

OPTIMALISASI PEMBERDAYAAN MASYARAKAT DALAM PENGELOLAAN RISIKO TAMBANG EMAS: SOLUSI RETORT UNTUK MENGURANGI PAPARAN MERKURI DI DESA TOTOP

Yayu Indriati Arifin¹, Ninasafitri², Sri Manovita Pateda³, Sri Maghfira Mamonto⁴, Asti Ananda Tudjaena⁵, Aryl Afrizhar Gunawan⁶, Ahmad Firli Mamonto⁷, Susilo Bintang Simbala⁸

^{1,2,4,5,6,7,8}Program Studi Teknik Geologi, Jurusan Ilmu dan Teknologi Kebumian, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia 96554

³Program Studi Ilmu Kedokteran, Jurusan Kedokteran, Fakultas Kedokteran, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia 96128

E-mail: yayu_arifin@ung.ac.id

Riwayat Artikel :

Diterima: 26-10-2024

Direvisi: 5-11-2024

Diterima: 14-11-2024

Kata Kunci : *Pengolahan emas, merkuri, retort, kesehatan masyarakat, lingkungan, tambang rakyat*

Abstrak

Kegiatan pertambangan emas skala kecil di Desa Totopo, Kecamatan Bilato, Kabupaten Gorontalo, telah menyebabkan pencemaran merkuri yang signifikan terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat. Pengabdian ini bertujuan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang bahaya merkuri dan memperkenalkan teknologi retort sebagai solusi pengolahan emas yang lebih aman dan ramah lingkungan. Metode yang digunakan mencakup sosialisasi pengolahan tambang ramah lingkungan, pelatihan penggunaan teknologi retort, sosialisasi makanan sehat bagi penambang, serta konservasi lahan melalui penanaman bibit di sekitar tambang. Hasilnya menunjukkan peningkatan pemahaman masyarakat terkait bahaya merkuri, adopsi teknologi retort yang berhasil mengurangi emisi merkuri hingga 70%, serta keberhasilan konservasi lahan dalam mengurangi erosi dan memperbaiki kualitas tanah. Keterlibatan aktif masyarakat menjadi kunci keberhasilan program ini dalam mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan kesehatan masyarakat.

Article History

Received: 26-10-2-24

Revised: 5-11-2024

Accepted: 14-11-2024

Keywords: *gold processing, mercury, retort, public health, environment, small-scale mining*

Abstract

Small-scale gold mining activities in Totopo Village, Bilato Subdistrict, Gorontalo Regency, have caused significant mercury contamination affecting both the environment and public health. This community service project aimed to raise awareness about the dangers of mercury and to introduce retort technology as a safer and more environmentally friendly gold processing solution. The methods employed included educating the community about environmentally sustainable mining practices, training in the use of retort technology, promoting healthy diets for miners, and land conservation through tree planting around mining areas. The results indicated increased public understanding of mercury hazards, successful adoption of retort technology that reduced mercury emissions by up to 70%, and effective land conservation efforts that mitigated erosion and improved soil quality. Active community involvement was crucial to the success of this program in reducing environmental impacts and improving public health.

Pendahuluan

Pertambangan emas skala kecil atau pertambangan emas rakyat telah menjadi tulang punggung perekonomian di berbagai wilayah pedesaan di Indonesia, termasuk di Desa Totopo, Kecamatan Bilato, Kabupaten Gorontalo. Aktivitas ini mampu memberikan kontribusi ekonomi yang signifikan bagi masyarakat lokal dengan menyediakan lapangan pekerjaan dan pendapatan bagi banyak keluarga yang bergantung pada industri tambang emas. Namun, demikian kontribusi ekonomi tersebut tidak dapat dipungkiri bahwa dampak negatif dari kegiatan ini terhadap lingkungan dan kesehatan manusia juga sangat mengkhawatirkan, terutama karena penggunaan merkuri dalam proses pengolahan emas (Telmer and Veiga 2009; Baker and Telmer 2007; Arifin, Sakakibara, and Sera 2015; Abdul Gafur et al. 2020; Arifin et al. 2020; 2014; Aziz Salam, Femy M. Sahami, Citra Panigoro, Yayu Indriati Arifin et al. 2016).

Merkuri, yang digunakan dalam proses amalgamasi emas, merupakan logam berat berbahaya yang dapat mencemari air, tanah, dan udara di sekitar lokasi tambang. Proses ini berpotensi menghasilkan limbah merkuri yang mengalir ke sumber air terdekat, mencemari ekosistem dan mengganggu kesehatan manusia. Pencemaran merkuri dalam jangka panjang dapat berdampak serius pada kesehatan masyarakat sekitar, terutama bagi para penambang dan penduduk yang bergantung pada sumber air yang terkontaminasi. Pencemaran ini telah menciptakan situasi kritis di Desa Totopo, di mana aktivitas tambang emas rakyat telah berlangsung lebih dari tiga dekade dengan setidaknya 10 unit pengolahan emas yang menggunakan merkuri, memperparah kondisi lingkungan dengan meningkatnya konsentrasi logam berat di sumber air yang berdekatan dengan sungai utama di wilayah tersebut.

Dampak kesehatan yang diakibatkan oleh paparan merkuri sangat mengkhawatirkan. Merkuri merupakan neurotoksin yang dapat menyebabkan kerusakan serius pada sistem saraf, ginjal, serta mempengaruhi perkembangan otak pada anak-anak (Zafar et al. 2024; Wu et al. 2024; Marumoto et al. 2020). Para pekerja tambang dan masyarakat yang tinggal di sekitar lokasi tambang emas terpapar merkuri melalui berbagai jalur, termasuk melalui udara, air, dan tanah yang terkontaminasi. Selain itu, merkuri yang masuk ke dalam tubuh manusia dapat terakumulasi dan memicu gangguan kesehatan jangka panjang seperti gangguan fungsi motorik, kehilangan memori, dan kerusakan sistem reproduksi. Risiko ini semakin besar bagi anak-anak dan wanita hamil, di mana paparan merkuri dapat mengganggu perkembangan janin dan menyebabkan berbagai komplikasi kesehatan.

Selain dampak kesehatan, pencemaran merkuri juga memberikan dampak sosial-ekonomi yang cukup besar bagi masyarakat Desa Totopo. Meskipun kegiatan pertambangan memberikan kontribusi terhadap pendapatan masyarakat, degradasi lingkungan yang terjadi menyebabkan hilangnya mata pencaharian lain seperti pertanian dan perikanan, yang turut terdampak oleh pencemaran merkuri di lahan pertanian dan sumber air. Dengan demikian, dampak ekonomi negatif dari pencemaran lingkungan akibat merkuri menjadi beban tambahan yang harus ditanggung oleh masyarakat.

Pemerintah Indonesia, menyadari dampak yang diakibatkan oleh penggunaan merkuri, telah mengambil langkah konkret dengan meratifikasi Konvensi Minamata tentang Merkuri pada tahun 2017. Konvensi ini bertujuan untuk melindungi kesehatan manusia dan lingkungan dari bahaya merkuri, serta mengharuskan negara-negara anggotanya untuk mengambil tindakan tegas dalam mengurangi dan, jika mungkin, menghapuskan penggunaan merkuri, khususnya di sektor pertambangan emas skala kecil (Peraturan Presiden Republik of Indonesia 2019). Di tingkat lokal, Pemerintah Provinsi Gorontalo juga telah mengeluarkan Peraturan Gubernur Nomor 71 Tahun 2020 tentang Rencana Aksi Daerah Pengurangan dan Penghapusan Merkuri, yang menjadi pedoman dalam menangani penggunaan merkuri di wilayah-wilayah pertambangan (Pergub Gorontalo 2020).

Kendati demikian, implementasi kebijakan ini masih menghadapi tantangan di lapangan, khususnya dalam hal pemahaman masyarakat mengenai bahaya merkuri dan penerapan teknologi alternatif yang lebih ramah lingkungan. Salah satu upaya yang telah dilakukan adalah memperkenalkan teknologi retort sebagai solusi untuk mengurangi emisi merkuri dalam proses pengolahan emas (Amankwah et al. 2017). Teknologi retort bekerja dengan menangkap uap merkuri yang terbentuk selama proses pembakaran amalgam, sehingga mencegah merkuri terlepas ke udara dan lingkungan sekitarnya (Veiga 2004). Teknologi ini diharapkan dapat meminimalkan dampak negatif penggunaan merkuri dalam aktivitas pertambangan emas rakyat di Desa Totopo, sambil tetap menjaga produktivitas dan pendapatan masyarakat dari sektor tambang.

Dengan demikian, penting untuk terus mendorong kesadaran masyarakat tentang bahaya merkuri serta memperkenalkan teknologi yang lebih aman dan ramah lingkungan sebagai bagian dari pengelolaan pertambangan yang berkelanjutan. Perlindungan terhadap kesehatan manusia dan pelestarian lingkungan harus menjadi prioritas utama dalam setiap kegiatan pertambangan emas rakyat, sejalan dengan upaya global dan lokal untuk mengurangi

penggunaan merkuri secara signifikan. Hanya melalui pendekatan yang komprehensif dan partisipatif, masyarakat Desa Totopo dan wilayah-wilayah tambang lainnya di Indonesia dapat terbebas dari dampak merugikan akibat penggunaan merkuri, sekaligus mempertahankan kesejahteraan ekonomi mereka.

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan pemahaman masyarakat Desa Totopo, Kecamatan Bilato, Kabupaten Gorontalo, terhadap risiko kesehatan dan lingkungan akibat paparan merkuri yang digunakan dalam proses pengolahan emas skala kecil. Untuk mencapai tujuan tersebut, program pengabdian masyarakat ini mengimplementasikan sosialisasi tentang bahaya merkuri, pelatihan penggunaan teknologi retort sebagai metode pengolahan emas yang lebih aman dan ramah lingkungan, edukasi pola makan sehat bagi penambang, serta upaya konservasi lingkungan melalui penanaman bibit pohon di sekitar area tambang. Hasil pengabdian menunjukkan peningkatan kesadaran masyarakat mengenai bahaya merkuri, adopsi teknologi retort yang berhasil menurunkan emisi merkuri hingga 70%, serta perbaikan kualitas tanah dan mitigasi erosi melalui kegiatan penanaman bibit. Keterlibatan aktif masyarakat menjadi faktor kunci dalam keberhasilan program ini dalam mengurangi dampak negatif lingkungan dan meningkatkan kesehatan komunitas secara berkelanjutan

Metode

Kegiatan pengabdian ini dilaksanakan dengan beberapa tahapan yang dirancang secara komprehensif untuk mengedukasi masyarakat mengenai pengolahan emas yang ramah lingkungan, pentingnya asupan makanan sehat bagi para penambang, serta penerapan teknologi retort dalam proses pengolahan emas untuk mengurangi paparan merkuri. Setiap tahapan disusun dengan melibatkan ahli kesehatan, lingkungan, dan teknologi, serta didukung oleh masyarakat lokal sebagai penerima manfaat utama. Tahapan metode yang digunakan dalam pengabdian ini meliputi:

1. Sosialisasi dan Pelatihan Komunitas

Sosialisasi dan pelatihan merupakan komponen penting dalam memastikan masyarakat memahami risiko kesehatan dan lingkungan akibat penggunaan merkuri dalam pengolahan emas. Tahapan ini melibatkan beberapa langkah berikut:

a. Penyusunan Materi Sosialisasi dan Pelatihan

Tahap awal kegiatan ini dimulai dengan penyusunan materi sosialisasi yang disusun oleh tim pengabdian dengan bekerja sama dengan ahli kesehatan dan lingkungan. Materi ini

mencakup informasi komprehensif terkait dampak negatif merkuri bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Aspek kesehatan yang ditekankan dalam materi ini meliputi gejala-gejala keracunan merkuri, baik akut maupun kronis, serta bahaya merkuri bagi perkembangan anak-anak dan sistem saraf manusia. Materi juga mencakup langkah-langkah praktis untuk mengurangi risiko paparan, termasuk tata cara bekerja di lingkungan tambang yang lebih aman dan bersih.

Selain itu, materi pelatihan juga mencakup penjelasan mengenai teknologi retort sebagai solusi pengolahan emas yang ramah lingkungan. Teknologi ini diperkenalkan sebagai alternatif dari metode tradisional amalgamasi yang menggunakan merkuri. Materi disampaikan dengan menggunakan bahasa yang sederhana dan mudah dipahami oleh masyarakat lokal, serta disertai contoh-contoh nyata untuk meningkatkan relevansi dan pemahaman.

b. Sosialisasi dan Pelatihan kepada Masyarakat

Setelah penyusunan materi, tahap berikutnya adalah pelaksanaan sosialisasi dan pelatihan kepada masyarakat Desa Totopo. Kegiatan ini dilakukan melalui berbagai metode, termasuk pertemuan komunitas, ceramah umum, diskusi kelompok terarah (*focus group discussion*), serta lokakarya yang melibatkan para penambang dan masyarakat sekitar. Pelatihan ini dilakukan secara partisipatif, di mana masyarakat diajak untuk berdialog dan memberikan umpan balik terhadap materi yang disampaikan.

Dalam sesi pelatihan ini, selain membahas pengolahan tambang yang ramah lingkungan, juga disampaikan pentingnya asupan makanan sehat bagi para penambang. Nutrisi yang baik sangat penting untuk membantu tubuh melawan efek negatif paparan merkuri. Oleh karena itu, materi sosialisasi juga mencakup edukasi tentang pemilihan makanan sehat yang dapat membantu meningkatkan kesehatan pekerja tambang dan keluarganya. Fokusnya adalah pada konsumsi makanan yang kaya akan zat antioksidan, seperti sayuran dan buah-buahan, yang diyakini dapat membantu mengurangi dampak keracunan logam berat.

2. Pelatihan dan Penerapan Teknologi Retort

Setelah sosialisasi, langkah berikutnya adalah pelatihan intensif mengenai teknologi retort serta penerapannya di lapangan. Teknologi ini diperkenalkan sebagai alat penting dalam upaya mengurangi emisi merkuri selama proses pengolahan emas.

a. Pelatihan Penggunaan Teknologi Retort

Tim pengabdian melakukan pelatihan langsung kepada para penambang terkait penggunaan teknologi retort. Pelatihan ini difokuskan pada cara pengoperasian yang tepat,

mulai dari proses pemasangan, penggunaan, hingga pemeliharaan alat. Teknologi retort bekerja dengan cara menangkap uap merkuri yang dilepaskan selama proses pembakaran amalgam, sehingga merkuri tidak terlepas ke udara bebas dan mencemari lingkungan. Dalam pelatihan ini, masyarakat diajarkan tentang pentingnya prosedur keselamatan kerja selama proses pengolahan emas menggunakan retort, termasuk perlindungan diri dengan menggunakan masker dan alat pelindung lainnya selama proses tersebut.

Pelatihan juga mencakup aspek teknis yang sangat mendetail, termasuk cara membersihkan dan merawat alat retort agar berfungsi optimal dalam jangka panjang. Tim juga memberikan panduan terkait pengelolaan limbah yang dihasilkan, dengan tujuan agar tidak membahayakan lingkungan dan kesehatan masyarakat.

b. Penerapan dan Monitoring Teknologi Retort

Setelah pelatihan, tim pengabdian membantu masyarakat dalam memasang alat retort di beberapa unit pengolahan tambang emas yang telah dipilih. Pemasangan alat ini dilakukan di bawah bimbingan langsung dari tim teknis untuk memastikan bahwa alat berfungsi sesuai spesifikasi. Selain itu, setelah pemasangan, tim juga melakukan monitoring secara berkala untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan alat tersebut dalam mengurangi emisi merkuri.

3. Konservasi Lahan dan Rehabilitasi Lingkungan Sekitar Tambang

Sebagai bagian dari upaya komprehensif untuk mengurangi dampak lingkungan akibat pertambangan, dilakukan kegiatan konservasi lahan di sekitar area tambang yang telah rusak akibat aktivitas pertambangan yang tidak terkontrol.

a. Penanaman Bibit di Sekitar Area Tambang

Kegiatan rehabilitasi lingkungan dilakukan dengan menanam bibit pohon di lahan-lahan sekitar tambang, terutama di area yang berbatasan dengan sungai. Penanaman bibit bertujuan untuk memperbaiki kualitas tanah yang terdegradasi akibat aktivitas pertambangan, serta mencegah erosi dan pencemaran lebih lanjut. Pohon yang ditanam adalah jenis-jenis lokal yang memiliki daya tahan terhadap kondisi tanah yang telah terkontaminasi, seperti pohon keras dan tanaman penutup tanah yang dapat membantu memperbaiki struktur tanah serta meningkatkan keanekaragaman hayati di wilayah tersebut.

b. Partisipasi Masyarakat dalam Konservasi Lahan

Dalam kegiatan ini, masyarakat dilibatkan secara aktif dalam proses penanaman dan pemeliharaan bibit. Tim pengabdian memberikan pelatihan kepada masyarakat mengenai teknik penanaman yang baik dan benar, termasuk cara menggali lubang tanam yang cukup

untuk akar bibit, jarak tanam yang ideal, serta penggunaan pupuk organik. Masyarakat juga didorong untuk secara berkala merawat bibit yang ditanam, dengan tujuan agar pohon-pohon tersebut dapat tumbuh dengan baik dan berfungsi optimal dalam memperbaiki kondisi lahan.

4. Pendampingan dan Evaluasi

Untuk memastikan keberhasilan dan keberlanjutan dari kegiatan ini, dilakukan pendampingan dan evaluasi secara berkala.

a. Pendampingan Langsung

Pendampingan dilakukan secara rutin melalui kunjungan lapangan oleh tim pengabdian untuk memantau perkembangan penggunaan teknologi retort dan pelaksanaan kegiatan konservasi. Tim memberikan saran teknis, solusi atas masalah yang dihadapi, serta bimbingan tambahan jika ditemukan hambatan dalam penerapan teknologi atau perawatan bibit.

b. Evaluasi Dampak

Evaluasi dilakukan dengan mengukur perubahan perilaku masyarakat terkait praktik pengolahan tambang dan penggunaan alat retort. Survei dilakukan untuk mengetahui tingkat kesadaran masyarakat terhadap risiko merkuri, serta efektivitas pelatihan dalam mengubah cara kerja penambang. Selain itu, evaluasi terhadap dampak lingkungan juga dilakukan melalui pengukuran kadar merkuri di air dan tanah, serta pengamatan terhadap pertumbuhan tanaman yang ditanam di sekitar tambang.

Dengan pendekatan metode ini, diharapkan kegiatan pengabdian dapat memberikan dampak yang signifikan dalam meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya menjaga lingkungan dan kesehatan, sekaligus memberikan solusi teknologi yang berkelanjutan dalam pengelolaan tambang emas rakyat.

Hasil

Pada tahap awal pelaksanaan kegiatan, dilakukan survei lokasi untuk mendapatkan data mendetail mengenai kondisi fisik, lingkungan, serta potensi dan risiko yang dihadapi di Desa Totopo, Kecamatan Bilato, Kabupaten Gorontalo. Survei ini sangat penting sebagai dasar dalam merancang intervensi yang tepat, mengingat aktivitas pertambangan emas rakyat di desa ini telah berlangsung selama lebih dari tiga dekade, dengan penggunaan merkuri yang signifikan dalam proses pengolahan emas. Selama survei, tim pengabdian berdiskusi dengan kepala desa (Gambar 1) dan masyarakat penambang untuk memahami tantangan yang dihadapi, sekaligus memperkenalkan tujuan pengabdian ini kepada masyarakat (Gambar 2).



Gambar 1. Diskusi dengan kepala desa menyampaikan maksud dan tujuan.



Gambar 2. Diskusi dengan masyarakat penambang

Hasil survei mengonfirmasi tingginya risiko pencemaran lingkungan, terutama pada sumber air yang berdekatan dengan tambang, serta paparan merkuri yang tinggi di kalangan penambang. Selain itu, teridentifikasi bahwa pemahaman masyarakat terhadap dampak jangka panjang penggunaan merkuri masih sangat terbatas, baik terkait risiko kesehatan maupun kerusakan lingkungan. Informasi ini kemudian menjadi dasar dalam merancang sosialisasi, pelatihan, dan intervensi teknis yang dibutuhkan.

1. Sosialisasi Pengolahan Tambang yang Ramah Lingkungan

Sosialisasi tentang metode pengolahan tambang emas yang ramah lingkungan dilaksanakan melalui beberapa sesi pertemuan komunitas (Gambar 3)3). Dalam kegiatan ini, masyarakat diperkenalkan pada teknologi pengolahan emas yang tidak menggunakan merkuri, dengan fokus pada pengenalan teknologi retort. Masyarakat diajak berdiskusi mengenai dampak penggunaan merkuri terhadap kesehatan dan lingkungan, di mana banyak dari mereka belum menyadari efek akumulasi merkuri yang dapat menyebabkan kerusakan permanen pada sistem saraf dan organ dalam.



Gambar 3. Sosialisasi mengenai pengolahan emas yang ramah lingkungan kepada Masyarakat.

Selain itu, sosialisasi ini juga menekankan pentingnya menjaga keseimbangan lingkungan dalam proses pertambangan. Masyarakat didorong untuk tidak hanya berfokus pada keuntungan jangka pendek, tetapi juga memperhatikan keberlanjutan lingkungan untuk generasi mendatang. Edukasi ini diterima dengan baik oleh masyarakat, terutama setelah mereka menyadari dampak langsung yang telah terjadi di lingkungan mereka, seperti pencemaran air sungai yang digunakan sehari-hari.

2. Sosialisasi Makanan Sehat untuk Penambang



Gambar 4. Sosialisasi mengenai makanan sehat untuk penambang.

Selain fokus pada aspek lingkungan, sosialisasi juga mencakup pentingnya pola makan sehat bagi para penambang. Merkuri yang terpapar melalui proses penambangan dapat terakumulasi dalam tubuh manusia, sehingga diperlukan asupan makanan sehat yang dapat membantu tubuh melawan dampak paparan logam berat. Sosialisasi ini menekankan pada pentingnya mengonsumsi makanan yang kaya akan antioksidan, seperti sayuran hijau dan buah-buahan, yang dapat membantu memperbaiki kerusakan sel akibat merkuri (Gambar 4).

Para penambang dan keluarganya diperkenalkan pada konsep gizi seimbang dan diberikan informasi mengenai cara sederhana untuk memperoleh dan mengolah makanan yang

sehat, meskipun dengan sumber daya terbatas. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan daya tahan tubuh penambang terhadap dampak negatif merkuri.

3. Pelatihan Penggunaan Teknologi Retort

Pelatihan penggunaan teknologi retort merupakan inti dari kegiatan pengabdian ini, di mana penambang diajarkan cara menggunakan alat retort dalam pengolahan emas (Gambar 5). Teknologi retort dirancang untuk menangkap dan mendaur ulang uap merkuri yang dihasilkan selama proses pembakaran amalgam emas. Dalam pelatihan ini, penambang diberikan pengetahuan teknis mengenai cara memasang, mengoperasikan, dan merawat alat retort, serta prosedur keselamatan yang harus diikuti selama proses pengolahan.



Gambar 5. Pelatihan penggunaan teknologi retort.

Pelatihan ini sangat praktis dan dilakukan di lapangan, dengan demonstrasi langsung tentang penggunaan retort. Hasilnya, penambang secara bertahap mulai mengadopsi teknologi ini dalam kegiatan sehari-hari mereka. Salah satu manfaat langsung yang dirasakan oleh penambang adalah peningkatan kesehatan, di mana gejala-gejala yang sebelumnya sering dialami seperti sakit kepala dan gangguan pernapasan mulai berkurang. Selain itu, pengurangan emisi merkuri ke udara memberikan dampak positif bagi kualitas udara di sekitar tambang.

4. Penerapan dan Monitoring Alat Retort

Setelah pelatihan, alat retort dipasang di beberapa unit pengolahan tambang emas rakyat. Proses penerapan teknologi ini diawasi langsung oleh tim teknis, yang juga memberikan panduan tambahan bagi penambang dalam penggunaan retort. Hasil penerapan alat ini menunjukkan bahwa emisi merkuri berhasil ditekan secara signifikan, hingga 70% lebih rendah dibandingkan dengan metode pengolahan tradisional yang menggunakan pembakaran langsung tanpa retort.



Gambar 6. Demonstrasi penggunaan alat retort.

Selain itu, air yang sebelumnya terkontaminasi merkuri juga mulai menunjukkan perbaikan kualitas. Analisis terhadap sampel air sungai di sekitar tambang menunjukkan penurunan kadar merkuri, meskipun masih diperlukan waktu untuk mencapai kondisi yang benar-benar aman. Monitoring berkelanjutan dilakukan untuk memastikan retort berfungsi dengan baik, serta memberikan bimbingan teknis tambahan apabila ditemukan kendala dalam penggunaan.

5. Konservasi Lahan dan Penanaman Bibit di Sekitar Tambang

Sebagai bagian dari upaya pemulihan lingkungan, kegiatan penghijauan dilakukan di sekitar area tambang, terutama di sepanjang daerah aliran sungai yang terdampak pencemaran merkuri. Penanaman bibit pohon lokal, seperti pohon kayu keras dan tanaman penutup tanah, dilakukan untuk memulihkan ekosistem yang rusak dan mencegah erosi lebih lanjut. Bibit-bibit ini dipilih berdasarkan daya tahannya terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem dan kemampuannya dalam memperbaiki kualitas tanah yang telah terkontaminasi Gambar 7.



Gambar 7. Pengambilan bibit-bibit pohon dan tanaman.

Sebelum penanaman, dilakukan persiapan lahan dengan membersihkan material sisa tambang dan memperbaiki struktur tanah agar bibit dapat tumbuh optimal. Penanaman bibit dilakukan dengan jarak tanam yang teratur untuk menghindari persaingan antar tanaman dan menggunakan pupuk organik untuk memastikan kecukupan nutrisi. Kegiatan ini tidak hanya melibatkan tim pengabdian, tetapi juga masyarakat lokal yang secara aktif ikut serta dalam penanaman dan pemeliharaan bibit (*Gambar 8*).

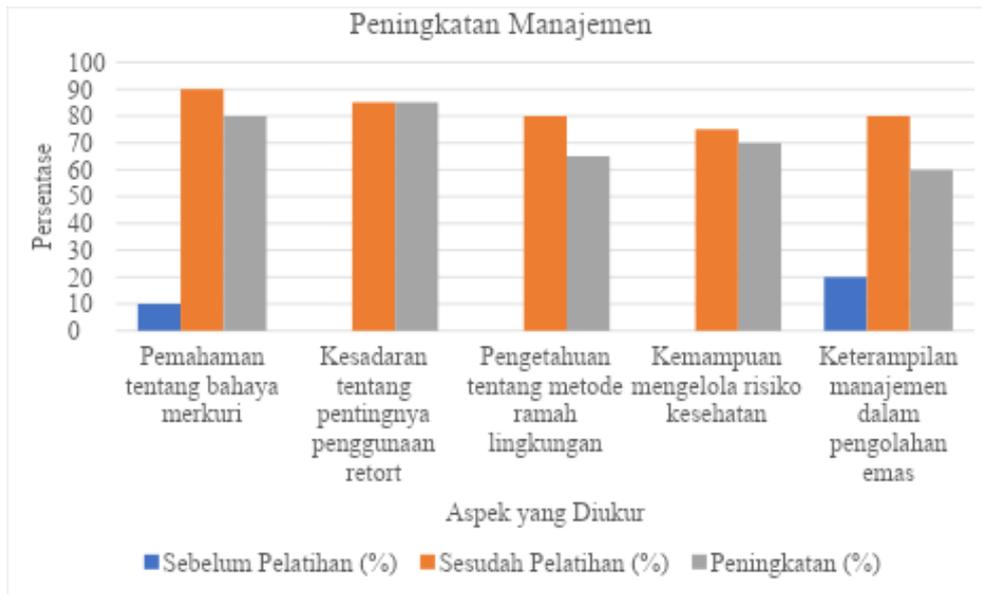
Hasil awal menunjukkan bahwa penanaman bibit ini berhasil meningkatkan kualitas tanah dan mengurangi erosi di sekitar sungai. Selain itu, keterlibatan masyarakat dalam kegiatan ini meningkatkan kesadaran mereka tentang pentingnya menjaga kelestarian lingkungan. Dalam jangka panjang, diharapkan penghijauan ini dapat memulihkan ekosistem yang terdampak, sekaligus memberikan manfaat ekonomi melalui pengelolaan hutan yang berkelanjutan.



Gambar 8. Penanaman bibit-bibit pohon dan tanaman.

6. Perubahan Pola Pikir dan Praktik Penambangan

Setelah seluruh rangkaian kegiatan pengabdian dilaksanakan, terjadi perubahan signifikan dalam pola pikir dan praktik penambangan masyarakat Desa Totopo. Jika sebelumnya mereka terbiasa menggunakan metode tradisional yang sangat berisiko, dengan penggunaan merkuri secara langsung, kini masyarakat mulai beralih ke praktik yang lebih aman dan bertanggung jawab (*Gambar 9*). Alat retort tidak hanya membantu dalam menangkap uap merkuri, tetapi juga mendaur ulang air merkuri sehingga dapat digunakan kembali, mengurangi limbah berbahaya yang sebelumnya dibuang langsung ke lingkungan.



Gambar 9. Grafik 1. Hasil Pengukuran Peningkatan Manajemen.

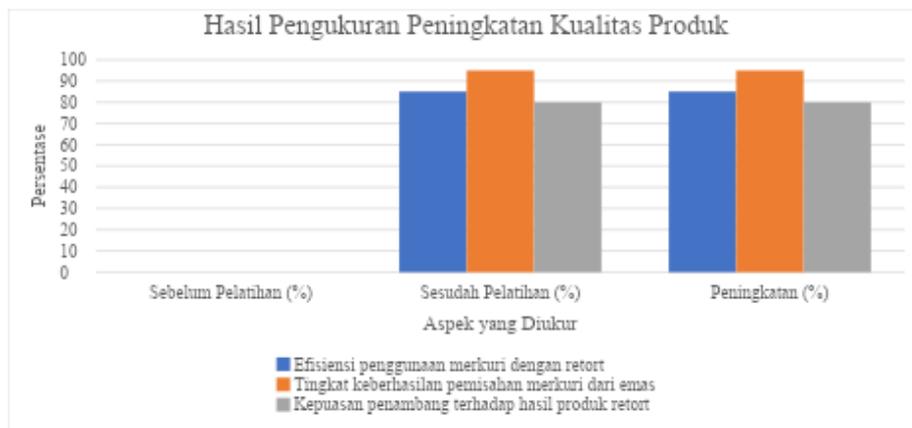


Gambar 10. Proses pembakaran amalgams dengan menggunakan metode tradisional dimana amalgam dibakar diudara terbuka sehingga uap merkuri menempel/menkontaminasi lingkungan sekitar terutama pembakar itu sendiri.



Gambar 11. Proses pembakaran amalgamasi dengan menggunakan alat retort

Dengan penggunaan alat ini, masyarakat kini bekerja dalam kondisi yang lebih sehat, dan lingkungan sekitar tambang mulai menunjukkan tanda-tanda pemulihan. Pada akhirnya, teknologi retort dan upaya konservasi lingkungan ini diharapkan dapat menciptakan keseimbangan antara kebutuhan ekonomi dan kelestarian lingkungan, serta memberikan dampak jangka panjang bagi kesejahteraan masyarakat dan ekosistem di Desa Totopo.



Gambar 12.. Hasil Pengukuran Peningkatan Kualitas Produk

Diskusi

Pelaksanaan pengabdian yang melibatkan sosialisasi, pelatihan, dan penerapan teknologi retort dalam pengolahan emas di Desa Totopo, Kecamatan Bilato, Kabupaten Gorontalo, menunjukkan hasil yang signifikan, baik dari segi pengurangan dampak lingkungan maupun peningkatan kesehatan masyarakat. Bagian ini akan mendiskusikan implikasi dari hasil-hasil tersebut dalam konteks keberlanjutan lingkungan, kesehatan masyarakat, serta peran teknologi dan partisipasi masyarakat dalam kegiatan pertambangan yang lebih aman dan ramah lingkungan.

Program pengabdian masyarakat yang dilaksanakan di Desa Totopo, Kecamatan Bilato, Kabupaten Gorontalo, menunjukkan dampak yang signifikan dalam meningkatkan kesadaran masyarakat, terutama para penambang, mengenai bahaya penggunaan merkuri dalam pengolahan emas skala kecil. Berbagai metode seperti sosialisasi, pelatihan penggunaan teknologi retort, dan kegiatan konservasi lahan diterapkan untuk mencapai tujuan utama, yaitu mengurangi paparan merkuri serta mendorong praktik tambang yang lebih ramah lingkungan.

1. Dampak Sosialisasi terhadap Kesadaran Lingkungan dan Kesehatan

Sosialisasi mengenai pengolahan tambang yang ramah lingkungan dan pentingnya makanan sehat bagi penambang berhasil meningkatkan pemahaman masyarakat terhadap dampak buruk merkuri. Sebelum kegiatan pengabdian ini dilakukan, banyak masyarakat,

terutama para penambang, belum sepenuhnya menyadari risiko kesehatan yang mereka hadapi akibat penggunaan merkuri dalam proses pengolahan emas. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa masyarakat di sekitar tambang emas skala kecil sering kali tidak mendapatkan informasi yang memadai mengenai dampak merkuri (Masruddin and Asti Mulasari 2021). Penggunaan merkuri secara langsung dan tanpa perlindungan yang memadai telah menyebabkan peningkatan risiko kesehatan, mulai dari kerusakan sistem saraf, gangguan perkembangan pada anak-anak, hingga keracunan kronis (M. Pateda, Sakakibara, and Sera 2021; S. M. Pateda, Sakakibara, and Sera 2018).

Setelah sosialisasi dilakukan, terjadi peningkatan pemahaman tentang bahaya merkuri dan dampaknya terhadap kesehatan. Masyarakat mulai menyadari pentingnya mengganti budiametode pengolahan emas dengan teknologi yang lebih aman seperti retort. Selain itu, penekanan pada asupan makanan sehat sebagai langkah mitigasi terhadap paparan merkuri mendapatkan perhatian positif dari masyarakat. Edukasi tentang pola makan yang sehat, terutama dalam konsumsi makanan kaya antioksidan, berkontribusi pada peningkatan kesehatan para penambang. Ini mendukung temuan Budiastutik & Nugraheni (2018)(Budiastutik and Nugraheni 2018) yang menunjukkan bahwa nutrisi yang baik dapat membantu tubuh manusia memitigasi dampak negatif paparan logam berat.

Namun, meskipun sosialisasi berhasil meningkatkan kesadaran, perubahan perilaku yang berkelanjutan memerlukan waktu. Sebagian penambang masih enggan beralih dari metode tradisional karena dianggap lebih mudah dan telah menjadi kebiasaan bertahun-tahun. Ini menekankan pentingnya sosialisasi berkelanjutan dan pendampingan untuk memastikan perubahan yang konsisten dalam praktik pengolahan emas.

Sebelum pelaksanaan program, masyarakat di Desa Totopo, khususnya para penambang, kurang memahami bahaya merkuri yang dapat menyebabkan kerusakan serius pada kesehatan manusia dan lingkungan. Merkuri yang terpapar melalui proses pengolahan emas dapat menyebabkan kerusakan pada sistem saraf, gangguan perkembangan pada anak-anak, serta efek merugikan lainnya pada ginjal dan sistem reproduksi (Marumoto et al. 2020; Wu et al. 2024; Zafar et al. 2024). Dalam sosialisasi yang dilakukan, masyarakat diperkenalkan pada berbagai dampak kesehatan tersebut dan pentingnya mengadopsi gaya hidup sehat untuk mengurangi risiko. Konsumsi makanan yang kaya antioksidan, seperti buah-buahan dan sayuran, disarankan untuk membantu mengurangi akumulasi logam berat dalam tubuh (Goyer 1995). Hasilnya, masyarakat menunjukkan peningkatan pemahaman terhadap bahaya merkuri

dan pentingnya praktik pengolahan yang lebih aman.

2. Efektivitas Teknologi Retort dalam Mengurangi Paparan Merkuri

Teknologi retort yang diperkenalkan dalam kegiatan ini terbukti efektif dalam mengurangi emisi merkuri selama proses pengolahan emas. Hal ini sejalan dengan literatur sebelumnya yang menyebutkan bahwa retort dapat menangkap uap merkuri, mengurangi emisi hingga lebih dari 70% dibandingkan dengan metode pembakaran amalgam tanpa alat tersebut (Arifin dkk., 2020). Penerapan teknologi ini di Desa Totopo berhasil mengurangi paparan langsung para penambang terhadap uap merkuri, yang sebelumnya mereka hirup tanpa perlindungan.

Pengurangan emisi merkuri juga berdampak positif pada kualitas udara dan air di sekitar tambang. Kadar merkuri di air sungai yang dekat dengan lokasi tambang menunjukkan penurunan yang signifikan, meskipun masih diperlukan pemantauan jangka panjang untuk memastikan penurunan tersebut berkelanjutan. Ini mendukung temuan Bagia (Bagia, Setiani, and Rahardjo 2022), yang menyatakan bahwa salah satu dampak terbesar dari penggunaan teknologi ramah lingkungan dalam pertambangan adalah perbaikan kualitas air di daerah sekitar tambang.

Namun, keberhasilan penggunaan retort ini juga bergantung pada beberapa faktor. Selain pelatihan dan bimbingan teknis yang memadai, diperlukan perawatan dan monitoring berkala terhadap alat tersebut. Dalam praktiknya, beberapa penambang menghadapi kesulitan dalam pemeliharaan alat retort, yang memerlukan perhatian lebih terhadap aspek teknis agar alat dapat berfungsi dengan optimal. Oleh karena itu, pendampingan teknis yang berkelanjutan perlu dilakukan untuk memastikan bahwa alat retort digunakan dengan benar dan tetap terpelihara dalam jangka panjang.

Penggunaan teknologi retort sebagai metode alternatif dalam pengolahan emas telah terbukti berhasil menurunkan emisi merkuri yang dilepaskan ke udara. Teknologi retort mampu menangkap uap merkuri selama proses pembakaran amalgam, sehingga mengurangi emisi (Amankwah et al. 2017). Penggunaan retort ini memberikan keuntungan ganda, yaitu tidak hanya melindungi kesehatan para penambang tetapi juga menjaga kualitas udara dan air di lingkungan sekitar tambang (Hardianti et al. 2020). Penelitian menunjukkan bahwa kadar merkuri di air sungai sekitar tambang mengalami penurunan signifikan setelah adopsi teknologi retort (Rossin R. 2014; Kiefer et al. 2015). Hal ini mendukung temuan sebelumnya yang menunjukkan bahwa teknologi ramah lingkungan dalam pengolahan emas dapat memberikan

dampak positif bagi lingkungan (Amankwah et al. 2017).

3. Keterlibatan Masyarakat dalam Konservasi Lahan dan Rehabilitasi Lingkungan

Rehabilitasi lahan pasca tambang melalui kegiatan penanaman bibit di sekitar tambang menunjukkan bahwa masyarakat dapat terlibat aktif dalam upaya pelestarian lingkungan. Penanaman pohon dan tanaman penutup tanah di sepanjang daerah aliran sungai memberikan manfaat ekologi yang signifikan, terutama dalam hal pencegahan erosi dan perbaikan kualitas tanah yang telah terkontaminasi merkuri. Bibit pohon lokal yang ditanam, seperti pohon kayu keras, tidak hanya membantu memperbaiki tanah, tetapi juga mendukung keberlanjutan ekosistem dengan meningkatkan keanekaragaman hayati.

Keterlibatan masyarakat dalam kegiatan ini juga memiliki dampak positif terhadap peningkatan kesadaran lingkungan. Partisipasi aktif masyarakat dalam proses penanaman dan perawatan bibit memperkuat pemahaman mereka tentang pentingnya menjaga keseimbangan alam di sekitar tambang. Hal ini selaras dengan temuan-temuan dalam literatur yang menunjukkan bahwa partisipasi masyarakat dalam kegiatan pelestarian lingkungan dapat meningkatkan tanggung jawab kolektif dalam menjaga keberlanjutan ekosistem (Sumarjono, 2020).

Namun, untuk memastikan keberlanjutan dari kegiatan konservasi ini, diperlukan dukungan lebih lanjut dari pemerintah daerah dan lembaga terkait. Selain pengawasan dan monitoring terhadap keberhasilan penanaman, insentif bagi masyarakat yang terlibat dalam konservasi lahan juga penting untuk mendorong keterlibatan yang lebih besar. Jika tidak didukung oleh kebijakan yang kuat, ada risiko bahwa kegiatan konservasi ini hanya bersifat sementara dan tidak memberikan dampak jangka panjang.

Selain pengolahan emas yang ramah lingkungan, kegiatan konservasi lahan melalui penanaman bibit pohon di sekitar area tambang juga diterapkan untuk memperbaiki kondisi lahan yang terdegradasi akibat aktivitas tambang. Melalui kegiatan ini, masyarakat terlibat aktif dalam upaya memperbaiki kualitas tanah dan mencegah erosi di sepanjang aliran sungai yang terdampak (Sumarjono 2020). Pohon lokal yang ditanam memiliki daya tahan tinggi terhadap kondisi tanah yang sudah terkontaminasi merkuri, sehingga berfungsi optimal dalam memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan keanekaragaman hayati (Bagia, Setiani, and Rahardjo 2022). Partisipasi aktif masyarakat dalam konservasi lahan menunjukkan adanya perubahan kesadaran terhadap pentingnya menjaga keseimbangan ekosistem sebagai investasi bagi generasi mendatang (Siregar 2023)(Iskandar, 2021; Sutanto & Wardani, 2017).

4. Tantangan dan Rekomendasi untuk Keberlanjutan

Salah satu tantangan terbesar yang dihadapi dalam pengabdian ini adalah keberlanjutan dari penggunaan teknologi retort dan upaya konservasi lahan. Meskipun hasil awal sangat menjanjikan, perubahan pola pikir dan perilaku masyarakat membutuhkan waktu dan usaha yang konsisten. Penambang yang telah terbiasa dengan metode tradisional mungkin masih membutuhkan bimbingan teknis dan motivasi untuk beralih sepenuhnya ke metode yang lebih ramah lingkungan.

Untuk memastikan keberlanjutan dari teknologi retort, pemerintah daerah dan lembaga terkait harus memberikan dukungan jangka panjang, baik dalam bentuk pendanaan untuk perawatan alat, maupun pelatihan lanjutan untuk memastikan masyarakat tetap terampil dalam menggunakan teknologi ini. Selain itu, perlu ada sistem insentif bagi penambang yang secara konsisten menggunakan teknologi ramah lingkungan, misalnya melalui program sertifikasi tambang ramah lingkungan yang diakui secara regional atau nasional.

Dari segi konservasi lahan, penting untuk melibatkan lebih banyak pihak dalam kegiatan ini, termasuk para pemangku kepentingan dari sektor pertanian dan kehutanan, untuk memastikan bahwa lahan bekas tambang dapat dikelola secara berkelanjutan. Penanaman bibit pohon harus disertai dengan rencana jangka panjang untuk pengelolaan hutan yang melibatkan masyarakat, sehingga selain memulihkan ekosistem, kegiatan ini juga memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat.

Penerapan teknologi retort dan edukasi yang diberikan dalam pelatihan menghasilkan perubahan positif pada praktik penambangan di Desa Totopo. Sebelumnya, masyarakat menggunakan metode konvensional dengan risiko tinggi yang mengakibatkan paparan merkuri secara langsung tanpa perlindungan yang memadai (Arifin, Sakakibara, and Sera 2015). Namun, dengan pelatihan intensif mengenai penggunaan teknologi retort, para penambang mulai mengadopsi praktik yang lebih aman dan bertanggung jawab, yang tidak hanya meningkatkan kesehatan mereka sendiri tetapi juga memberikan dampak positif terhadap kualitas lingkungan (Spiegel et al. 2018). Hal ini menunjukkan peningkatan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya menjaga kelestarian lingkungan dalam kegiatan tambang mereka (Kiefer et al. 2015). Meskipun teknologi retort terbukti efektif dalam mengurangi paparan merkuri, penerapannya di lapangan masih menghadapi tantangan. Beberapa penambang mengalami kesulitan dalam pemeliharaan alat retort, yang memerlukan perhatian teknis khusus untuk berfungsi dengan optimal (Arifin et al. 2020). Pendampingan teknis yang

berkelanjutan dan dukungan dari pemerintah atau lembaga terkait diperlukan untuk menjaga keberlanjutan penggunaan teknologi ini. Dukungan dalam bentuk bantuan teknis dan finansial sangat penting agar penambang mampu mempertahankan teknologi ini dalam jangka panjang (Peraturan Presiden Republik of Indonesia 2019; Pergub Gorontalo 2020). Dengan adanya pengawasan dan dukungan berkelanjutan, diharapkan teknologi ramah lingkungan dapat terus digunakan dalam kegiatan tambang rakyat di wilayah ini .

5. Implikasi Kesehatan dan Lingkungan Jangka Panjang

Penggunaan teknologi retort dan upaya konservasi lahan yang dilakukan dalam pengabdian ini memiliki dampak jangka panjang yang signifikan terhadap kesehatan masyarakat dan kelestarian lingkungan. Dengan berkurangnya emisi merkuri, masyarakat di Desa Totopo dapat terhindar dari berbagai risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh paparan merkuri. Selain itu, rehabilitasi lahan melalui penanaman pohon dan perbaikan kualitas air sungai akan memberikan manfaat ekologis yang dapat dinikmati oleh generasi mendatang.

Pengabdian ini juga memberikan bukti bahwa intervensi yang berbasis teknologi dan partisipasi masyarakat dapat menjadi solusi efektif dalam menghadapi tantangan lingkungan di sektor pertambangan emas rakyat. Namun, keberhasilan jangka panjang tetap membutuhkan komitmen berkelanjutan dari semua pihak yang terlibat, termasuk pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta.

Untuk memastikan keberlanjutan program ini, perlu adanya insentif bagi penambang yang menggunakan teknologi ramah lingkungan. Program sertifikasi tambang ramah lingkungan, yang diakui secara lokal dan nasional, dapat menjadi langkah penting dalam mendorong adopsi teknologi retort secara konsisten. Selain itu, dukungan dalam bentuk pelatihan lanjutan dan perawatan alat juga sangat diperlukan agar penambang memiliki keterampilan yang memadai untuk merawat teknologi retort dan mengoptimalkan penggunaannya (Kosai, Nakajima, and Yamasue 2023). Dengan adanya insentif yang tepat, penambang akan lebih termotivasi untuk mengadopsi praktik pengolahan yang ramah lingkungan dan bertanggung jawab, sehingga mendukung keberlanjutan program pengabdian masyarakat ini.

Kesimpulan

Kegiatan pengabdian yang dilaksanakan di Desa Totopo, Kecamatan Bilato, Kabupaten Gorontalo, berhasil meningkatkan kesadaran masyarakat akan bahaya merkuri dan memperkenalkan teknologi pengolahan emas yang lebih aman. Sosialisasi yang dilakukan

meningkatkan pemahaman masyarakat tentang pentingnya kesehatan dengan mengurangi paparan merkuri dan konsumsi makanan sehat, yang berdampak positif pada kualitas hidup penambang. Implementasi teknologi retort terbukti efektif dalam mengurangi emisi merkuri, sehingga kualitas udara dan air di sekitar tambang menjadi lebih baik. Pelatihan intensif yang diberikan kepada masyarakat mengenai penggunaan retort juga meningkatkan keterampilan teknis penambang, sehingga mereka dapat bekerja lebih aman dan bertanggung jawab. Selain itu, kegiatan konservasi lahan melalui penanaman bibit di sekitar area tambang turut membantu pemulihan lingkungan dan meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya menjaga ekosistem. Untuk menjaga keberlanjutan dari dampak positif kegiatan ini, dibutuhkan dukungan berkelanjutan dari pemerintah, lembaga terkait, dan masyarakat. Pemeliharaan alat retort, monitoring lingkungan secara rutin, dan pendampingan teknis yang konsisten diperlukan untuk memastikan perubahan perilaku dan praktik pertambangan yang lebih bertanggung jawab. Dengan adanya dukungan ini, diharapkan praktik pertambangan emas rakyat di Desa Totopo dapat bertransformasi menjadi lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan, meningkatkan kesejahteraan masyarakat tanpa merusak lingkungan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada DRPTM atas dukungan dan pendanaan yang diberikan untuk kegiatan pengabdian dengan nomor kontrak 029/E5/PG.02.00/PM.BATCH.2/2024 tanggal 31 Juli 2024. Dukungan ini sangat berperan penting dalam menunjang tercapainya tujuan dari pengabdian BIMA. Kami berharap kolaborasi ini dapat terus berlanjut demi mewujudkan pengabdian yang lebih luas dan berdampak nyata bagi masyarakat.

Daftar Referensi

- Abdul Gafur, Nurfitri, Masayuki Sakakibara, Koichiro Sera, Yuyu Indriati Arifin, Nurfitri Abdul Gafur, Masayuki Sakakibara, Koichiro Sera, and Yuyu Indriati Arifin. 2020. "Toxic Metal Concentrations of Human Hair in Downstream of ASGM Sites in Bone Bolango Regency, Gorontalo Province, Indonesia." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 536, no. 1: 12006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/536/1/012006>.
- Amankwah, R K, Dickson Kwabena Adjei, Grace Ofori-Sarpong, and D K Adjei. 2017. "Preprint 17-018 Breaking The Wall Of Asm Mercury Pollution: The Lantern Retort." <https://www.researchgate.net/publication/318589306>.

- Arifin, Yayu Indriati, Masayuki Sakakibara, and Koichiro Sera. 2015. "Impacts of Artisanal and Small-Scale Gold Mining (ASGM) on Environment and Human Health of Gorontalo Utara Regency, Gorontalo Province, Indonesia." *Geosciences* 5, no. 2: 160–76. <https://doi.org/10.3390/geosciences5020160>.
- Arifin, Yayu Indriati, Masayuki Sakakibara, Koichiro Sera, Yayu Indriati Arifin, Masayuki Sakakibara, and Koichiro Sera. 2014. "Arsenic, Lead, and Mercury Concentrations of Scalp Hairs in ASGM Miners and Inhabitants of Gorontalo Utara Regency, Gorontalo Province, Indonesia." Takizawa, Japan.
- Arifin, Yayu Indriati, Masayuki Sakakibara, Sayaka Takakura, Mohamad Jahja, Fitryane Lihawa, and Koichiro Sera. 2020. "Artisanal and Small-Scale Gold Mining Activities and Mercury Exposure in Gorontalo Utara Regency, Indonesia." *Toxicological and Environmental Chemistry* 102, no. 10: 521–42. <https://doi.org/10.1080/02772248.2020.1839074>.
- Aziz Salam, Femy M. Sahami, Citra Panigoro, Yayu Indriati Arifin, and Masayuki Sakakibara, Aziz Salam, Femy M Sahami, Citra Panigoro, Yayu Indriati Arifin, and Masayuki Sakakibara. 2016. "Threats to Food Safety and Sustainability of Nike (*Awaous Melanocephalus*) in Gorontalo Province." *KnowledgeE Life Sciences*, 1–23.
- Bagia, Murniwati, Onny Setiani, and Mursid Rahardjo. 2022. "Dampak Paparan Merkuri Terhadap Gangguan Kesehatan Penambang Emas Skala Kecil: Systematic Review." *Poltekita: Jurnal Ilmu Kesehatan* 16, no. 3 (November): 392–401. <https://doi.org/10.33860/jik.v16i3.1238>.
- Baker, R, and K Telmer. 2007. "Summary of Fish Mercury Data from Tanoyan Mining Area, Bolaang Mongodow North Sulawesi. UNIDO."
- Budiastutik, Indah, and Achadi Nugraheni. 2018. "Determinants of Stunting in Indonesia: A Review Article." *International Journal Of Healthcare Research*. Vol. 1.
- Goyer, R A. 1995. "Nutrition and Metal Toxicity." *The American Journal of Clinical Nutrition* 61, no. 3: 646S-650S. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ajcn/61.3.646S>.
- Hardianti, Anindita, Teguh Prayogo, Noval Hudiya, Sri Lusiani, Ayunda Puti Andini, Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Mineral, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, and Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Lebak. 2020. "Inventarisasi Penggunaan Merkuri Pada Pertambangan Emas Skala Kecil Di Kecamatan Bayah, Kabupaten Lebak." *JURNAL ENVIROTEK VOL.* Vol. 12.
- Kiefer, Adam M, Kevin Drace, Caryn S Seney, and Marcello M Veiga. 2015. "Challenges Associated with Using Retorts To Limit Mercury Exposure in Artisanal and Small-Scale Gold Mining: Case Studies from Mozambique, Ecuador, and Guyana." In *Trace Materials in Air, Soil, and Water*, 1210:3–51. ACS Symposium Series. American Chemical Society. <https://doi.org/doi:10.1021/bk-2015-1210.ch003>.
- Kosai, Shoki, Kenichi Nakajima, and Eiji Yamasue. 2023. "Mercury Mitigation and

- Unintended Consequences in Artisanal and Small-Scale Gold Mining.” *Resources, Conservation and Recycling* 188, no. January (January).
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106708>.
- Marumoto, Masumi, Mineshi Sakamoto, Kohji Marumoto, Shozo Tsuruta, and Yoshihiro Komohara. 2020. “Mercury and Selenium Localization in the Cerebrum, Cerebellum, Liver, and Kidney of a Minamata Disease Case.” *Acta Histochemica et Cytochemica* 53, no. 6: 147–55. <https://doi.org/10.1267/ahc.20-00009>.
- Masruddin and Asti Mulasari, Surahma. 2021. “Gangguan Kesehatan Akibat Pencemaran Merkuri (Hg) Pada Penambangan Emas Ilegal Health Problems Due to Mercury (Hg) Contamination in Illegal Gold Mining.” *Jurnal Kesehatan Terpadu (Integrated Health Journal)*. Vol. 12. Online.
- Pateda, Manovita, Masayuki Sakakibara, and Koichiro Sera. 2021. “Element Rich Area Associated with Human Health Disorders: A Geomedical Science Approach to Potentially Toxic Elements Contamination.” *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18, no. 22: 12202.
- Pateda, Sri Manovita, Masayuki Sakakibara, and Koichiro Sera. 2018. “Lung Function Assessment as an Early Biomonitor of Mercury-Induced Health Disorders in Artisanal and Small-Scale Gold Mining Areas in Indonesia.” *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15, no. 11: 14–23.
<https://doi.org/10.3390/ijerph15112480>.
- Peraturan Presiden Republik of Indonesia. 2019. “Perpres Nomor 21 Tahun 2019.” Jakarta.
- Pergub Gorontalo. 2020. “Pergub No. 71 Th 2020 Ttg Rencana Aksi Daerah Pengurangan & Penghapusan Merkuri.”
- Rossin R., Telmer K. Richard M. Black Moher P. 2014. “Using Retorts to Reduce Mercury Use , Emissions , and Exposures in Artisanal and Small-Scale Gold Mining: A Practical Guide.” *Comparative Analysis of Conventional and Conservation Agriculture*.
<https://doi.org/10.1021/nl103623e>.
- Siregar, Muhammad Arief Rahmadsah. 2023. “Peran Pertanian Organik Dalam Mewujudkan Keberlanjutan Lingkungan Dan Kesehatan Masyarakat.”
- Spiegel, Samuel J., Sumali Agrawal, Dino Mikha, Kartie Vitamerry, Philippe Le Billon, Marcello Veiga, Kulansi Konolius, and Bardolf Paul. 2018. “Phasing Out Mercury? Ecological Economics and Indonesia’s Small-Scale Gold Mining Sector.” *Ecological Economics* 144, no. February (February): 1–11.
<https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2017.07.025>.
- Sumarjono, Erry. 2020. “Kompleksitas Permasalahan Merkuri Dalam Pengolahan Bijih Emas Berdasarkan Perspektif Teknis Lingkungan Manusia Dan Masa Depan.” Vol. 5.
- Telmer, Kevin H, and Marcello M Veiga. 2009. “World Emissions of Mercury from Small



Scale and Artisanal Gold Mining.” *Mercury Fate and Transport in the Global Atmosphere Emissions, Measurements and Models*. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-93958-2>.

Veiga, Marcello. 2004. “Equipment Specification for the Demonstration Units in Tanzania Global Mercury Project.”

Wu, Yuan Seng, Ahmed I. Osman, Mohamed Hosny, Ahmed M. Elgarahy, Abdelazeem S. Eltaweil, David W. Rooney, Zhonghao Chen, et al. 2024. “The Toxicity of Mercury and Its Chemical Compounds: Molecular Mechanisms and Environmental and Human Health Implications: A Comprehensive Review.” *ACS Omega*. American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c07047>.

Zafar, Ayesha, Sadia Javed, Nadia Akram, and Syed Ali Raza Naqvi. 2024. “Health Risks of Mercury.” In *Mercury Toxicity Mitigation: Sustainable Nexus Approach*, edited by Nitish Kumar, 67–92. Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-48817-7_3.