



Studi Penanganan Tailing Pada Pertambangan Emas Skala Kecil Di Kecamatan Kotabunan, Bolaang Mongondow Timur, Sulawesi Utara

Cethlin G. S. Tumanan^{#a}, Hendra Riogilang^{#b}, Isri R. Mangangka^{#c}

[#]Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
210211080011@student.unsrat.ac.id, ^bhendra.riogilang@unsrat.ac.id, ^cisri.mangangka@unsrat.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi pengelolaan timbunan tailing aktif (TTA) dan timbunan tailing tidak aktif (TTTA) pada pertambangan emas skala kecil di Kecamatan Kotabunan, Kabupaten Bolaang Mongondow Timur; menganalisis dampak pencemaran yang ditimbulkan; serta merumuskan rekomendasi pengelolaan tailing yang efisien. Penelitian dilaksanakan melalui survei lapangan, observasi, pengambilan sampel sedimen tailing dan air sungai pada lokasi TTA dan TTTA, serta analisis laboratorium menggunakan prosedur TCLP dan metode yang relevan untuk parameter merkuri (Hg), arsen (As) dan sianida (CN). Sampel dianalisis di laboratorium yang berwenang sesuai metode referensi yang digunakan dalam penelitian. Berdasarkan temuan tersebut direkomendasikan penerapan langkah teknis dan pengelolaan antara lain: desain bak/kolam penampungan tailing dengan lapisan kedap, penerapan teknik stabilisasi/solidifikasi atau pra-pengolahan bila akan menggunakan tailing sebagai material penimbun, penerapan metode fitoremediasi/bioremediasi pada area terkontaminasi, reklamasi dengan revegetasi, serta peningkatan pengawasan dan sosialisasi kepada pelaku tambang. Implementasi kombinasi teknis dan pengelolaan administratif diharapkan dapat mengurangi potensi pencemaran jangka panjang dan meningkatkan perlindungan lingkungan di wilayah studi.

Kata kunci: tailing, merkuri, Arsen, fitoremediasi, pertambangan, Kotabunan

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan kekayaan sumber daya alam mineral yang melimpah, termasuk emas, yang tersebar di berbagai wilayah. Pemanfaatan sumber daya mineral tersebut berkontribusi besar terhadap pembangunan nasional. Namun demikian, aktivitas pertambangan, khususnya pertambangan emas skala kecil yang banyak dilakukan secara tradisional oleh masyarakat, masih menjadi tantangan besar dalam aspek perlindungan lingkungan karena pengelolaan limbah yang umumnya belum memenuhi standar teknis. Di banyak daerah, termasuk Kecamatan Kotabunan di Kabupaten Bolaang Mongondow Timur, proses pengolahan emas masih menggunakan teknik amalgamasi yang memanfaatkan merkuri (Hg). Teknik ini dipilih karena mudah, murah, dan tidak memerlukan peralatan rumit, tetapi menghasilkan limbah tailing yang mengandung logam berat dan berpotensi mencemari tanah serta badan air apabila tidak ditangani secara memadai.

Pada praktiknya, tailing dibuang pada kolam sederhana tanpa lapisan kedap bahkan sebagian mengalir ke sungai terdekat, sehingga meningkatkan risiko paparan logam berat terhadap masyarakat dan ekosistem. Regulasi resmi, seperti Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara (Prof. Dr. Busyra Azheri, 2020), sebenarnya telah mengatur standar pengelolaan limbah, namun implementasinya pada pertambangan rakyat masih sangat terbatas. Menurut PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, tailing termasuk kategori Limbah B3, khususnya limbah dari industri pengolahan bijih mineral (kode B416), sehingga wajib dikelola melalui sistem pengendapan, penyimpanan, dan pengolahan yang memenuhi baku mutu lingkungan. Kondisi lapangan di Kotabunan menunjukkan bahwa standar tersebut belum diterapkan secara menyeluruh. Selain keterbatasan teknis dan fasilitas, kendala aturan turut memperburuk situasi

sehingga rentan menimbulkan kecelakaan kerja, risiko kesehatan, serta pencemaran lingkungan yang tidak terkendali (Sudiyarti et al., 2021).

Temuan ilmiah sebelumnya mendukung kekhawatiran terhadap risiko pencemaran akibat pertambangan emas skala kecil. Aulia et al. (2015) menemukan tailing amalgamasi di Kulon Progo memiliki kadar merkuri yang melebihi baku mutu TCLP dan meningkatkan toksisitas tanah. Penelitian lain di Bombana menunjukkan bahwa sistem penampungan tailing yang tidak kedap merupakan sumber utama sebaran merkuri pada badan air (Mining, 2017). Lebih lanjut, penelitian Rachman et al. (2023) menunjukkan bahwa tailing ASGM di Kulon Progo memiliki kadar merkuri tinggi dan melebihi ambang batas, namun metode stabilisasi/solidifikasi menggunakan tras soil dapat menurunkan mobilitas merkuri hingga berada di bawah batas TCLP. Selain risiko pada lingkungan, dampak terhadap kesehatan juga telah dibuktikan. Gundo et al. (2020) meneliti kandungan merkuri (Hg) pada air bersih, air limbah, dan air sungai di Desa Ratatotok Selatan, Minahasa Tenggara, dan menemukan bahwa meskipun kadar Hg pada air lingkungan masih di bawah Nilai Ambang Batas, terdapat 8 penambang yang memiliki kadar Hg urin melebihi NAB, serta beberapa sampel kuku dan rambut yang juga melampaui batas. Penelitian tersebut juga menemukan gejala kesehatan seperti mudah lelah, sakit kepala, tremor, dan gangguan pendengaran, menunjukkan bahwa paparan merkuri di wilayah pertambangan emas rakyat sudah berada pada tingkat waspada.

Kondisi serupa berpotensi besar terjadi di Kotabunan mengingat sistem pembuangan tailing yang masih terbuka dan tidak kedap. Limbah dibiarkan mengalir secara alami menuju sungai, sehingga risiko pencemaran logam berat melalui tanah, sedimen, dan air permukaan menjadi semakin tinggi. Selain merkuri, kandungan arsen (As) dan sianida (CN) pada proses pengolahan emas juga dapat memperburuk kualitas lingkungan. Keberadaan tailing aktif dan tailing tidak aktif di Kotabunan semakin memperuncing risiko pencemaran karena logam berat bersifat persisten dan dapat terakumulasi dalam sedimen dalam jangka panjang. Proses erosi, limpasan air hujan, serta remobilisasi sedimen dapat menyebabkan logam berat kembali memasuki sistem air permukaan.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan analisis lebih lanjut mengenai karakteristik tailing serta teknik penanganan yang tepat untuk mengurangi potensi pencemaran. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kondisi pengelolaan tailing pada pertambangan emas skala kecil di Kecamatan Kotabunan dengan menggunakan metode uji TCLP untuk menilai kandungan pencemar seperti merkuri (Hg), arsen (As), dan sianida (CN). Hasil analisis tersebut menjadi dasar dalam merumuskan rekomendasi teknis penanganan tailing yang sesuai dengan ketentuan regulasi serta prinsip perlindungan lingkungan. Selain memberikan kontribusi ilmiah terhadap kajian pengelolaan tailing, penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar perbaikan sistem penanganan limbah tambang di Kotabunan maupun wilayah pertambangan emas skala kecil lainnya di Indonesia.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif yang bertujuan menganalisis kondisi pengelolaan tailing pada pertambangan emas skala kecil di Kecamatan Kotabunan serta mengevaluasi kandungan logam berat menggunakan uji TCLP. Metode disusun agar pembaca dapat mengikuti proses analisis secara sistematis, mulai dari penentuan lokasi, pengumpulan data, hingga analisis laboratorium.

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di wilayah pertambangan emas rakyat di Desa Panang, Kecamatan Kotabunan, Kabupaten Bolaang Mongondow Timur, Sulawesi Utara, dengan koordinat $0^{\circ}49'38.3''\text{N}$ $124^{\circ}38'35.4''\text{E}$. Pengambilan sampel dilakukan pada dua titik utama, yaitu Timbunan Tailing Aktif (TTA) dan Timbunan Tailing Tidak Aktif (TTTA). Penentuan titik dilakukan berdasarkan kondisi lapangan serta keterwakilan lokasi pembuangan limbah.

2.2. Bahan dan Peralatan

Peralatan yang digunakan meliputi sarung tangan, masker, sekop, wadah sampel

(polypropylene, polyethylene, dan Teflon), label, alat tulis, serta kamera untuk dokumentasi visual. Seluruh peralatan disesuaikan dengan standar keamanan dan kebutuhan pengambilan sampel lingkungan.

2.3. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian terdiri dari:

- 1) Studi Lapangan.
- 2) Identifikasi dan klarifikasi potensi pencemaran limbah tailing.
- 3) Pemetaan dan pengambilan sampel tailing.
- 4) Tinjauan Lingkungan Pertambangan emas Kotabunuan .
- 5) Analisis Laboratorium.
- 6) Pengolahan Data.
- 7) Analisa Data.

2.4. Pengumpulan Data

Penelitian menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan, wawancara pekerja tambang, dokumentasi, serta pengambilan sampel tailing untuk diuji kandungan tekstur dan logam berat. Data sekunder meliputi jurnal, regulasi pemerintah, citra lokasi penelitian, dan literatur terkait ASGM. Penentuan titik sampel menerapkan Purposive Sampling, yaitu sampel dipilih berdasarkan pertimbangan peneliti agar mewakili karakteristik lokasi penelitian (Lenaini, 2021). Sampel tailing diambil berdasarkan SNI 6989-59-2008 mengenai pengambilan sampel air limbah industri.

2.5. Pengambilan dan Perlakuan Sampel

Sampel diambil dari TTA, TTTA, dan air sungai terdekat. Kedalaman sampel diukur di setiap titik, kemudian sampel dimasukkan ke wadah yang tidak reaktif, kuat, dan tidak bocor. Setiap wadah diberi kode untuk memastikan ketertelusuran data. Pengambilan sampel dilakukan dengan prosedur keselamatan kerja, termasuk penggunaan APD lengkap.

2.6. Analisis Laboratorium (Uji TCLP)

Pengujian logam berat dilakukan di Laboratorium PT BSPJI Manado menggunakan metode resmi sebagai berikut:

- 1) Hg (sedimen) : IK-1.42, metode CV-AAS
- 2) As (sedimen) : IK-2.69, AAS-Graphite Furnace
- 3) CN (cairan) : IK-1.35, Spektrofotometri
- 4) Hg (cairan) : SNI 6989.78-2019
- 5) As (cairan) : SNI 06-6989.54-2005

Prosedur uji mengikuti US-EPA Method 1311 (TCLP) untuk menentukan mobilitas kontaminan dalam limbah. Kriteria baku mutu merujuk pada PP No. 22 Tahun 2021, yaitu Hg TCLP A = 0,3 mg/L, Hg TCLP B = 0,05 mg/L; CN TCLP A = 21 mg/L, TCLP B = 3,5 mg/L.

2.7. Analisis Data

Metode pengolahan data dalam penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif melalui teknik survei yang mencakup wawancara, kuesioner, dan observasi. Data yang terkumpul dianalisis berdasarkan tujuan penelitian, kemudian diolah dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi serta menggambarkan kondisi lapangan secara faktual. Analisis utama dilakukan melalui peninjauan hasil uji TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) untuk menentukan karakteristik limbah beracun sebagaimana diatur dalam PP No. 22 Tahun 2021. Sampel diuji di Laboratorium PT BSPJI Manado dengan prosedur yang mengacu pada US-EPA Method 1311. Baku mutu TCLP A dan B yang digunakan sebagai acuan adalah 0,3 mg/L dan 0,05 mg/L untuk merkuri, serta 21 mg/L dan 3,5 mg/L untuk sianida.

3. Kajian Literatur

Konsep pertambangan dalam konteks nasional dijelaskan melalui Pasal 1 nomor 1 Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara yang mendefinisikan pertambangan sebagai rangkaian aktivitas yang terdiri atas penelitian, pengelolaan, dan pengusahaan mineral atau batubara, mencakup penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan, penjualan, serta kegiatan pascatambang (Dewi, 2020). Undang-undang tersebut juga menjelaskan istilah-istilah penting terkait mineral, pertambangan mineral, pertambangan batubara, usaha pertambangan, izin usaha pertambangan (IUP), izin pertambangan rakyat, eksplorasi, studi kelayakan, operasi produksi, amdal, reklamasi, dan pascatambang. Pemahaman mengenai konsep dasar ini penting karena menjadi landasan pengaturan teknis, perizinan, serta manajemen lingkungan dalam kegiatan pertambangan.

Pertambangan emas rakyat di Indonesia mencakup kegiatan penambangan dan pengolahan bijih emas yang dilakukan oleh masyarakat secara individu maupun kelompok, seperti yang tercantum dalam PP No. 1 Mentaben Tahun 1991 (Peraturan Menteri Pertambangan dan Energi NOMOR: 06 P/0746/M.PE/1991, 1991). Aktivitas ini tersebar di berbagai daerah seperti Aceh Selatan, Sumatera Utara, Jawa Barat, Jawa Tengah, Sulawesi, Maluku, Nusa Tenggara Barat, hingga Papua. Operasional pertambangan emas rakyat mencakup pengambilan bijih emas serta proses pengolahannya. Proses tersebut menghasilkan limbah batuan samping dan limbah tailing, yang apabila tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Teknik yang paling umum digunakan masyarakat adalah amalgamasi dan sianidasi, yang keduanya melibatkan bahan kimia berbahaya dan berpotensi mencemari tanah serta air.

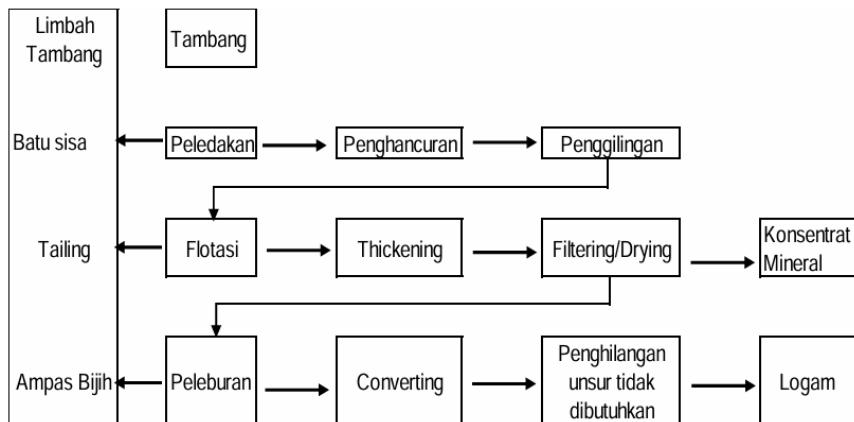
Kegiatan pertambangan memberikan dampak signifikan terhadap lingkungan, mencakup aspek fisik, biologi, dan sosial-ekonomi. Secara fisik, pembukaan lahan menyebabkan hilangnya tutupan vegetasi sehingga meningkatkan potensi erosi dan menurunkan kualitas tanah. Secara biologi, hilangnya habitat mengancam keberlangsungan flora dan fauna endemik. Sementara itu, dari aspek sosial dan ekonomi, pertambangan dapat membuka lapangan kerja serta meningkatkan perputaran ekonomi lokal, tetapi juga membawa perubahan budaya melalui masuknya pendatang serta persaingan dalam pemanfaatan sumber daya. Perubahan ini dapat menimbulkan tekanan sosial apabila tidak dikelola secara baik.

Amalgamasi merupakan teknik pengolahan emas yang paling umum digunakan di pertambangan rakyat. Proses ini merupakan percampuran antara emas dan merkuri menggunakan glondong, di mana aliran air digunakan untuk memisahkan batuan halus dan amalgamasi sebelum dialirkan ke kolam penampungan. Sebagian aliran bahkan terhubung langsung ke sungai (Wulandari et al., 2024). Kegiatan pengolahan ini menghasilkan limbah tailing yang dapat tercercer di lingkungan karena kapasitas kolam penampungan yang terbatas atau tidak kedap. Tailing hasil amalgamasi ini mengandung merkuri sehingga berpotensi memberikan dampak besar terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Selain amalgamasi, proses pengolahan emas menggunakan sianida juga umum ditemukan. Dalam teknik sianidasi, setiap ton pasir atau bijih emas dicampur dengan 1–2 kg natrium sianida (NaCN), kemudian diaduk sehingga menghasilkan ion kompleks emas-sianida $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ dan perak-sianida $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ melalui reaksi kimia (2.1) hingga (2.3). Setelah proses tersebut, larutan yang mengandung logam mulia dipisahkan dari padatannya, sedangkan larutan sianida dapat menghasilkan limbah B3 yang memiliki potensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Dalam kondisi asam, sianida dapat terhidrolisis menjadi HCN yang bersifat sangat beracun. Mengingat potensi bahayanya, penggunaan sianida memerlukan peralatan K3 yang memadai untuk melindungi pekerja dari paparan yang mematikan (Usaha et al., 1907).

Limbah tailing sendiri didefinisikan sebagai sisa padatan atau slurry dari proses pengolahan mineral. Menurut PP No. 18 Tahun 1999 dan PP No. 22 Tahun 2021, tailing tergolong sebagai limbah khusus dan termasuk dalam kategori limbah B3 dengan kode D222 (P.P. NO. 18 TAHUN 1999, 1999). Secara umum, tailing memiliki porositas tinggi, kapasitas memegang air rendah, struktur yang tidak stabil, kandungan bahan organik yang rendah, serta sedikit unsur hara sehingga tidak mendukung produktivitas lahan. Secara mineralogi, tailing terdiri dari mineral seperti silika, silikat besi, magnesium, natrium, kalium, dan sulfida, di mana sulfida dapat teroksidasi menghasilkan air asam tambang yang membawa logam berat seperti As, Hg, Pb, dan Cd yang sangat beracun (Manoppo et al., 2024). Berikut ialah skema terbentuknya *tailing* pada

aktivitas pertambangan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Pembentukan Tailing

Dampak limbah tailing terhadap lingkungan sangat signifikan karena kandungan logam berat di dalamnya tidak dapat terurai secara alami dan cenderung terakumulasi dalam tanah dan badan air. Logam berat seperti merkuri, arsen, tembaga, dan timbal memiliki efek toksik dan dapat mengganggu kesehatan manusia. Air yang terkontaminasi merkuri dapat menyebabkan bronkitis dan gangguan paru-paru, arsen dapat menyebabkan gagal ginjal dan kanker, tembaga menyebabkan diare serta sakit perut, sedangkan timbal dapat menurunkan IQ serta merusak sistem saraf dan reproduksi (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020).

Komposisi tailing juga mencakup berbagai elemen logam seperti tembaga (Cu), timbal (Pb), seng (Zn), besi (Fe), serta mineral galena (PbS) yang merupakan sumber utama timah hitam (Majalis et al., 2022). Oleh karena itu, mengetahui karakteristik tailing menjadi langkah penting untuk menentukan metode pengelolaan yang efektif.

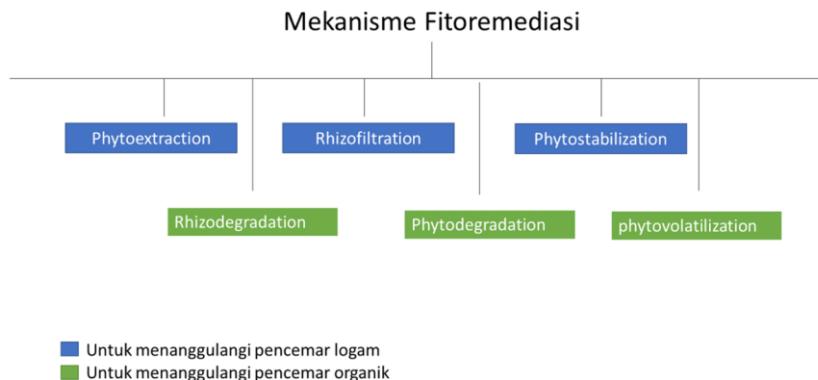
Merkuri (Hg), salah satu logam berat yang umum ditemui pada aktivitas pertambangan emas, merupakan logam cair pada suhu kamar dan membentuk berbagai senyawa anorganik maupun organik (Riogilang, 2016). Merkuri bersifat sangat toksik dalam berbagai bentuknya, baik sebagai logam maupun senyawanya, dan dapat terakumulasi di lingkungan. Toksisitas merkuri terkait paparan melalui pernapasan, kulit, maupun konsumsi makanan, sehingga keberadaannya pada proses amalgamasi menjadi isu penting untuk ditangani (Nazmi, 2011). Selain merkuri, sianida juga merupakan bahan kimia berbahaya yang digunakan dalam proses pemisahan emas dari bijih. Senyawa ini sangat reaktif dan pada kondisi pH rendah berubah menjadi HCN yang sangat beracun. Pengelolaan sianida dalam kegiatan pertambangan harus memperhatikan aspek keselamatan dan lingkungan (Usaha et al., 1907).

Arsen (As) juga merupakan logam berat berbahaya yang sering ditemukan pada lingkungan tambang. Arsen dapat masuk ke tubuh manusia melalui makanan, alat masak, atau tanaman yang terkontaminasi, dan dapat menyebabkan gangguan kesehatan serius, termasuk kanker (Pantow dkk, 2018). Untuk menilai tingkat toksisitas tailing, digunakan uji TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) yang menguji mobilitas kontaminan dalam limbah. Metode TCLP digunakan untuk menentukan apakah limbah termasuk kategori beracun sesuai PP No. 22 Tahun 2021 (Lingkungan, 2015). Baku mutu TCLP A dan TCLP B untuk logam merkuri menjadi acuan untuk menentukan kelayakan penanganan limbah tersebut.

Secara teknis, pengelolaan tailing dapat dilakukan melalui berbagai cara seperti pembangunan kolam penampungan limbah yang memadai, penyuluhan teknik penambangan ramah lingkungan, pemilihan metode penambangan tertutup, penimbunan kembali lubang bekas tambang, serta remediasi lahan yang tercemar merkuri (Perkebunan et al., 2025). Reklamasi juga menjadi bagian penting dari pengelolaan lingkungan tambang. Kegiatan ini mencakup penataan, pemulihan, dan perbaikan kualitas lingkungan sehingga dapat kembali berfungsi sesuai peruntukannya, termasuk melalui revegetasi area tailing (Lusia et al., 2023).

Fitoremediasi merupakan salah satu metode yang efektif dan berbiaya rendah untuk mengurangi pencemaran logam berat menggunakan tumbuhan. Teknologi ini mampu menangani berbagai polutan termasuk logam berat dan bahan berbahaya lainnya (Paulina & Faradika, 2024).

Fitoremediasi memanfaatkan proses alami berbasis energi matahari, sehingga sangat sesuai diterapkan pada lokasi dengan tingkat kontaminasi rendah hingga sedang dan kedalaman dangkal. Teknologi ini dapat diaplikasikan untuk berbagai jenis kontaminan lingkungan dan, dalam beberapa kasus, menjadi alternatif yang efektif menggantikan metode remediasi mekanis.



Gambar 2. Bagan Mekanisme Fitoremediasi

Mekanisme fitoremediasi meliputi phytoextraction, rhizofiltration, dan phytostabilization, yang telah diterapkan di berbagai negara dan menjadi alternatif remediasi yang ramah lingkungan (Rahman & Hasegawa, 2011).

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Sumber Kontaminan

Sumber utama kontaminan di lokasi penelitian berasal dari proses pengolahan emas menggunakan metode amalgamasi berbasis merkuri. Proses ini menghasilkan material sisa berupa tailing yang dibuang ke lingkungan sekitar. Pengelolaan tailing di wilayah Kotabunan belum memenuhi standar teknis sebagaimana diatur dalam PP No.22 Tahun 2021 sehingga meningkatkan potensi pencemaran logam berat dan senyawa berbahaya lainnya. Selain itu, observasi lapangan menunjukkan tailing ditimbun pada area terbuka tanpa lapisan kedap, sehingga memperbesar kemungkinan infiltrasi dan kontaminasi tanah serta badan air di sekitarnya.

4.2. Proses Pengolahan Emas

Pengolahan emas menggunakan merkuri dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu penghancuran ore, penggilingan dalam gelundung, proses amalgamasi, pemerasan, dan pembakaran. Pada tahap gelundung, merkuri dicampur dengan batuan halus untuk mengikat logam emas. Limpasan air pencucian gelundung mengandung residu merkuri yang langsung mengalir menuju kolam tailing, bahkan sebagian meresap ke tanah ketika kolam tidak kedap. Pembakaran amalgam menghasilkan uap merkuri yang bersifat volatil, sehingga berpotensi mencemari udara dan mengendap kembali ke tanah dan air melalui deposisi basah. Kondisi ini memperkuat temuan bahwa kontaminasi di lokasi penelitian sangat erat kaitannya dengan praktik pengolahan emas tersebut.

4.3. Perbandingan Pengelolaan Emas: Amalgamasi vs Sianidasi CIP

Metode amalgamasi memiliki keunggulan dalam kesederhanaan proses dan biaya rendah, namun limbah merkuri bersifat persisten, toksik, dan tidak dapat terurai secara alami sehingga mencemari tanah maupun organisme biotik (Wulandari et al., 2024). Sebaliknya, metode sianidasi CIP mampu menangkap emas hingga 90% dan sisa sianida dapat terdegradasi oleh sinar UV, sehingga secara ilmiah lebih aman bagi lingkungan selama pengolahan mengikuti SOP (Usaha et al., 1907). Perbandingan ini menunjukkan bahwa pilihan teknologi memengaruhi pola kontaminasi dan tingkat risiko terhadap ekosistem.

4.4. Kondisi Limbah Tailing Kotabunan

Tailing hasil pengolahan emas di Kotabunan membentuk timbunan luas di sekitar lokasi penambangan. Berdasarkan PP No.22 Tahun 2021, penimbunan limbah B3 wajib dikelola untuk mencegah pencemaran. Namun, temuan lapangan menunjukkan tidak adanya fasilitas pengelolaan berstandar seperti bak kedap atau sistem drainase terkontrol. Bentuk cekungan timbunan yang tidak terkelola meningkatkan risiko resapan logam berat ke tanah, terutama pada area timbunan tailing tidak aktif (TTTA) yang telah mengalami pelapukan.

Hasil Pemeriksaan Sampel di Laboratorium

Tabel 1. Hasil Analisis Laboratorium Tahun 2025

NO.	PARAMETER	LOKASI	HASIL	SATUAN	METODE PENGUJIAN
1	Raksa (Hg)	Timbunan Tailing Aktif	16,18	Mg/Kg	IK-1.42 Pengujian Hg menggunakan CV-AAS
2	Arsen (As)	Timbunan Tailing Aktif	34,09	Mg/Kg	IK-2.69 (AAS-Graphite Furnace)
NO.	PARAMETER	LOKASI	HASIL	SATUAN	METODE PENGUJIAN
1	Raksa (Hg)	Timbunan Tailing Tidak Aktif	90,38	Mg/Kg	IK-1.42 Pengujian Hg menggunakan CV-AAS
2	Arsen (As)	Timbunan Tailing Tidak Aktif	72,11	Mg/Kg	IK-2.69 (AAS-Graphite Furnace)
NO.	PARAMETER	LOKASI	HASIL	SATUAN	METODE PENGUJIAN
1	Raksa (Hg)	Aliran Air Sungai	< 0,0001	Mg/L	SNI 6989.78-2019
2	Arsen (As)	Aliran Air Sungai	0,0185	Mg/L	SNI 06-6989.54-2005
3	Sianida (CN)	Aliran Air Sungai	0,02	Mg/L	IK - 1.35 (Spektrofotometri)

Temuan utama:

- Kandungan Hg dan As pada TTTA jauh lebih tinggi dibanding TTA, menunjukkan akumulasi jangka panjang akibat tidak adanya pengelolaan tailing.
- Kandungan Hg di air sungai sangat rendah (<0,0001 mg/L), kemungkinan karena pengenceran alami, adsorpsi sedimen, atau jarak lokasi sampling yang jauh dari sumber tailing.
- Kandungan As dan CN dalam air masih berada pada tingkat yang dapat ditoleransi untuk baku mutu tertentu, namun tetap berpotensi meningkat apabila sistem penanganan limbah tidak diperbaiki.

Secara ilmiah, konsentrasi logam berat yang tinggi pada sedimen menunjukkan adanya retensi kuat oleh partikel halus tailing, sejalan dengan literatur bahwa logam berat yang bersifat kationik mudah terikat pada mineral sulfida dan silikat (Manoppo et al., 2024).

Deskripsi Hasil Pengambilan Sampel Tailing

Pengambilan sampel dilakukan pada TTA dan TTTA menggunakan metode Purposive Sampling (Lenaini, 2021). Tailing menunjukkan karakteristik fisik berupa warna kecokelatan, tekstur halus, dan kandungan air tinggi. Tingginya kadar Hg dan As di TTTA mengindikasikan bahwa logam berat tertahan dalam sedimen dan tidak mengalami pelindian cepat karena sifat tanah yang relatif liat. Kondisi ini mendukung teori bahwa tailing bersifat porositas tinggi namun miskin bahan organik, sehingga sulit mengalami degradasi alami (Budianta et al., 2013).

Karakteristik Sampel

Karakteristik kimia tailing sesuai dengan profil limbah B3 yang mengandung sisa bahan berbahaya dari proses amalgamasi. Penyimpanan tailing tidak mengikuti Keputusan Kepala Bapedal 01/1995 sehingga risiko pencemaran meningkat. Air sungai yang keruh menunjukkan adanya suspensi sedimen halus yang berpotensi membawa logam berat secara mobil.

4.5. Pengaruh Pertambangan Emas Rakyat terhadap Lingkungan

Penggunaan merkuri memiliki dampak lingkungan signifikan. Merkuri bersifat volatil, terakumulasi pada biota, dan tidak terdegradasi secara alami (Nazmi, 2011). Pembakaran amalgam melepaskan Hg ke udara, sedangkan pembuangan tailing melepaskan Hg dan As ke tanah dan air. Hal ini sesuai dengan temuan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2020) bahwa logam berat dapat berpindah melalui rantai makanan dan menyebabkan gangguan kesehatan, termasuk penurunan IQ, kerusakan hati, paru-paru, dan ginjal. Temuan lapangan memperkuat hipotesis bahwa kegiatan pertambangan rakyat adalah sumber utama kontaminasi di Kotabunan.

4.6. Rekomendasi Penanganan Limbah Tailing

Reklamasi Tambang

Revegetasi menggunakan spesies cepat tumbuh terbukti efektif dalam pemulihan area tailing (Harahap, 2016). Keberhasilan PT Vale dalam reklamasi menunjukkan bahwa kombinasi tanaman endemik dan leguminosa mempercepat rehabilitasi lahan.

Penimbunan Lubang Bekas Tambang

Metode backfilling, khususnya Cemented Tailing Backfill (CTB)—secara ilmiah efektif meningkatkan stabilitas geoteknik dan mengurangi mobilisasi logam berat (He et al., 2022; Yin et al., 2023). Untuk Kotabunan, CTB direkomendasikan pada lubang dalam >50 m.

Bak Penampungan Tailing

Kolam pengendapan sederhana perlu ditingkatkan dengan lapisan kedap, drainase, serta pengelolaan lumpur periodik (Damanhuri, 2018). Volume kolam dapat dihitung menggunakan rumus Dirjen Minerba (2017).

Fitoremediasi

Tanaman seperti Paspalum conjugatum, Imperata cylindrica, Vetiveria zizanioides, dan Eichhornia crassipes mampu menyerap Hg, Pb, dan CN (Mahmud et al., 2009). Mekanisme phytoextraction, rhizofiltration, dan phytostabilization efektif pada tailing berkadar rendah hingga sedang (Paulina & Faradika, 2024).

Stabilisasi/Solidifikasi (S/S)

S/S menggunakan semen, fly ash, atau zeolit dapat mengikat logam berat melalui fiksasi kimia, adsorpsi, dan enkapsulasi (Paria & Yuet, 2006). Metode ini cocok untuk tailing Kotabunan sebelum digunakan sebagai material penimbun.

Valorisasi Tailing

Pemanfaatan tailing sebagai batako, bahan campuran beton, atau material AAC telah terbukti secara ilmiah mengurangi limbah dan menghasilkan material ramah lingkungan (Riogilang & Masloman, 2009).

5. Kesimpulan

Tailing pada lokasi penelitian ditimbun secara sederhana tanpa memenuhi ketentuan teknis pengelolaan limbah B3 sehingga tailing aktif masih menjadi lokasi pembuangan, sedangkan tailing tidak aktif dibiarkan dan berpotensi menjadi sumber pencemar. Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa timbunan tailing aktif mengandung merkuri (Hg) sebesar 16,18 mg/kg dan arsen (As) 34,09 mg/kg, sedangkan tailing tidak aktif mengandung merkuri (Hg) 90,38 mg/kg dan arsen (As) 72,11 mg/kg, dimana seluruh nilai tersebut telah melebihi baku mutu sehingga berpotensi mencemari tanah dan perairan sekitar. Untuk meminimalkan dampak pencemaran, pengelolaan dapat dilakukan melalui upaya pengembalian tailing ke lubang tambang, pembangunan bak penampungan tailing dengan lapisan kedap agar air limbah dapat diolah sebelum dibuang ke badan air, penerapan metode bioremediasi dan fitoremediasi, serta reklamasi lahan melalui revegetasi agar fungsi ekologis dapat dipulihkan.

Referensi

- Aulia, I., Trihadiningrum, Y., Cara, T., Penyimpanan, T., Limbah, P., & Berbahaya, B. (2015). Stabilisasi / Solidifikasi Timbunan Tailing Penambangan. 5(2).
- Budianta, D., Gofar, N., & Andika, G. (2013). Improvement of Sand Tailing Fertility Derived from Post Tin Mining. Tropical Soils, 18(3), 217–223. <https://doi.org/10.5400/jts.2013.18.3.217>
- Dewi, R. S. (2020). Regulasi Pertambangan. Jurnal Fakultas Hukum Universitas Tulungagung, 39–56.
- Gundo, I. S. D., Polii, B. J. V., Umboh, J. M. L., Studi, P., Kesehatan, I., Pascasarjana, P., Sam, U., & Tenggara, A. (2020). Journal of, 1, 13–18.
- Harahap, F. R. (2016). Restorasi Lahan Pasca Tambang Timah di Pulau Bangka. Society, 4(1), 61–69. <https://doi.org/10.33019/society.v4i1.36>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2020). Penggunaan Merkuri dan Dampaknya terhadap Lingkungan serta Sebaran Lokasi Pertambangan Emas Skala Kecil. KLHK.
- Lenaini, I. (2021). Teknik Pengambilan Sampel Purposive dan Snowball Sampling. HISTORIS, 6(1), 33–39.
- Majalis, A. N., Mohar, R. S., Novitasari, Y., & Hardianti, A. (2022). Pengolahan Tailing Sianidasi Bijih Emas dengan Proses Oksidasi–Presipitasi. Jurnal Ilmu Lingkungan, 20(4), 757–768.
- Manoppo, N. N. A., Riogilang, H., & Riogilang, H. (2024). Identifikasi Kadar Merkuri (Hg) dan Arsen (As) di Sungai Desa Tobongan Kabupaten Bolaang Mongondow Timur. Tekno, 22(89), 1559–1568. <https://doi.org/10.35793/jts.v22i89.57417>
- Mining, S. G. (2017). Current Mercury Exposure from Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Bombana, Southeast Sulawesi, Indonesia—Future Significant Health Risks.
- Nazmi, A. S. (2011). Karakterisasi dan Penentuan Kandungan Limbah Tailing Pertambangan Emas Rakyat di Daerah Selogiri Kabupaten Wonogiri Jawa Tengah. Skripsi, 68–83.
- P.P. No. 18 Tahun 1999. (1999). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.
- Pantow, dkk. (2018). Dampak Arsen terhadap Kesehatan Manusia. Jurnal Kesehatan Lingkungan.
- Paulina, M., & Faradika, M. (2024). Fitoremediasi dengan Berbagai Jenis Tumbuhan: Review. Journal of Global Forest and Environmental Science, 4(1), 127–131.
- Peraturan Menteri Pertambangan dan Energi Nomor 06 P/0746/M.PE/1991. (1991). Pertambangan Emas Rakyat.
- Perkebunan, D. I., Dearah, J., & Sumbawa, K. (2025). Rekomendasi reklamasi berbasis lingkungan di lubang bukaan bekas pertambangan rakyat di Perkebunan Jagung Daerah Kabupaten Sumbawa. Jurnal Lingkungan, 6(1), 53–57.
- Rachman, R. M., Mangidi, U., & Trihadiningrum, Y. (2023). Solidification and stabilization of mercury-contaminated tailings in artisanal and small-scale gold mining using tras soil. Journal of Degraded and Mining Lands Management, 10(4), 4575–4582.
- Riogilang, H. (2016). Identifikasi Kandungan Merkuri. Jurnal Teknologi Mineral, 3, 10–18.
- Riogilang, H., & Masloman, H. (2009). Pemanfaatan Limbah Tambang untuk Bahan Konstruksi Bangunan. Jurnal Ekoton, 9(1), 69–73.
- Sudiyarti, N., Fitriani, Y., & Jusparnawati, J. (2021). Analisis Dampak Sosial Ekonomi Keberadaan Tambang Emas Rakyat terhadap Masyarakat Desa Lito. Jurnal Ekonomi & Bisnis, 9(2), 152–160.
- Usaha, A., Emas, P., Daerah, D. I., Kao, T., & Simange, S. M. (1907). Penyebaran Merkuri dan Sianida Akibat Usaha Pertambangan Emas di Daerah Teluk Kao, Kabupaten Halmahera Utara.
- Wulandari, M. N., Gunawan, R., Studi, P., Pertambangan, T., Cordova, U., Studi, P., Pertambangan, T., Teknik, F., Tenggara, U. S., Taliwang, K., Barat, K. S., Nusa, P., Barat, T., Amalgamasi, P., & Emas, P. (2024). Minetech, 3(109), 118–126.