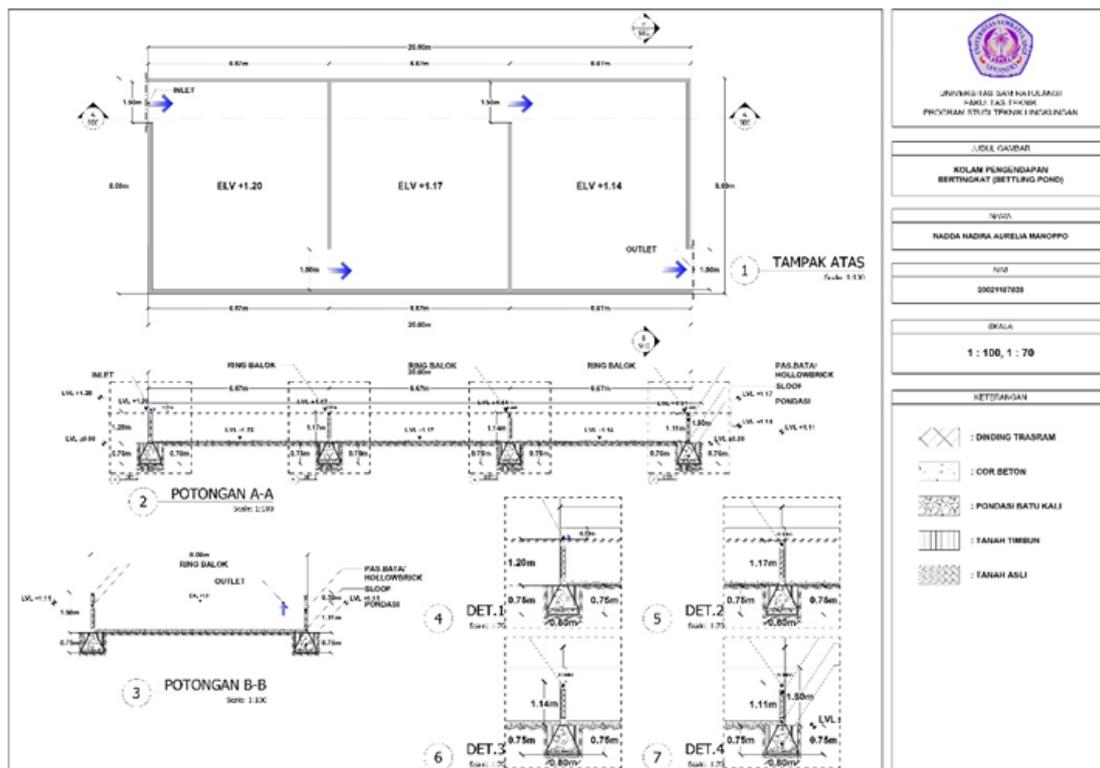
Limbah cair yang telah mengalami sedimentasi primer akan dialirkan ke kolam sedimentasi sekunder. Biasanya, kolam ini berukuran lebih kecil dan dibuat khusus untuk memfasilitasi pengendapan partikel padat yang lebih kecil dan lebih halus yang masih mengambang di air.

4. Pemrosesan Tambahan

Setelah air limbah melewati kolam sedimentasi sekunder, air limbah tersebut akan menjalani pengolahan tambahan berdasarkan peraturan lingkungan. Proses-proses ini mungkin melibatkan penggunaan penyaringan tingkat lanjut, oksidasi, atau pengenalan bahan kimia untuk mengurangi konsentrasi zat berbahaya tertentu.

5. Pelepasan Air Murni

Setelah tahapan-tahapan tersebut di atas selesai, air yang telah diolah dalam reservoir bertingkat dianggap layak untuk dibuang atau, jika memungkinkan, dapat dimanfaatkan kembali untuk operasi industri.



Gambar 3. Kolam Pengendapan Bertingkat

3.9 Bioremediasi

Bioremediasi adalah proses pemanfaatan keanekaragaman hayati, baik secara langsung maupun tidak langsung, untuk mengubah polutan beracun menjadi zat yang tidak berbahaya (Latha & Reddy, 2013). Pendekatan ini melibatkan penggunaan berbagai agen biologis seperti tumbuhan, jamur, bakteri, actinomycetes, dan alga untuk mendetoksifikasi logam berat. Ada dua pendekatan berbeda untuk mengatasi polutan beracun: remediasi in-situ dan remediasi ex-situ. Remediasi in-situ melibatkan penanganan kontaminasi langsung di lokasi dengan memasukkan agen biologis atau menciptakan kondisi yang menguntungkan bagi organisme asli untuk mendegradasi polutan secara alami. Metode kedua adalah *ex-situ*, yang melibatkan relokasi lokasi yang terkontaminasi ke lokasi lain untuk diproses (Yadav dkk., 2017). Manipulasi proses detoksifikasi oleh organisme melibatkan berbagai mekanisme. Salah satu konsep penting adalah penggunaan logam beracun oleh mikroorganisme sebagai sumber nutrisi.

Menurut (Yani, 2011) terdapat 3 teknik dasar yang digunakan dalam Bioremediasi, yaitu :

1. Meningkatkan aktivitas mikroorganisme asli di daerah yang terkontaminasi melalui penambahan nutrisi, pengaturan kondisi redoks, dan optimalisasi pH;
2. Memasukkan mikroorganisme dengan kemampuan biotransformasi spesifik ke dalam area yang terkontaminasi, suatu proses yang dikenal sebagai inokulasi;
3. Penerapan Enzym Implementation

Proses bioremediasi merkuri oleh mikroorganisme dapat dilakukan melalui beragam metode, yang bergantung pada spesies tertentu yang terlibat dalam proses tersebut. Bakteri *Morganella morganii* melakukan bioremediasi merkuri dengan cara mereduksi atau mendegradasi merkuri sehingga tidak berbahaya bagi lingkungan. Sebuah studi kasus yang dilakukan di tambang emas Tumpang Pitu di Banyuwangi menemukan bakteri asli dari spesies *Morganella morganii* yang menunjukkan kemampuan beradaptasi terhadap media yang mengandung merkuri dalam kadar tertentu. Bakteri ini mampu mengurangi merkuri dalam tanah sebesar 92,46% dan menunjukkan penurunan kadar merkuri dalam tanah secara efektif. Bakteri asli mempunyai kapasitas yang luar biasa untuk menyesuaikan diri dengan lingkungan yang keras, sehingga memungkinkan mereka melakukan remediasi dengan mengubah zat berbahaya menjadi bentuk yang lebih ramah lingkungan. Bioremediasi berbasis bakteri asli merupakan metode yang unggul dan hemat biaya karena penerapan in-situ dan peningkatan kemampuannya dibandingkan dengan agen bioremediasi lingkungan. (Reza Pramesti dkk., 2019)

Tabel 7. Persen Reduksi Bakteri terhadap Logam Berat

No.	Bakteri	% Reduksi
1.	<i>Pseudomonas Stutzeri</i>	60,1%
2.	<i>Actinomyces Viscosus</i>	53,8%
3.	<i>Konsorsium Pseudomonas Stutzeri dan Actinomyces Viscosus</i>	74,5%
4.	<i>Konsorsium Pseudomonas Maltophilia dan Pseudomonas Stutzeri</i>	84%
5.	<i>Konsorsium Pseudomonas Putida, Pseudomonas Aeruginosa, dan Citrobacter Freundii</i>	99%

4. Kesimpulan

1. Setelah melakukan pengujian terhadap sampel air Sungai Tobongon dan kolam limbah pengelolaan emas Desa Tobongon, Laboratorium WLN Manado menetapkan kadar merkuri (Hg) di sungai tersebut dalam batas aman. Kadar tersebut tidak melebihi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI Kelas IV yang menyatakan bahwa konsentrasi maksimum merkuri (Hg) pada air sungai yang diperbolehkan adalah 0,002 mg/L. Demikian pula kandungan arsen (As) pada sampel air sungai tidak melebihi batas aman yaitu 0,05 mg/L sesuai baku mutu. Meski demikian, konsentrasi merkuri (Hg) pada kolam limbah telah melampaui baku mutu dan telah tercemar yang ditetapkan berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 202 Tahun 2004 yang menetapkan kadar maksimum merkuri (Hg) pada bijih emas dan/atau tembaga yang diperbolehkan operasi penambangan adalah 0,005 mg/L. Di sisi lain, kadar Arsen (As) masih dalam batas aman dan yaitu 0,05 mg/L. Kadar merkuri (Hg) pada sampel sedimen Sungai Tobongon dan kolam limbah pengelolaan emas telah melampaui standar kualitas atau tercemar yang ditetapkan pedoman United States Environmental Protection Agency (USEPA), yang menetapkan batas 1 mg/kg. Kadar Arsen (As) pada sedimen Sungai Tobongon dan kolam limbah pengelolaan emas melampaui baku mutu sebesar 33 mg/kg yang ditetapkan oleh United States Environmental Protection Agency (USEPA).
2. Untuk melakukan penurunan kadar atau konsentrasi logam berat maka dapat dilakukan dengan menggunakan fitoremediasi, settling pond (kolam limbah bertingkat), Adsorpsi, Bioremediasi, Fitoremediasi adalah teknik yang memanfaatkan tanaman untuk menurunkan kadar logam berat dalam air atau tanah. Tanaman di daerah yang tercemar mempunyai kemampuan menyerap logam berat melalui akarnya. Kolam pengendapan bertingkat (Settling Pond) dapat dimanfaatkan untuk menurunkan konsentrasi logam berat dalam air limbah, sehingga mengurangi kandungan logam berat secara keseluruhan. Partikel logam berat akan mengendap

di dasar kolam sehingga mengakibatkan penurunan konsentrasi partikel tersebut pada air yang dibuang dari kolam. Pemanfaatan mikroorganisme untuk bioremediasi logam berat seperti merkuri dan arsenik merupakan pendekatan yang sangat efektif untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Mikroorganisme *Morganella morganii* dan *Pseudomonas sp.* menggunakan mekanisme biosorpsi dan biodegradasi untuk secara efektif menurunkan konsentrasi logam berat ke tingkat yang aman. Penelitian yang sedang berlangsung sedang dilakukan untuk lebih memajukan teknologi bioremediasi dengan menyelidiki kondisi lingkungan dan mengeksplorasi mikroorganisme yang lebih efisien.

Referensi

- Annisah Bounty, Herawaty Riogilang, & Isri Mangangka (2022). Analisa Potensi Pencemaran Merkuri Pada Sungai Ongkag Dumoga Akibat Kegiatan Pertambangan Emas Tanpa Izin (PETI). TEKNO
- Arifin, Y. I., Sakakibara, M., Sera, K., Fenty Usman, P., & Lihawa, F. (2020). Mercury exposure from small scale gold mining activities and neurological symptoms on inhabitants and miners: A case study in Bolaang Mongondow, North Sulawesi Province, Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 589(1).
- Effendi, H. (2003). Telaah Kualitas Air : Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Penerbit : Kanisius.
- Elsa Muchtar, Cindy Supit, & Herawaty Riogilang (2023). Analisis Pencemaran Merkuri Pada Perairan Sekitar Tambang Emas Rakyat Di Desa Tanoyan Selatan. TEKNO.
- KEPMENLH No. 202. (2004). Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 202 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan Kegiatan Pertambangan Bijih Emas dan atau Tembaga.
- Latha, A., & Reddy, S. (2013). REVIEW ON BIOREMEDIATION-POTENTIAL TOOL FOR REMOVING ENVIRONMENTAL POLLUTION. Dalam International Journal of Basic and Applied Chemical Sciences (Vol. 3, Nomor 3).
- Lusantono, O. W., & Hantari, Y. N. (2020). Artisanal and small-scale gold mining in Indonesia: A case study of Tobongon, East Bolaang Mongondow district, North Sulawesi province. AIP Conference Proceedings, 2245.
- Permen LH No.14 Tahun 2013 Tentang Simbol dan Label Bahan Berbahaya dan Beracun.
- Peraturan Pemerintah RI No. 82 tahun 2001. (2001). Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI Tentang Baku Mutu Air Sungai untuk
- Riogilang Herawaty, Hendra Riogilang dan Oskar Kaseke. (2017). Merkuri Sedimen Transport di Pantai Buyat Rataotok.
- Riogilang, Hendra. (2011). SOIL MERCURY SURVEY AT MAKAROYEN VILLAGE IN KOTAMOBAGU GEOTHERMAL FIELD, NORTH SULAWESI, INDONESIA. Jurnal Ilmiah Media Engineering, 6(1), 444– 447.
- Riogilang Hendra. 2016. Identifikasi Kandungan Merkuri pada Sistem Akuifer Bebas Hidrogeologi Desa Buyat. Jurnal LPPM Bidang Sains dan Teknologi. Volume 3 No.1.
- Rifai Renanda, Hendra Riogilang, & Cindy Supit (2022). Identifikasi Dan Analisis Penyebaran Sianida Pada Tambang Rakyat Di Desa Buyat, Bolaang Mongondow, Sulawesi Utara. Jurnal Sipil Statik.
- Riogilang, Hendra (2016). Soil Mercury Survey at Makaroyen Village in Kotamobagu Geothermal Field, North Sulawesi, Indonesia. Jurnal Ilmiah Media Engineering
- Riogilang, Herawaty. (2018). Analisis Kualitas Air Sungai dan Strategi Pengendalian Pencemaran Sungai di Nuangan Boltim
- Standar Nasional Indonesia 6989.57. 2008 Tentang Pengambilan Sampel Air. Standar Nasional Indonesia 6989.11. 2019 Tentang Pengujian pH.
- Supriyanto, C., Samin, & Kamal. (2007). Analisis Cemar Logam Berat Pb, Cu, dan Cd Pada Ikan Air Tawar dengan Metode Spektrofotometri Nyala Serapan Atom (SSA). Yogyakarta: Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir BATAN.
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2009 Tentang Pertambangan Mineral dan Batu Bara.
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Baku Mutu Lingkungan. United State Of America Enviromental Protection Agency. 2005. Uji merkuri dengan Metode Analisis Cold Vapour Atomic Fluoresence Spectrometry.