



Analisis Pencemaran Merkuri Pada Perairan Sekitar Tambang Emas Rakyat Di Desa Tanoyan Selatan

Elsa Muchtar^{#a}, Cindy J. Supit^{#b}, Herawaty Riogilang^{#c}

[#]Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^aelsamuchtar180601@gmail.com, ^bcindyjeanesupit@unsrat.ac.id, ^chera28115@gmail.com

Abstrak

Tersedianya keberadaan sumber daya mineral berupa emas di Desa Tanoyan Selatan menyebabkan masyarakat Desa Tanoyan Selatan sebagian besar berprofesi sebagai penambang. Aktivitas pertambangan emas rakyat ini menggunakan logam berat merkuri untuk proses pengelolaan yang dimana merkuri ini dapat mengakibatkan timbul berbagai masalah seperti gangguan kesehatan pada manusia, pencemaran dan kerusakan pada lingkungan serta keracunan bagi makhluk hidup lainnya. Pada penelitian ini menggunakan penelitian kualitatif karena peneliti melakukan analisis mendalam terhadap pencemaran merkuri sekitar tambang emas rakyat di Desa Tanoyan Selatan dan peneliti melakukan wawancara mendalam kepada pemerintah, pemilik tambang dan masyarakat di Desa Tanoyan Selatan. Untuk mengetahui kadar merkuri pada perairan di sekitar tambang emas rakyat Desa Tanoyan Selatan peneliti melakukan pengambilan sampel dan pengujian sampel sungai, kolam limbah pertambangan emas rakyat dan sumur di laboratorium Water Laboratory Nusantara (WLN) Manado dengan baku mutu untuk sungai mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI dan baku mutu untuk kolam limbah mengacu pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 202 Tahun 2004. Hasil Analisis kadar merkuri yang diperoleh yaitu untuk titik 1 0,0001 mg/L, titik 2 <0,00005 mg/L, titik 3 <0,00005 mg/L, titik 4 0,00006 mg/L dan titik 5 <0,00005 mg/L. Kadar merkuri pada tiap titik pengambilan sampel tersebut masih memenuhi baku mutu. Namun, untuk menghindari terjadinya peningkatan kadar merkuri, kerusakan lingkungan, gangguan terhadap kesehatan bagi manusia dan keracunan bagi makhluk hidup lainnya maka perlu dilakukan upaya pencegahan dan penanganan seperti Fitoremediasi dengan tanaman, bioaugmentasi dengan bakteri dan Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL) industri kecil.

Kata kunci: Merkuri (Hg), pertambangan emas rakyat, Desa Tanoyan Selatan, fitoremediasi, bioaugmentasi dengan bakteri, IPAL

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Pertambangan emas merupakan suatu kegiatan mencari lokasi yang mengandung emas, mengangkut emas dari lokasi keberadaan emas ke lokasi pengelolaan emas, melakukan pengelolaan dan pemurnian terhadap emas yang ditemukan serta menjual emas ke konsumen. Pertambangan emas rakyat tersebar diseluruh pelosok Indonesia terutama di daerah Sulawesi, Kalimantan, Sumatra dan Jawa. Saat ini diketahui terdapat lebih dari 60.000 pertambangan emas rakyat (Muryani, 2019). Semakin berkembangnya pertambangan emas ini banyak masyarakat sekitar lokasi tambang yang beralih profesi menjadi penambang dan mengantungkan kehidupan perekonomiannya pada sektor tambang secara konvensional. Meskipun kegiatan ini memberikan lapangan pekerjaan yang luas bagi masyarakat namun banyak resiko yang dihadapi pada kegiatan ini, seperti ketidakpastian dalam menemukan lokasi keberadaan emas, biaya produksi emas yang tidak pasti, teknologi yang kurang memadai, sumber daya manusia yang rendah dan terjadinya pencemaran serta kerusakan lingkungan (Bakri, 2018). Desa Tanoyan Selatan terletak di Kecamatan Lolayan, Kabupaten Bolaang Mongondow, Provinsi Sulawesi Utara. Proses

pemurnian bijih emas (leaching emas) di desa ini menggunakan merkuri. Sebelum mengenal pertambangan emas masyarakat di desa ini banyak yang berprofesi sebagai petani dan peternak. Namun setelah ditemukannya pertambangan emas sebagian besar masyarakat beralih profesi menjadi penambang. Akibatnya lingkungan sumber daya alam yang digali secara illegal mengalami penurunan kualitas lingkungan. Pertambangan emas rakyat perlu dilakukan pemulihan terhadap penurunan kualitas lingkungan. Menurut Polii dan Sonya (2002), Lingkungan yang terkontaminasi dengan kandungan merkuri mengakibatkan terjadi kerusakan terhadap lingkungan. Selain itu sumur dan sungai yang terkontaminasi merkuri dan digunakan untuk sumber aktivitas manusia dapat menyebabkan muncul penyakit seperti stroke, kanker dan lainnya. Untuk mencegah terjadinya penyakit yang diakibatkan oleh logam berat, kerusakan dan pencemaran lingkungan yang semakin melebar maka perlu dilakukan pendataan sedini mungkin mengenai persebaran logam berat di lingkungan. Pendataan ini dapat dijadikan acuan mengenai penggunaan logam berat yang berpotensi terhadap perubahan fisik lingkungan selain itu perlu dilakukan penanganan untuk mengurangi pencemaran logam berat pada lingkungan (Setiabudi, 2015).

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana kandungan/konsentrasi merkuri pada perairan di sekitar tambang emas rakyat Desa Tanoyan Selatan ?
2. Bagaimana upaya penanganan untuk menurunkan kadar atau konsentrasi merkuri yang dapat dilakukan pada perairan di sekitar tambang emas rakyat Desa Tanoyan Selatan?

1.3. Batasan Masalah

1. Metode Pengambilan sampel yang digunakan SNI 6989.57 Tahun 2008.
2. Metode Pengujian Merkuri mengacu pada metode referensi USEPA-245-7(2005).
3. Parameter yang akan di uji adalah merkuri.
4. Sampel yang diuji adalah sampel air.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kandungan/konsentrasi merkuri pada perairan di sekitar tambang emas rakyat Desa Tanoyan Selatan.
2. Mengetahui upaya penanganan untuk menurunkan kadar atau konsentrasi merkuri yang dapat dilakukan pada perairan di sekitar tambang emas rakyat Desa Tanoyan Selatan.

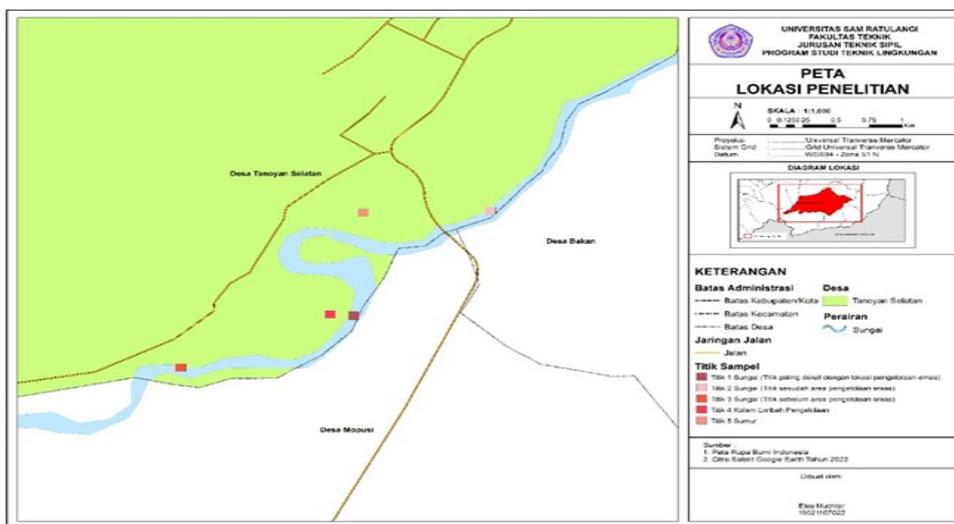
1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat menjadi referensi bagi pemerintah dalam menentukan kebijakan penggunaan merkuri pada kegiatan pertambangan dan pencegahan pencemaran pada lingkungan.
2. Diharapkan dapat menumbuhkan kesadaran akan pentingnya pengelolaan limbah pertambangan yang benar.
3. Dapat memberikan manfaat ilmiah bagi peneliti selanjutnya untuk melakukan penelitian lain yang sejenis agar dapat memecahkan masalah pada penelitian.

2 Metode Penelitian

2.1 Tempat Penelitian

Lokasi penelitian berada di Desa Tanoyan Selatan, Kabupaten Bolaang Mongondow, Provinsi Sulawesi Utara. Tepatnya penelitian ini dilakukan di area pengelolaan emas rakyat Desa Tanoyan. Peta lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 1.



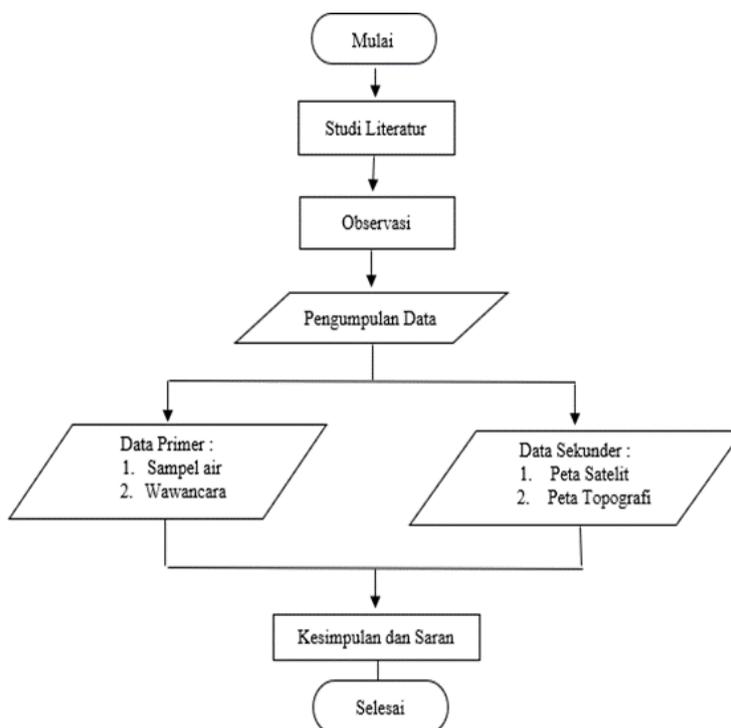
Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2 Pengumpulan Data

Data primer yang dibutuhkan berupa sampel air dan wawancara. Untuk pengambilan sampel air terlebih dahulu dilakukan penentuan titik. Penentuan titik pengambilan sampel ini dilakukan menggunakan metode purposive sampling. Pengumpulan data penelitian dilakukan wawancara untuk mendapatkan informasi mengenai penelitian. Pengambilan sampel mengacu pada SNI 6989.57 Tahun 2008 dan pengujian sampel air dilakukan di Water Laboratory Nusantara (WLN) Manado. Untuk pengujian pH mengacu pada SNI 6989.11 Tahun 2019. Data sekunder yang digunakan yaitu peta satelit dan peta topografi.

2.3 Prosedur Penelitian

Kegiatan penelitian dilakukan sesuai alur pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pemeriksaan Parameter pH pada Perairan Sekitar Pengelolaan Emas di Desa Tanoyan Selatan

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 pH dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pemeriksaan pH pada Lokasi Penelitian

Lokasi	pH	Baku Mutu
Sungai (titik I)	7,20	6-9
Sungai (titik II)	7,81	6-9
Sungai (titik III)	7,84	6-9
Sumur (titik IV)	7,69	6-9
Kolam limbah pengelolaan emas (titik V)	7,46	6-9

Berdasarkan hasil pengujian pH pada tabel tersebut yang dilakukan peneliti dilapangan nilai pH pada sungai, sumur dan kolam pengelolaan masih memenuhi baku mutu. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa pH yang paling rendah terdapat pada titik I. pH yang rendah bisa diakibatkan karena lokasi titik pengambilan sampel yang paling dekat dengan lokasi pengelolaan emas atau lokasi tersebut masih berada di sekitar area pengelolaan emas sehingga terdapat limbah yang terbuang ke titik sampel tersebut. Air yang memiliki pH yang tergolong rendah atau asam mengakibatkan merkuri lebih terlarut dibandingkan pada pH yang tergolong tinggi atau basa sehingga terjadi pening katan toksisitas merkuri pada air. Pada tabel tersebut pH yang paling tinggi terdapat pada titik III. Air yang memiliki pH yang tergolong tinggi atau basa dapat membentuk amonium hidroksida yang dapat membahayakan organisme pada perairan. Apabila air memiliki pH normal maka dapat mengakibatkan merkuri berikatan dengan anion yang membentuk kompleks organologam yang mengendap ke bagian paling dasar perairan dan merkuri stabil pada perairan (Palar, 1994).

3.2 Hasil Pemeriksaan Parameter Suhu pada Perairan Sekitar Pengelolaan Emas di Desa Tanoyan Selatan

Baku mutu data hasil analisis suhu pada perairan sungai mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI Kelas II. Hasil Pemeriksaan suhu dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pemeriksaan Suhu pada Lokasi Penelitian

Lokasi	Suhu	Baku Mutu
Sungai (titik I)	27,8°C	25°C- 32°C
Sungai (titik II)	28,5°C	25°C- 32°C
Sungai (titik III)	29,6°C	25°C- 32°C
Sumur (titik IV)	29,3°C	25°C- 32°C
Kolam limbah pengelolaan emas (titik V)	25,3°C	25°C- 32°C

Berdasarkan hasil pengujian suhu pada tabel tersebut yang dilakukan peneliti dilapangan nilai suhu pada sungai masih memenuhi baku mutu. Suhu yang paling rendah terdapat pada titik V dan suhu yang paling tinggi terdapat pada titik III. Suhu yang diperoleh dari hasil pengukuran dilapangan bervariasi dari 25°C - 29°C. Pada suhu 25°C merkuri mudah menguap dan pada suhu diatas 25°C akan cenderung menyebabkan senyawa logam berat lebih mudah terlarut dalam air karena adanya penurunan laju adsorpsi ke dalam partikulat. Logam berat yang ada dalam air akan cenderung berikatan dengan bahan organik ataupun anorganik yang menyebabkan logam berat lebih mudah mengendap. Suhu pada suatu badan air yang meningkat akan menyebabkan

akumulasi logam berat cenderung meningkat, logam dalam air akan cenderung berikatan dengan bahan organik dan anorganik karena sifat logam memiliki elektronegatifitas sehingga mampu mengikat elektron negatif.

3.3 Hasil Pemeriksaan Kadar Merkuri pada Perairan Sekitar Pengelolaan Emas di Desa Tanoyan Selatan

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Merkuri di Water Laboratory Nusantara

No	Koordinat	Lokasi	Hasil	Tanggal & Waktu	Baku Mutu
1	0°35'46.2"N 124°16'07.6"E	Sungai terdekat dengan area pengelolaan (titik I)	0,0001 mg/L	3/9/2023 06.39	0,002 mg/L
2	0°35'51.8"N 124°16'13.2"E	Sungai (titik II)	<0,00005 mg/L	3/9/2023 06.58	0,002 mg/L
3	0°35'43.7"N 124°16'01.0"E	Sungai (titik III)	<0,00005 mg/L	3/9/2023 07.10	0,002 mg/L
4	0°35'46"N 124°16'06.9"E	Kolam Pengelolaan limbah emas (titik IV)	0,00006 mg/L	3/9/2023 06.30	0,005 mg/L
5	0°35'51.7"N 124°16'08.2"E	Sumur (titik V)	<0,00005 mg/L	3/9/2023 07.35	-

3.4 Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah suatu teknik untuk menghilangkan, menurunkan dan memisahkan zat pencemar dari suatu media seperti air dan tanah dengan penggunaan tumbuhan. Teknik fitoremediasi merupakan suatu cara yang paling murah, mudah untuk dilakukan jika dibandingkan dengan penanganan jenis lainnya, tanaman mudah di kontrol pertumbuhannya. Tanaman yang digunakan untuk proses fitoremediasi tidak boleh dikonsumsi karena telah terkontaminasi dengan zat pencemar. Penelitian yang dilakukan oleh Palapa (2009) menunjukkan terdapat tiga tanaman yang dapat digunakan sebagai proses fitoremediasi yaitu Teratai, eceng gondok dan kangkong air. Pada hari ke 15 hasil penelitian tiap jenis tanaman belum berpengaruh secara nyata ($p > \alpha 0,05$). Namun, pada hari ke 30 semua jenis tumbuhan berpengaruh secara nyata ($p < \alpha 0,05$). Dari hasil penelitiannya diketahui kemampuan penyerapan merkuri tiap tanaman berbeda-beda. Paling tinggi kemampuannya adalah kangkong air, teratai dan eceng gondok.

Menurut Irawanto (2010), terdapat enam proses mekanisme kerja fitoremediasi yaitu :

1. Fitoekstraksi merupakan tahap zat kontaminan yang terdapat disekitar tumbuhan ditarik masuk ke dalam tanaman.
2. Rhizofiltrasi merupakan tahap zat kontaminan diadsorpsi masuk dan menempel pada akar.
3. Fitostabilisasi merupakan tahap zat kontaminan ditarik ke bagian akar karena tidak dapat ditarik masuk ke bagian tumbuhan lainnya. Pada tahap ini zat kontaminan menempel erat pada akar.
4. Rhizodegradasi merupakan tahap zat kontaminan diuraikan oleh tumbuhan dengan bantuan aktivitas mikroba yang berada disekitar akar.
5. Fitodegradasi merupakan tahap polutan akan didegradasi oleh tumbuhan sebagai proses metabolisme. Tahap ini berlangsung pada bagian batang, daun, akar dan area diluar akar dengan bantuan enzim yang terdapat pada tumbuhan tersebut.
6. Fitovolatilisasi merupakan tahap polutan diserap oleh tumbuhan kemudian polutan diubah menjadi bersifat volatil agar tidak berbahaya lagi ketika dilepaskan ke atmosfer.

3.5 Bioaugmentasi dengan Bakteri

Teknik penggunaan mikroorganisme yang mampu menurunkan logam berat dalam lingkungan adalah bioaugmentasi. Penurunan konsentrasi logam berat dengan teknik bioaugmentasi dapat dilakukan dengan menggunakan bakteri. Pemanfaatan kultur tunggal atau konsorsium bakteri yang sesuai merupakan upaya untuk meningkatkan kemampuan penurunan logam berat pada lingkungan. Bakteri yang digunakan pada proses bioaugmentasi ini harus dilakukan pengembangbiakan pada laboratorium dan merupakan hasil seleksi dari hasil isolasi

lokasi tercemar. Beberapa bakteri yang dapat digunakan untuk penurunan logam berat adalah genus *pseudomonas*, genus *leptothrix*, *klebsiella*, genus *citrobacter* dan *bacillus*. Diantara genus-genus tersebut genus yang paling resisten terhadap logam berat di lapangan yaitu *pseudomonas* dan *bacillus*. Pada proses bioaugmentasi menggunakan konsorsium bakteri dari pada hanya mengandalkan kultur murni untuk menurunkan logam berat lebih menguntungkan karena memiliki ketahanan yang dibutuhkan untuk pengaplikasian di lapangan dan memberikan keragaman metabolik. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi bioaugmentasi dengan bakteri dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi Bioaugmentasi dengan Bakteri

No	Faktor	Deskripsi
1	Kematian sel pada proses inokulasi	Karena perubahan kondisi lingkungan yang ekstrem
2	Kematian sel setelah proses Inokulasi	Penipisan nutrisi atau toksisitas yang disebabkan oleh kontaminan
3	Ketersediaan nutrient	Kompetisi antar mikroba untuk mendapatkan nutrisi
4	Gangguan organisme lain	Populasi bakteri dapat bersaing dengan pertumbuhan protozoa
5	pH	pH yang tinggi dapat menghambat proses degradasi
6	Temperatur	Efek dari pertumbuhan mikroba dan proses degradasi
7	Kelembaban	Kelembaban yang rendah memengaruhi pertumbuhan mikroba dan aerasi tanah lebih tinggi.

Keberadaan nutrisi pada lingkungan tersebut mempengaruhi pertumbuhan mikroba. Pada saat proses bioaugmentasi kemungkinan dapat terjadi kematian mikroba saat inokulasi maupun sesudah proses inokulasi yang diakibatkan oleh ketidakmampuan mikroba untuk beradaptasi pada lingkungan yang ekstrim atau bisa juga kekurangan nutrisi pada lingkungan. Derajat keasaman (pH), kelembaban dan temperatur yang tidak sesuai dengan kondisi normal bakteri dapat mengganggu kemampuan bakteri untuk menurunkan kadar logam berat pada lingkungan.

Tabel 5. Kelebihan Bioaugmentasi dengan Bakteri

Kelebihan	Kekurangan
Meningkatkan dan mempercepat proses Bioremediasi	Membutuhkan pemantauan yang intensif.
Menambahkan bahan kimia yang berbahaya (ramah lingkungan)	Membutuhkan waktu yang lebih lama daripada pilihan pengelolaan yang lainnya.
Lebih sedikit energi yang dibutuhkan dalam penerapannya	Terbatas pada senyawa yang dapat terurai oleh mikroorganisme.
Biaya yang dibutuhkan lebih murah	
Bisa dilakukan secara in-situ.	

Bakteri yang digunakan untuk bioaugmentasi sebaiknya adalah bakteri yang berasal dari lokasi yang terkontaminasi karena memiliki kemampuan berkembang biak dan bertahan hidup yang lebih tinggi. Konsentrasi merkuri dapat mengalami penurunan dengan penggunaan bakteri karena bakteri tersebut memiliki gen resisten merkuri, *merOperon*. Sekelompok gen yang mengkode protein-protein dengan fungsi transportasi, dekomposisi, regulasi dan reduksi merkuri yaitu *merOperon*. Organomercuri liase (*merB*), gen metaloregulator (*merP*) dan gen transpor merkuri (*merT*, *merP*, *merC*) merupakan struktur dari *merOperon*. Adanya sekelompok *merOperon* yang memungkinkan bakteri untuk mereduksi ion logam merkuri yang toksik Hg^{2+} ke dalam bentuk merkuri yang volatil Hg^0 melalui mekanisme reduksi enzimatis merupakan dasar mekanisme resisten terhadap merkuri.

3.6 IPAL Industri Kecil

Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL) industri kecil adalah fasilitas yang digunakan untuk mengelola air limbah yang dibuat sedemikian rupa agar biaya operasionalnya murah dan cara operasinya mudah bagi kegiatan industri kecil. IPAL industri kecil terbagi menjadi 2 perangkat yaitu perangkat utama yang terdiri dari bak antara, unit pencampur statis (*static mixer*),

saringan multimedia/kerikil, bak koagulasi-flokulasi, karbon, pasir, saringan karbon aktif, mangan zeolit dan saringan penukar ion sedangkan perangkat penunjang terdiri dari pompa dosing, pompa air baku untuk intake, tangka bahan kimia, perpipaan, pompa filter dan kelengkapan lainnya. Perangkat penunjang memiliki fungsi sebagai pendukung pengoperasian treatment.

Tahapan pengelolaan IPAL industri kecil ini dimulai dari memompa air baku dari bak penampungan, melakukan injeksi dengan penggunaan ferrosulfat dan PAC (Poly Alluminium Chloride), dilakukan pencampuran dengan static mixer agar hasil campuran baik, mengalirkan air baku yang teroksidasi ke bak koagulasi-flokulasi dengan waktu berkisar 2 jam, pada saringan multimedia, saringan karbon aktif dan saringan ion dimasukan air dengan dipompa. Hasil air yang diolah dapat digunakan lagi.

Tabel 6. Fungsi Bagian-bagian IPAL

No	Bagian	Fungsi
1	Pompa Air Baku	Memompa air baku yang berasal dari bak akhir
2	Pompa dosing	Menginjeksi bahan kimia (ferrosulfat dan PAC) dengan pengaturan laju alir dan konsentrasi tertentu untuk mengatur konsentrasi bahan kimia tersebut
3	Pencampur statik	Mengaduk bahan kimia sampai homogen dengan kecepatan pengadukan tertentu untuk menghindari pecah flok
4	Bak koagulasi - Flokulasi	Melakukan pemisahan padatan tersuspensi yang terkumpul dalam bentuk-bentuk flok
5	Pompa filter	Melakukan pembersihan air dari partikel-partikel yang tidak terlarut
6	Saringan multimedia	Berfungsi menyaring partikel kasar
7	Filter karbon aktif	Menghilangkan logam berat, warna pengotor-pengotor organik dan bau yang terdapat pada air limbah
8	Filter Penukar Ion	Melakukan penukaran ion
9	Sistem jaringan Perpipaan	Berfungsi untuk mengalirkan air yang akan di olah
10	Tangki bahan-bahan Kimia	Berfungsi untuk menghilangkan kontaminan berbahaya yang terdapat pada air dengan memanfaatkan bahan-bahan kimia.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan pengujian air sampel Sungai Ongkag, kolam limbah pengelolaan emas rakyat Desa Tanoyan Selatan dan sumur yang dilakukan di laboratorium SGS WLN Manado maka konsentrasi merkuri (Hg) pada perairan tersebut masih tergolong aman karena tidak melebihi baku mutu yang ditetapkan pemerintah sebagaimana yang terdapat pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran IV Kelas II dan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 202 Tahun 2004 mengenai baku mutu merkuri (Hg) pada air sungai yaitu 0,002 mg/ l dan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 202 Tahun 2004 mengenai baku mutu merkuri (Hg) pada usaha/kegiatan pertambangan bijih emas dan atau tembaga yaitu 0,005 mg/l.
2. Untuk melakukan penurunan kadar atau konsentrasi logam berat dengan biaya yang lebih murah maka dapat dilakukan dengan menggunakan fitoremediasi dan bioaugmentasi dengan bakteri namun jangka waktu yang diperlukan untuk menurunkan logam berat pada lingkungan dengan cara ini lebih lama sedangkan untuk menurunkan konsentrasi logam berat dengan cara yang lebih cepat dapat dilakukan dengan menggunakan IPAL industri Kecil namun biayanya lebih mahal jika dibandingkan dengan dua cara sebelumnya.

Referensi

- Ayuningtyas. 2009. Teori Dasar pH. Universitas Sumatra Utara.
- Bakri S. 2008. Peran Pemerintah Daerah Dalam Pengendalian Kerusakan Lingkungan Akibat Pertambangan Emas Ilegal di Sungai Mandor Kabupaten Landak. Jurnal Nestor Magister Hukum.
- BALIHRISTI. 2008. Laporan Akhir Kegiatan Pengawasan Pelaksanaan PETI. Provinsi Gorontalo. Boyd, C.E. 1979. Water Quality in Warm Fish Ponds. Oxford University Press. Oxford.
- Darmono. 2006. Logam Berat dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. Jakarta: Universitas Indonesia.

- Ediwarman. 2011. Dampak Penambangan Emas Terhadap Kualitas Air Sungai Singingi di Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau.
- FAO. 1971. Pollution An International Problem For Fisheries. Fishery Resources Division, Rome. Fardiaz, S. 1992. Mikrobiologi Pangan.
- Ghosh, M & Singh, S.P. 2005. Comparative uptake and phytoextraction study of soil induced chromium by accumulator and high biomass weed species. *Applied ecology and environmental research*. 3(2), 67-79.
- Idaho Maryland Mining Corp. 2008. The Ceremext TM Procces, Golden Bea Ceramic Company. USA.
- Irawanto, Rony, 2010. Fitoremediasi Lingkungan dalam Tanaman Bali. UPT Balai Konservasi Tumbuhan Kebun Raya Purwodadi.
- Irwan, S. 2009. Merkuri.
- Isa, dkk. 2014. Potensi Tanaman Genjer Sebagai Akumulator Logam Pb Dan Cu. Fakultas Matematika Dan IPA. Universitas Negeri Gorontalo. Halaman : 5-9.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 202 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan Kegiatan Pertambangan Bijih Emas dan atau Tembaga.
- Kristanto, P. 2002. Ekologi Industri. Yogyakarta.
- Muryani, E., Rahmah, D. A., & Santoso, D. H. 2019. Analisis Tingkat Kerentanan Pencemaran Air Tanah Pada Wilayah Penambangan Dan Pengolahan Emas Rakyat Desa Pancurendang , Kabupaten Banyumas. *Ecotrophic*. 13(2), 159–169.
- Palar,H. 1994. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Rineka Cipta, Jakarta.
- Pemerintah Desa Tanoyan Selatan. 2021. Rencana Kerja Pemerintah Desa Tanoyan Selatan Tahun Anggaran 2021.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran IV Kelas II Tentang Baku Mutu Air Sungai untuk Parameter Merkuri.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2010 Tentang Pelaksanaan Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Putranto,T. 2011. Pencemaran Logam Berat Merkuri (Hg) Pada Air Tanah. *Jurnal Teknik*. 32,62-7
- Polii dan Sonya. 2002. Pendugaan Kandungan Merkuri dan Sianida di Daerah Aliran Sungai (DAS) Buyat Minahasa.
- PT. Freeport Indonesia. 2006. Tailing Bukan Limbah, Tailing Adalah Sumber Daya, Tailing Dapat Menjadi Bahan Konstruksi.
- Radiani, Y. 2022. Kajian Dampak Kegiatan Penambangan Emas Tanpa Izin (PETI) pada Air dan Sedimen Sungai Bodi di Desa Bodi, Kecamatan Paleleh Barat, Kabupaten Buol, Provinsi Sulawesi Tengah.
- Riogilang Herawaty, Hendra Riogilang dan Oskar Kaseke. 2017. Merkuri Sedimen Transport di Pantai Buyat Ratatotok.
- Riogilang Herawaty. 2015. Mercury Dynamics in Coastal Environment In Situ Measurement and Numerical Modeling in Minamata Bay, Japan.
- Riogilang Hendra dan Halimah Masloman. 2009. Pemanfaatan Limbah Tambang untuk Bahan Konstruksi Bangunan. *EKOTON* Vol. 9 No.1: 69-73.
- Riogilang Hendra. 2016. Soil Mercury at Makaroyen Village in Kotamobagu Geothermal Field, North Sulawesi, Indonesia. *Jurnal Ilmiah Media Engineering* Vol.6 No.1.
- Riogilang Hendra. 2016. Identifikasi Kandungan Merkuri pada Sistem Akuifer Bebas Hidrogeologi Desa Buyat. *Jurnal LPPM Bidang Sains dan Teknologi*. Volume 3 No.1.
- Rifai Reananda, Hendra Riogilang & Cindy Supit. 2020. Identifikasi dan Analisis Penyebaran Sianida pada Tambang Rakyat di Desa Buyat, Bolaang Mongondow, Sulawesi Utara.
- Salim H.S. 2004. Hukum Pertambangan, Raja Grafindo, Jakarta.
- Setiabudi dan Bambang. 2005. Penyebab Merkuri Akibat Usaha Pertambangan Emas Di Daerah Sangon, Kabupaten Kulon Progo, D.I. Yogyakarta.
- Standar Nasional Indonesia 6989.57. 2008 Tentang Pengambilan Sampel Air. Standar Nasional Indonesia 6989.11. 2019 Tentang Pengujian pH.
- Soedradjat, R. 1999. Lingkungan Hidup, Suatu Pengantar. Jakarta: Dikti, P & K. Sugiyono. 2016. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D. Bandung: PT Alfabet.
- Supriyanto, C., Samin, dan Kamal, Z. 2007. Analisis Cemar Logam Berat Pb, Cu, dan Dd pada Ikan Air Tawar dengan Metode Spektrometri Nyala Serapan Atom (SSA). Seminar Nasional III SDM Teknologi Nuklir. Yogyakarta.
- Syakti, D. A., Hidayati dan A.S. Siregar. 2012. Agen Pencemar Laut. Bogor. IPB Press.
- 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.
- Yudhistira. 2008. Kajian Dampak Kerusakan Lingkungan Akibat Kegiatan Penambang Liar. *Jurnal Ilmu Lingkungan* .Vol. 9 No. 2.