



BRIN
BADAN RISET
DAN INOVASI NASIONAL

BUKU SAKU MERKURI: Menuju Penghapusan Merkuri di Pertambangan Emas Skala Kecil



Ajeng Arum Sari, Sunu Pertiwi, Miranti Ariyani,
Yohanes Susanto Ridwan, dan Driszal Fryantoni

BUKU SAKU MERKURI:

Menuju Penghapusan Merkuri
di Pertambangan Emas Skala Kecil



Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dilarang mereproduksi atau memperbanyak seluruh atau sebagian dari buku ini dalam bentuk atau cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

© Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang No. 28 Tahun 2014

All Rights Reserved

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BUKU SAKU MERKURI:

Menuju Penghapusan Merkuri
di Pertambangan Emas Skala Kecil



Ajeng Arum Sari, Sunu Pertiwi, Miranti Ariyani,
Yohanes Susanto Ridwan, dan Driszal Fryantoni

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2022 Ajeng Arum Sari, Sunu Pertiwi, Miranti Ariyani, Yohanes Susanto Ridwan, dan Driszal Fryantoni

Buku Saku Merkuri: Menuju Penghapusan Merkuri di Pertambangan Emas Skala Kecil /Ajeng Arum Sari, Sunu Pertiwi, Miranti Ariyani, Yohanes Susanto Ridwan, dan Driszal Fryantoni– Jakarta: Penerbit BRIN, 2022.

xiv + 67 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-623-99348-1-1 (cetak)
978-623-99348-2-8 (e-book)

1. Merkuri
2. Pertambangan emas skala kecil
3. Ekstraksi emas
4. Penghapusan merkuri

553.4

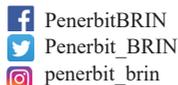
Copy editor : Sonny Heru Kusuma
Proofreader : Risma Wahyu Hartiningsih dan Annisa' Eskahita Azizah
Penata Isi : Meita Safitri
Desainer Sampul : Meita Safitri

Cetakan : Maret 2022

Diterbitkan oleh:



Penerbit BRIN
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B.J. Habibie, Jl. M.H. Thamrin No.8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
Whatsapp: 0811-8612-369
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id



Atas kerja sama:
Loka Penelitian Teknologi Bersih
Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
dengan didanai oleh Yayasan Sumitomo untuk proyek penelitian
yang terkait Jepang tahun fiskal 2019 (Nomor Pendaftaran: 198270).
The Sumitomo Foundation
1-12-16 Shibadaimon
Minato-ku, Tokyo JAPAN 105-0012
Telp.: 81-3-5473-0161

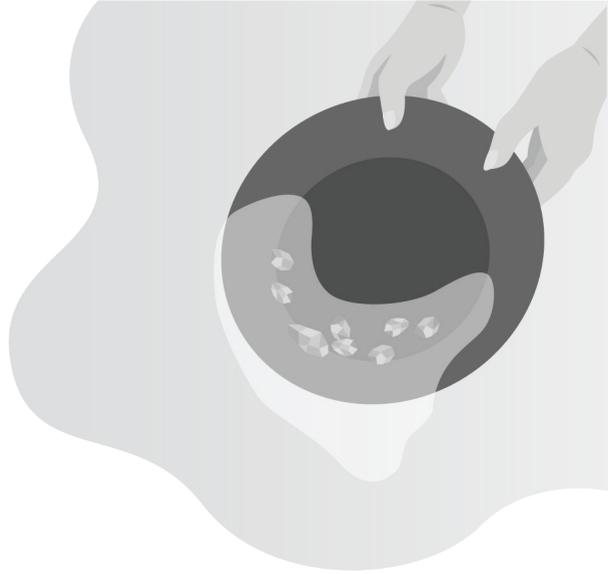
Buku ini merupakan karya buku yang terpilih dalam Program Akuisisi Pengetahuan Lokal Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah, Badan Riset dan Inovasi Nasional.



Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

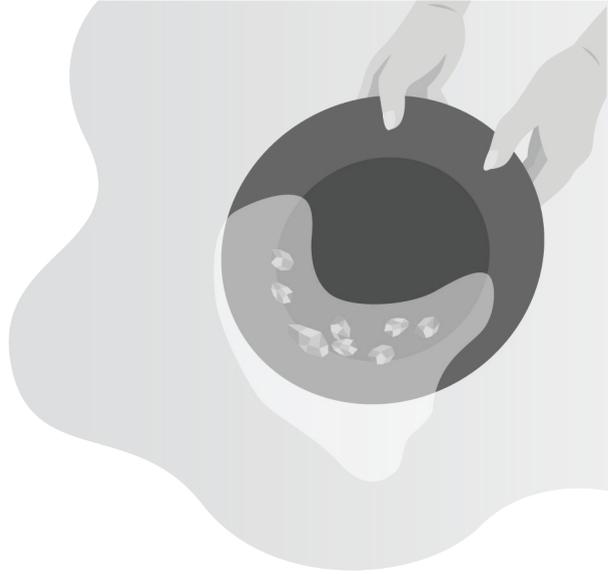
Daftar Isi



Daftar Gambar.....	vii
Pengantar Penerbit.....	ix
Kata Pengantar	xi
Prakata	xiii
Bab 1 Pendahuluan	1
A. Karakteristik Merkuri	3
B. Dampak Merkuri terhadap Kesehatan	6
1. Dampak Merkuri terhadap Pencernaan	6
2. Dampak Merkuri terhadap Ginjal	7
3. Dampak Merkuri terhadap Otak.....	8
4. Dampak Merkuri terhadap Reproduksi Manusia	8
C. Dampak Merkuri terhadap Lingkungan.....	9
Bab 2 Pertambangan Emas Skala Kecil (PESK).....	13
A. Profil Pertambangan Emas Skala Kecil	13
B. Teknik Penambangan Emas	15
1. Metode Amalgamasi Bijih Utuh	16
2. Metode Amalgamasi Konsentrat.....	17

C.	Rekapitulasi Perhitungan <i>Baseline</i> Penggunaan Merkuri di PESK dengan Metode <i>UN Toolkit</i>	20
D.	Perempuan pada PESK.....	22
Bab 3	Pengelolaan Merkuri di PESK	25
A.	Regulasi terkait Pengelolaan Merkuri di PESK	25
B.	Strategi Pengelolaan Merkuri di PESK	27
C.	Pengolahan Limbah Merkuri	32
Bab 4	Teknologi Nonmerkuri di PESK.....	35
A.	Teknologi Sianidasi	35
B.	Teknologi Tiourea	38
C.	Teknologi Tiosulfat	39
D.	Teknologi iGoli.....	41
E.	Teknologi Flotasi.....	42
F.	Penerapan Teknologi Pengolahan Emas Nonmerkuri pada PESK di Indonesia	43
Bab 5	Penutup	47
	Daftar Pustaka	49
	Daftar Istilah (Glosarium)	55
	Daftar Singkatan.....	61
	Indeks	63
	Biografi Penulis.....	65

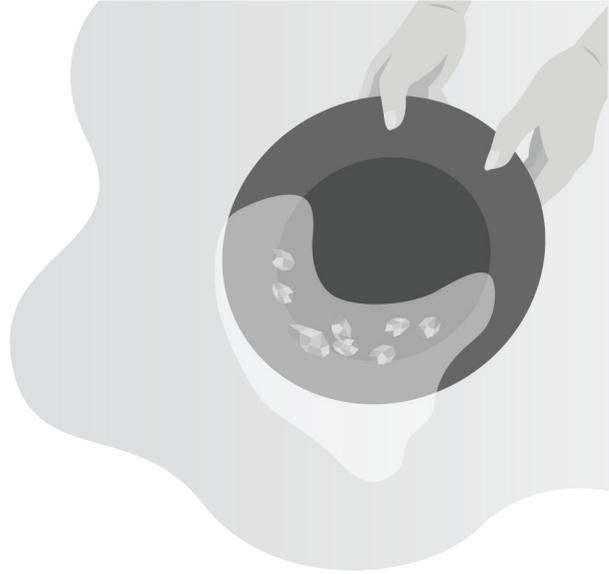
Daftar Gambar



Gambar 1.	Persentase Emisi Merkuri Global yang Bersumber secara Alami	4
Gambar 2.	Persentase Emisi Merkuri Global yang Bersumber secara Antropogenik	5
Gambar 3.	Senyawa Tiol yang Berikatan dengan Merkuri	7
Gambar 4.	Skema Transportasi Merkuri di Lingkungan	10
Gambar 5.	Kerusakan Infrastruktur di Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah	12
Gambar 6.	Perkiraan Konsumsi Merkuri Tahunan di PESK Global	14
Gambar 7.	Proses Penambangan Emas di PESK	15
Gambar 8.	Proses Pendulangan Bijih Emas (<i>Panning</i>)	17
Gambar 9.	Proses Pengambilan Batuan Bijih Emas dengan <i>Sluice Box</i>	18
Gambar 10.	Pengumpulan Konsentrat	19
Gambar 11.	Pemurnian Emas	20
Gambar 12.	Perhitungan Penggunaan Merkuri di PESK Bolaang Mongondow Timur, Sulawesi Utara, Indonesia pada 2018	21
Gambar 13.	Rekapitulasi Penggunaan Merkuri di PESK Bolaang Mongondow Timur pada 2018 menggunakan metode <i>UN Toolkit</i>	22

Gambar 14. Pedoman tentang Pengelolaan Merkuri di PESK	30
Gambar 15. Tahapan Pelindian Emas Menggunakan Teknologi Sianidasi.....	37
Gambar 16. Pengolahan Emas Menggunakan Teknologi Flotasi	42

Pengantar Penerbit



Sebagai penerbit ilmiah, Penerbit BRIN mempunyai tanggung jawab untuk terus berupaya menyediakan terbitan ilmiah yang berkualitas. Upaya tersebut merupakan salah satu perwujudan tugas Penerbit BRIN untuk turut serta membangun sumber daya manusia unggul dan mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan dalam pembukaan UUD 1945.

Pemerintah Indonesia telah berkomitmen untuk mengurangi dan menghapuskan penggunaan merkuri secara nasional di mana sektor pertambangan emas skala kecil (PESK) adalah salah satu dari empat bidang yang menjadi prioritas. Pengetahuan tentang merkuri dan bahayanya harus terus-menerus disebarluaskan agar target pemerintah dalam hal pengurangan dan penghapusan merkuri dapat tercapai.

Buku ini mempermudah pembaca untuk mendapatkan informasi yang ringkas, padat, dan jelas terkait dengan penggunaan merkuri dan pengelolannya di PESK, apa dampak yang ditimbulkan, serta teknologi alternatif pengganti merkuri. Buku ini diharapkan dapat menjadi panduan bagi para pembaca untuk memahami tentang penggunaan merkuri di PESK dan upaya penghapusan penggunaan merkuri di sektor tersebut.

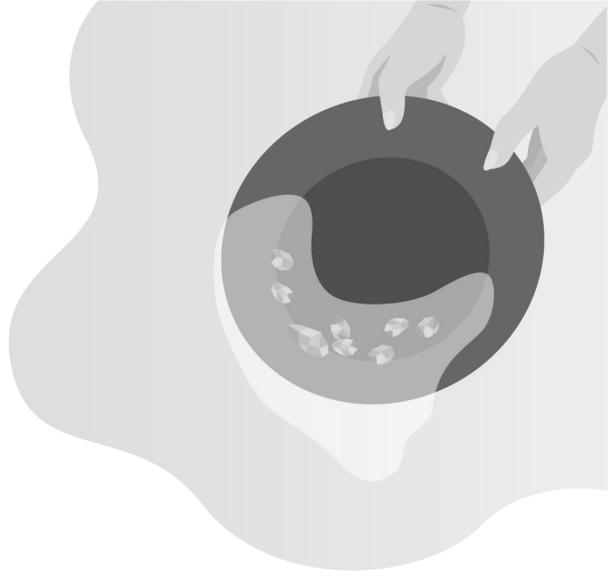
Buku ini tidak diperjualbelikan.

Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan buku ini.

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Kata Pengantar



Penggunaan merkuri yang menyebabkan permasalahan lingkungan dan kesehatan manusia menjadi perhatian dunia. Sebagai upaya pengelolaan merkuri, Pemerintah Indonesia telah meratifikasi Konvensi Minamata pada 2017 melalui pengesahan Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2017. Pascaratifikasi, Pemerintah Indonesia menerbitkan Peraturan Presiden Nomor 21 Tahun 2019 tentang Rencana Aksi Nasional Pengurangan dan Penghapusan Merkuri (RAN-PPM) dalam upaya mengurangi emisi merkuri pada lingkungan.

Beberapa tahun lalu, mayoritas pertambangan emas skala kecil (PESK) di Indonesia menggunakan merkuri untuk mengekstraksi emas. Akibatnya, merkuri dari PESK menjadi salah satu sumber terbesar pelepasan merkuri ke lingkungan. Oleh karena itu, salah satu target dalam RAN-PPM adalah penghapusan merkuri di bidang prioritas PESK, yakni sebesar 100% pada 2025.

Berbagai program dan kegiatan telah dikembangkan dan dilakukan oleh Pemerintah Indonesia sebagai upaya pengelolaan merkuri di PESK, antara lain pengembangan kebijakan penghapusan merkuri, penerapan teknologi pengolahan emas yang ramah lingkungan, serta pengendalian dampak lingkungan dan dampak kesehatan merkuri.

Buku Saku Merkuri: Menuju Penghapusan Merkuri di Pertambangan Emas Skala Kecil yang disusun oleh tim Badan Riset dan Ino-

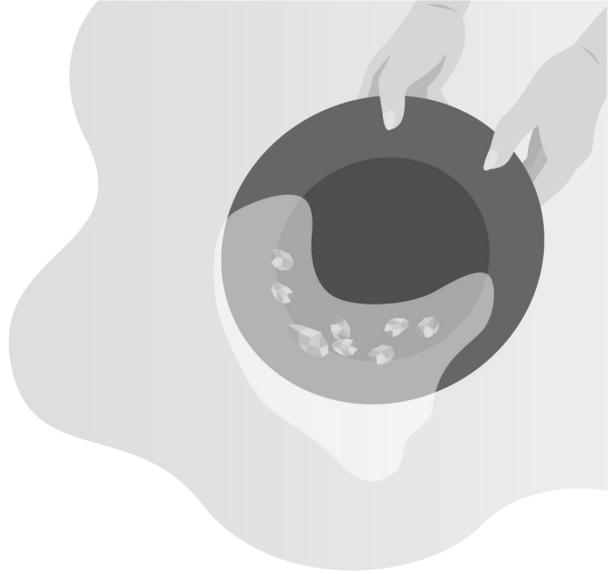
vasi Nasional (BRIN) merupakan salah satu upaya pendokumentasian jejak langkah pengelolaan merkuri di sektor PESK di Indonesia. Buku saku ini mendukung Pemerintah Indonesia dalam menyosialisasikan pengelolaan merkuri di PESK kepada berbagai pemangku kepentingan. Kami percaya buku saku ini dapat menambah wawasan para pembaca mengenai isu merkuri dan penggunaannya di PESK.

Jakarta, 12 November 2021

Yun Insiani
Pengendali Dampak Lingkungan Ahli Utama

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Prakata



Sektor pertambangan emas skala kecil (PESK) di seluruh dunia merupakan sumber terbesar pelepasan merkuri ke lingkungan. Merkuri dapat mencemari ekosistem dan menyebabkan masalah kesehatan serius bagi manusia karena dapat terakumulasi pada ekosistem yang kompleks. Oleh karena itu, penghapusan merkuri dari sektor PESK merupakan hal yang sangat penting. Di sisi lain, sektor PESK telah menjadi sumber mata pencaharian yang sangat penting bagi banyak orang, khususnya penambang dan pengolah emas.

Hal ini mendorong Pemerintah Indonesia untuk meratifikasi Konvensi Minamata dengan menerbitkan Undang-Undang (UU) Nomor 11 Tahun 2017 terkait pelarangan merkuri dan mengeluarkan Peraturan Presiden Nomor 21 Tahun 2019 tentang Rencana Aksi Nasional Pengurangan dan Penghapusan Merkuri (RAN-PPM) dalam upaya mengurangi emisi merkuri pada lingkungan.

Sebagai upaya dukungan kepada pemerintah terkait pengelolaan merkuri di Indonesia, kami menerbitkan *Buku Saku Merkuri: Menuju Penghapusan Merkuri di Pertambangan Emas Skala Kecil*. Buku ini memuat penggunaan merkuri dalam pengolahan emas serta dampaknya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, regulasi terkait PESK, pedoman tentang pengelolaan merkuri, teknologi-teknologi pengolahan limbah merkuri, dan teknologi alternatif pengganti

Buku ini tidak diperjualbelikan.

merkuri. Sasaran pembaca buku ini adalah penambang dari PESK di Indonesia dan pemerintah yang berperan sebagai pemangku kepentingan.

Buku ini menjelaskan penggunaan merkuri pada kegiatan PESK dengan komprehensif. Buku ini dibuat secara ringkas sehingga mudah dibawa dan dijadikan panduan bagi para pihak yang berkenaan dengan kegiatan PESK. Walaupun buku mengenai pertambangan emas dan merkuri telah banyak diterbitkan dengan beragam bentuk, buku ini menyajikan secara komprehensif penggunaan merkuri dan dampaknya terhadap manusia serta lingkungan dan bagaimana merkuri secara luas digunakan pada kegiatan PESK di Indonesia.

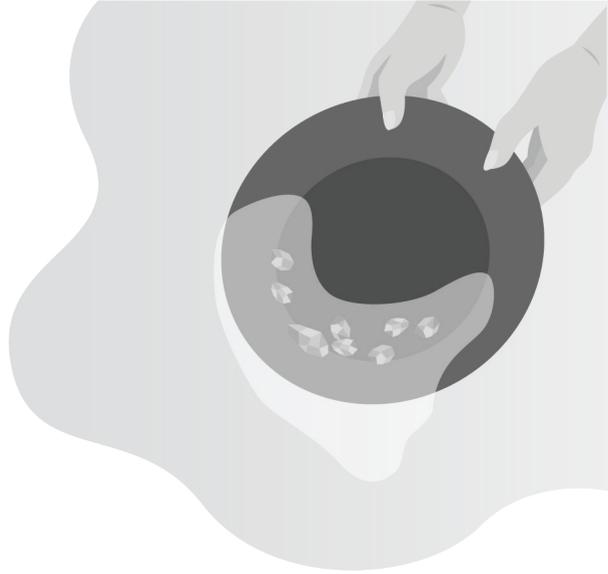
Harapan kami, semoga penerbitan buku saku ini dapat menambah wawasan para pembaca mengenai penggunaan merkuri di PESK sehingga pada 2025 penghapusan merkuri sebesar 100% di sektor PESK dapat terwujud.

Tim Penulis

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Bab 1

Pendahuluan



Konvensi Minamata mengenai Merkuri bertujuan untuk melindungi kesehatan manusia dan lingkungan hidup dari emisi dan lepasan merkuri maupun senyawa-senyawa merkuri yang bersifat antropogenik (Minamata Convention on Mercury, 2019). Konvensi Minamata mengatur pengadaan dan perdagangan merkuri dan senyawa merkuri, termasuk di dalamnya pertambangan merkuri, penggunaannya sebagai bahan tambahan di dalam produk dan proses produksi, pengelolaan merkuri di pertambangan emas skala kecil (PESK), pengendalian emisi dan lepasan merkuri dari industri ke udara, air dan tanah, penyimpanan stok/cadangan merkuri dan senyawa merkuri sebagai bahan baku/tambahan produksi, pengelolaan limbah merkuri dan lahan terkontaminasi merkuri, serta kerja sama internasional dalam pengelolaan bantuan teknis, pendanaan dan pertukaran informasi.

Pemerintah Indonesia meratifikasi Konvensi Minamata dengan menerbitkan Undang-Undang (UU) Nomor 11 Tahun 2017 terkait pelarangan merkuri. Tujuan Pemerintah Indonesia dalam meratifikasi Konvensi Minamata adalah memperoleh manfaat, di antaranya memberikan dasar hukum untuk mengeluarkan peraturan perundang-undangan dan kebijakan untuk menjamin lingkungan hidup yang sehat; menjaga kesehatan serta melindungi generasi mendatang dari dampak negatif merkuri. Kemudian, Pemerintah Indonesia mengeluarkan Peraturan Presiden Nomor 21 Tahun 2019 tentang Rencana

Aksi Nasional Pengurangan dan Penghapusan Merkuri (RAN-PPM) dalam upaya mengurangi emisi merkuri pada lingkungan. Pelaksanaan RAN-PPM diprioritaskan pada empat bidang, yaitu a) manufaktur, b) energi, c) pertambangan emas skala kecil (PESK), dan d) kesehatan.

Target penghapusan merkuri di bidang prioritas PESK adalah sebesar 100% pada 2025. PESK menjadi salah satu sektor yang sangat penting karena Indonesia memiliki 24 PESK yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia dengan total jumlah penambang sebanyak 105.600 orang di pertambangan emas primer dan 73.600 orang di pertambangan emas sekunder (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020a). Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2020a) juga menyebutkan bahwa dalam setahun, perkiraan jumlah penggunaan merkuri adalah sebesar 1.727,5 ton, perkiraan emisi merkuri sebesar 345,5 ton, dan total perkiraan produksi emas sebanyak 53,8 ton.

Merkuri yang dapat terakumulasi pada ekosistem yang kompleks dapat mencemari lingkungan ekosistem dan perikanan dunia. Paparan merkuri dapat menyebabkan masalah kesehatan yang serius, khususnya pada perkembangan bayi di dalam kandungan sebagai tahap awal kehidupan (Ha dkk., 2017). Di sisi lain, sektor PESK telah menjadi sumber mata pencaharian yang sangat penting bagi banyak orang.

Sebagian besar penambang PESK menggunakan merkuri untuk mengekstraksi bijih emas tanpa pengetahuan tentang penanganan merkuri atau detoksifikasi *tailing*. Selama proses ini, amalgam emas-merkuri dipisahkan dan *tailing* penambangan emas dengan sisa merkuri langsung dibuang ke lingkungan, terutama badan air, tanpa pengolahan. Selain itu, uap merkuri juga dilepaskan ke atmosfer ketika amalgam emas-merkuri dipanaskan untuk mendapatkan emas padat. Merkuri yang masuk ke lingkungan melalui kegiatan PESK dapat berubah menjadi metil merkuri dan masuk ke dalam rantai makanan, sedangkan uap merkuri dapat terpapar pada manusia melalui inhalasi atau mengendap di lingkungan. Oleh karena itu, pengelolaan limbah merkuri di PESK sangat diperlukan untuk menghindari pencemaran lingkungan akibat limbah merkuri.

Buku Saku Merkuri: Menuju Penghapusan Merkuri di Pertambangan Emas Skala Kecil ini bertujuan memberikan pengetahuan secara sederhana mengenai upaya pengelolaan merkuri di PESK di Indonesia, di antaranya penggunaan merkuri untuk ekstraksi emas, dampak merkuri terhadap kesehatan, profil PESK di Indonesia, dan teknologi pengolahan limbah merkuri. Buku ini terbagi dalam lima bab. Bab 1 adalah Pendahuluan, yang berisi tentang karakteristik merkuri serta dampak merkuri terhadap kesehatan dan lingkungan. Bab 2 menjelaskan tentang PESK yang meliputi profil PESK, teknik penambangan emas, rekapitulasi perhitungan *baseline* penggunaan merkuri di PESK dengan metode *UN Toolkit*, dan perempuan pada PESK. Selanjutnya, Bab 3 akan menjelaskan terkait pengelolaan merkuri di PESK yang terdiri atas regulasi tentang pengelolaan merkuri di PESK, strategi pengelolaan merkuri di PESK, serta pengelolaan limbah merkuri. Bab 4 menyajikan teknologi nonmerkuri di PESK yang terdiri atas teknologi sianidasi, teknologi tiourea, teknologi tiosulfat, teknologi iGoli, teknologi flotasi, dan penerapan teknologi pengolahan emas nonmerkuri pada PESK di Indonesia. Terakhir, Bab 5 merupakan Penutup, yang menjelaskan bahwa rencana penghapusan merkuri di PESK membutuhkan peran serta pemangku kepentingan, yaitu pemerintah pusat, pemerintah daerah, kementerian/lembaga, penambang dan pengolah emas, serta masyarakat, baik yang bermukim di sekitar wilayah PESK maupun yang tidak.

A. Karakteristik Merkuri

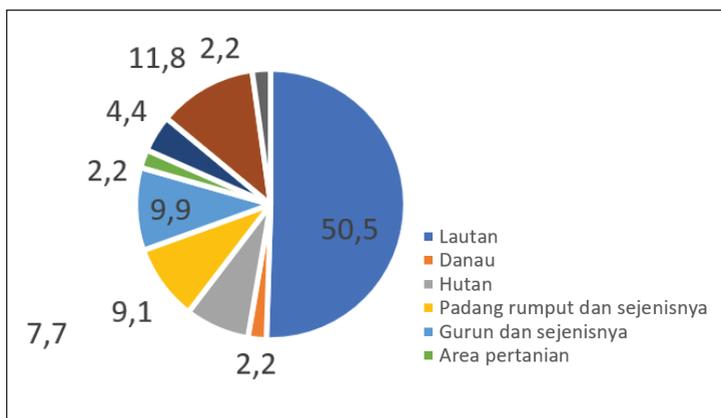
Merkuri atau raksa berasal dari bahasa Latin, yaitu *hydrargyrum* (Hg), sedangkan dalam bahasa Inggris disebut juga *mercury*, yang artinya 'mudah menguap'. Berdasarkan sifat fisiknya, merkuri merupakan cairan logam yang tidak berbau, mengkilap, tidak larut dalam air, dan memiliki mobilitas yang tinggi. Merkuri berwarna putih perak pada fase cair, berwarna abu-abu pada fase padat, memiliki sifat konduktor listrik yang baik, dan memiliki sifat konduktor panas yang buruk. Selain itu, merkuri memiliki potensi oksidasi yang rendah sehingga hanya bereaksi dengan oksigen pada suhu tinggi (356,9 °C) membentuk HgO serta dapat membeku pada suhu -38,87 °C (Hutagalung, 1985).

Merkuri (Hg) merupakan senyawa beracun yang tersebar di permukaan bumi. Merkuri memiliki berbagai bentuk kimia, yaitu gas merkuri (Hg^0), anorganik merkuri (Hg^+ dan Hg^{2+}), dan organologam merkuri (seperti fenilmerkuri, dimetilmerkuri, dan metil merkuri (MeHg)). Unsur-unsur ini dapat ditemukan secara alami dan antropogenik (Budiawan, 2013; Mahbub dkk., 2017; Niane dkk., 2019). Merkuri di alam dapat berasal dari lautan, tanah, gurun, gunung berapi, dan lainnya. Di sisi lain, merkuri dari kegiatan manusia dapat ditemukan di bahan bakar fosil, produksi logam *non-ferrous*, produksi semen, pertambangan emas, pembakaran batubara, dan lainnya. Merkuri dari kedua sumber ini dapat menghasilkan emisi secara global. Persentasenya disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Hg

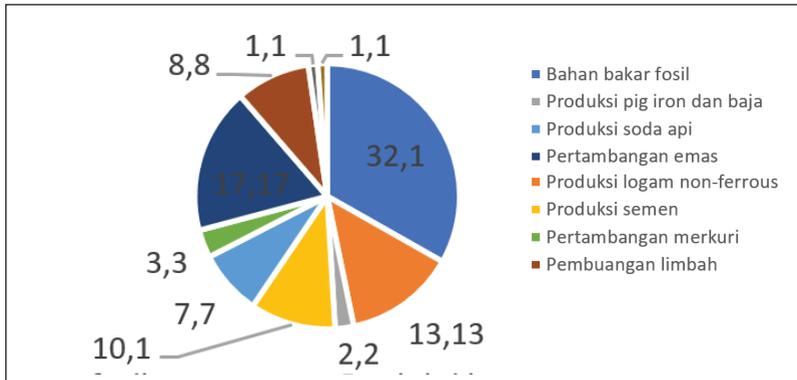
Merkuri

Nomor atom	: 80
Berat atom	: 200,61
Titik didih	: 356,9 °C
Titik beku	: -38,87 °C
Densitas	: 13,55
Tegangan	: 547 dine



Sumber: Mahbub dkk. (2017)

Gambar 1. Persentase Emisi Merkuri Global yang Bersumber secara Alami



Sumber: Mahbub dkk. (2017)

Gambar 2. Persentase Emisi Merkuri Global yang Bersumber secara Antropogenik

Dalam sejarah awal, arkeolog terkenal, H. Schliemamm menemukan sebuah bejana penuh merkuri yang berasal dari 1600–1700 SM di kuburan di Kuma, Mesir. Diketahui bahwa *cinnabar* yang terdiri atas merkuri sulfida telah digunakan sebagai pigmen oleh bangsa Romawi sejak era prasejarah. Sementara itu, penggunaan awal Hg untuk menggabungkan dan mengonsentrasikan logam dalam industri pertambangan diduga dikomersialkan di Phoenicia dan Carthage. Hg tersebut berasal dari tambang Amaldén di Spanyol yang berusia 2700 tahun. Teknologi pertambangan tersebut telah tersebar luas selama bertahun-tahun. Oleh karena itu, proses amalgamasi pada saat itu memiliki kemiripan dengan prosedur pada era sekarang (Lacerda & Salomons, 1998).

Sampai saat ini, amalgamasi Hg adalah teknik utama yang digunakan untuk penambangan emas. Proses amalgamasi ini bertanggung jawab terhadap pencemaran merkuri terbesar di dunia, baik di air, tanah, maupun organisme (Esdaille & Chalker, 2018). Di industri pertambangan emas, masih banyak limbah merkuri tidak diolah dan langsung dibuang ke tanah, *tailing*, maupun sungai. Tentu saja hal ini akan berdampak pada lingkungan dan kesehatan manusia. Mengingat pencemaran merkuri sulit diatasi dan apabila tidak dibenahi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

sedini mungkin, pencemaran tersebut berpotensi menimbulkan risiko pencemaran bagi generasi selanjutnya. Hal ini dilihat dari sisi lingkungan yang sudah tidak aman untuk ditinggali dan menimbulkan masalah baru bagi kesehatan manusia.

B. Dampak Merkuri terhadap Kesehatan

Merkuri dikenal sebagai senyawa neurotoksik kuat yang menyebabkan induksi stres oksidatif dan peradangan saraf. Hal ini menimbulkan dampak parah pada genom, reproduksi, dan beberapa sistem tubuh pada manusia dan hewan. Paparan merkuri pada tubuh manusia dapat melalui berbagai jalur, seperti konsumsi makanan, inhalasi, dan kontak langsung (kulit). Paparan konsentrasi tinggi merkuri, yaitu paparan inhalasi akut, menyebabkan dispnea. Di samping itu, paparan kronis menyebabkan gejala gangguan sistem saraf pusat, seperti tremor, delusi, kehilangan memori, dan kerusakan sistem saraf otak. Dalam jangka panjang, paparan merkuri menyebabkan kerusakan ginjal hingga hilangnya fungsi otak (Rodrigues dkk., 2019; Saturday, 2018).

1. Dampak Merkuri terhadap Pencernaan

Paparan merkuri utama adalah melalui konsumsi makanan. Sekitar 95–100% MeHg yang dicerna dilepaskan ke dalam cairan pencernaan, yang selanjutnya diserap oleh epitel usus untuk mencapai suplai darah. Metabolisme MeHg dapat terjadi selama pencernaan dan penyerapan. Pada saat yang sama, metabolisme di hati juga berlangsung sebelum mencapai sirkulasi umum (Bradley dkk., 2017; Rodrigues dkk., 2019).

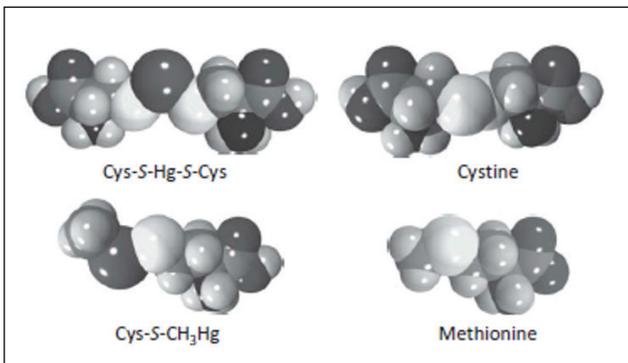
Dalam tubuh manusia, merkuri dapat bercampur dengan enzim. Hal ini menyebabkan ketidakmampuan enzim untuk bertindak sebagai katalisator dan menghambat produksi beberapa enzim, seperti tripsin, *chymotrypsin*, pepsin, *xanthine oxidase*, dan *dipeptidyl peptidase*. Efek merkuri pada sistem pencernaan ditandai dengan gejala sakit perut, gangguan pencernaan, penyakit radang usus, dan diare berdarah. Kehadiran merkuri juga terkait dengan disfigurasi flora usus yang meningkatkan jumlah produk makanan yang tidak tercerna

dalam aliran darah, menyebabkan reaksi yang dimediasi imun, dan mengurangi resistensi terhadap infeksi patogen (Saturday, 2018).

2. Dampak Merkuri terhadap Ginjal

Selain menyerang pencernaan, paparan merkuri juga mengancam kesehatan ginjal. Bentuk Hg anorganik dan organik terakumulasi dengan cepat di ginjal. Lokasi utama akumulasi merkuri terjadi di tubulus proksimal. Penyerapan merkuri di tubulus proksimal dapat melalui transportasi pada membran luminal dan basolateral. Setelah paparan, sebagian kecil metil merkuri dioksidasi menjadi Hg^{2+} di jaringan dan sel. Transportasi merkuri anorganik dan organik ini tidak dapat terikat secara bebas dalam sistem biologi. Oleh karena itu, senyawa merkuri perlu mengikat satu atau lebih biomolekul yang mengandung tiol, seperti glutation (GSH), *cysteine* (Cys), *homocysteine* (Hcy), *N-Acetylcysteine* (NAC), atau albumin (Gambar 3). Ikatan yang kuat antara protein dan biomolekul terjadi pada saat memasuki kompartemen intraseluler sel.

Beberapa penelitian melaporkan bahwa paparan merkuri menyebabkan berbagai cedera ginjal. Di tubulus proksimal, akumulasi Hg menginduksi stres oksidatif dan memberikan efek signifikan pada enzim yang bertanggung jawab untuk mengelola detoksifikasi di dalam sel. Selain itu, paparan merkuri dapat menyebabkan perubahan



Sumber: Bridges dan Zalups (2017)

Gambar 3. Senyawa Tiol yang Berikatan dengan Merkuri

patologis, seperti glomerulonefritis, cedera tubulointerstitial dan fibrosis, degenerasi granular sel epitel, dan infiltrasi sel imun. Glomerulonefritis ditandai dengan penebalan membran basal glomerulus dan proliferasi sel mesangial (Bridges & Zalups, 2017).

3. Dampak Merkuri terhadap Otak

Hg⁰ berbahaya jika terhirup meski dalam jumlah sedikit karena memiliki sifat mudah menguap. Paparan Hg⁰ di udara dapat langsung masuk ke paru-paru dan sekitar 74% tertahan di dalam tubuh manusia. Di dalam darah, Hg⁰ sangat mudah didistribusikan ke seluruh tubuh karena dapat melewati membran sel, termasuk sel-sel di otak dan plasenta. Penyerapan merkuri di otak sangat dipengaruhi oleh enzim katalase, dengan merkuri dioksidasi menjadi merkuri mekurik. Selain itu, penyerapan Hg⁰ di otak juga dipengaruhi oleh senyawa glutation. Penurunan 20% GSH di otak dapat meningkatkan 66% kandungan merkuri di otak (Saturday, 2018).

4. Dampak Merkuri terhadap Reproduksi Manusia

Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) mendefinisikan infertilitas sebagai penyakit pada sistem reproduksi. Diperkirakan sekitar 15% pasangan dinyatakan tidak subur. Faktor gaya hidup yang berhubungan dengan pencemaran lingkungan, seperti paparan Hg, dianggap sebagai faktor risiko utama. Hg dapat menyebabkan efek buruk pada reproduksi pria dan wanita. Pada reproduksi pria, paparan Hg menyebabkan spermatogenesis, menurunkan mortalitas sperma, dan meningkatkan jumlah kelainan kepala sperma. Lebih lanjut, paparan Hg memengaruhi denaturasi DNA pada sperma pria dan merepresentasikan spermatozoa imatur dengan kondensasi kromatin yang tidak sempurna.

Sementara itu, pada reproduksi wanita, paparan Hg menyebabkan perubahan perilaku reproduksi dan berkontribusi pada kegagalan ovarium. Terlebih lagi, terdapat penemuan bahwa ditemukannya hubungan negatif antara konsentrasi Hg dan sistem biologi wanita. Makin tinggi konsentrasi Hg menyebabkan penurunan kualitas em-

brio, ovarium, folikel, dan oosit. Terakhir, efek terburuk dari paparan merkuri adalah aborsi spontan, malformasi, dan lahir mati (Henriques dkk., 2019).

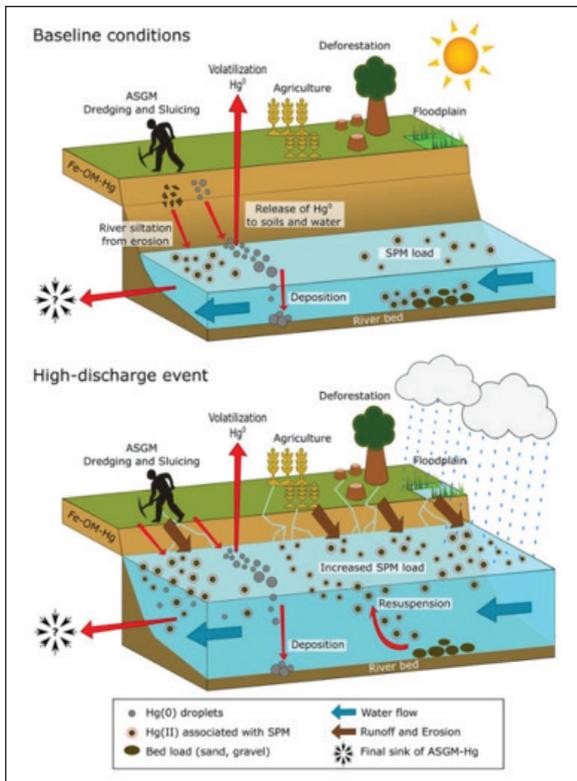
C. Dampak Merkuri terhadap Lingkungan

Merkuri digunakan oleh PESK di seluruh dunia, terutama untuk proses amalgamasi emas. Namun, pembuangan merkuri yang tidak tepat menyebabkan masalah lingkungan yang tidak dapat dihindari. Kontaminasi permukaan dan air tanah dari pembuangan merkuri, uap, dan debu yang terkikis menjadi masalah serius. Akibatnya, merkuri dalam jumlah besar ditemukan di lingkungan (tanah, sedimen, dan sistem air) sekitar PESK. Sebagian besar merkuri yang dikeluarkan oleh kegiatan PESK hadir dalam bentuk Hg^0 . Komponen ini dihasilkan dari proses pembakaran amalgam. Setelah masuk ke lingkungan, merkuri dapat tersuspensi untuk jangka waktu yang lama hingga 10 tahun di atmosfer dan dapat didistribusikan lebih dari 1000 km (Malehase dkk., 2017).

Kegiatan penambangan emas banyak menggunakan air sehingga lokasi PESK biasanya dibangun di dekat sungai. Pada proses pencucian, sisa bijih yang dihancurkan, air, dan merkuri yang tidak terpulihkan dilepaskan langsung ke sungai. Pembuangan limbah tambang yang tidak diolah mengakibatkan penurunan kualitas dan peningkatan kekeruhan air di sungai (Esdaile & Chalker, 2018). Sungai mempunyai peran penting dalam spesiasi, distribusi, mobilitas, dan toksisitas merkuri dalam ekosistem perairan. Sebagian besar merkuri yang belum terpulihkan menyebar ke hilir menjauhi lokasi PESK. Sebaliknya, sebagian kecil merkuri kemudian terakumulasi di sedimen dasar. Adanya partikel mineral menyebabkan merkuri menjadi persisten dan makin terkubur ke dalam sedimen. Kemungkinan merkuri terangkut ke darat hanya pada saat terjadinya aliran tinggi dan banjir (Malehase dkk., 2017).

Merkuri memiliki kaitan yang erat dengan pembentukan metil merkuri (MeHg). Metilasi Hg dapat terjadi melalui proses biotik dan abiotik. Metilasi biotik dimediasi oleh aktivitas enzimatis bakteri anaerob dan

archaea yang mengubah Hg menjadi MeHg. Di samping itu, metilasi abiotik dapat terjadi di lingkungan yang kaya akan senyawa organik, seperti asam humat dan fulvat (Malehase dkk., 2017). Senyawa MeHg memiliki tingkat bioakumulasi dan toksisitas yang tinggi bagi hewan dan tumbuhan. Akumulasi terbesar ditempati oleh organisme tingkat tinggi dalam rantai makanan. Secara umum, beberapa penelitian berfokus pada studi akumulasi merkuri pada ikan. Hal itu karena konsumsi ikan merupakan jalur utama untuk keracunan merkuri. Selain itu, durasi akumulasi merkuri pada ikan cukup lama, yaitu dua tahun untuk akumulasi MeHg dan tiga bulan untuk akumulasi Hg (Martinez dkk., 2018).



Sumber: Moreno-Brush dkk. (2020)

Gambar 4. Skema Transportasi Merkuri di Lingkungan

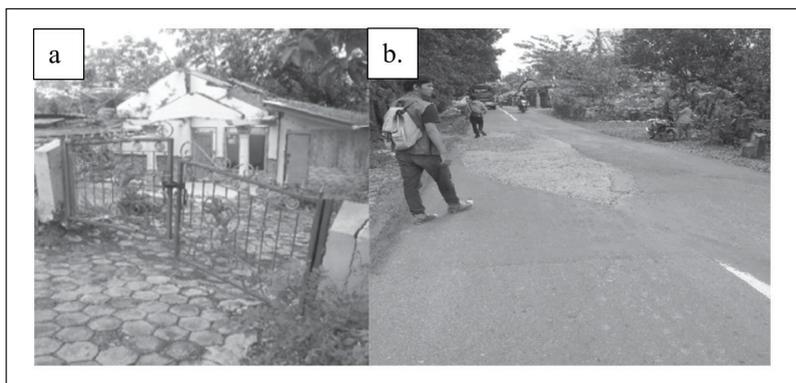
Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tanah merupakan salah satu faktor penting dalam pertanian. Tanah berperan sebagai media pertumbuhan tanaman dan bagian dari siklus logam berat. Merkuri dapat mencemari lingkungan melalui jalur transportasi (Gambar 4). Kegiatan PESK menyebabkan pencemaran tanah yang mengakibatkan akumulasi merkuri pada tanaman. Di antara banyaknya jenis tanaman, hanya tanaman hiperakumulator yang dapat menoleransi, menyerap, mengakumulasi, dan mentranslokasi logam berat berkonsentrasi tinggi.

Berdasarkan akumulasi merkuri, akar mengumpulkan Hg paling banyak, diikuti oleh daun dan batang. Konsentrasi Hg di akar 2,5–5 kali lipat lebih tinggi daripada di daun dan batang. Hal ini disebabkan oleh afinitas akar yang tinggi terhadap Hg. Selain itu, paparan merkuri secara langsung pada tanah juga menyebabkan tingginya akumulasi merkuri pada akar. Pada prinsipnya, batang memiliki fungsi utama sebagai pengangkut cairan, nutrien, dan kandungan lain pada akar; tidak memungkinkan untuk menyimpan senyawa secara permanen. Oleh karena itu, batang memiliki akumulasi merkuri terendah dibandingkan akar dan daun (Marrugo-Negrete dkk., 2016). Namun, yang menjadi masalah baru adalah ketika tanaman terkontaminasi merkuri ini dikonsumsi oleh manusia dan hewan.

Di samping itu, beberapa kerusakan fisik akibat kegiatan PESK juga dilaporkan. Sebelum memulai proses pertambangan, kerusakan lingkungan sudah terjadi. Untuk membuat suatu area pertambangan, perlu dilakukan pembukaan lahan (*land clearing*), yaitu proses pembebasan hutan dengan memotong pepohonan, pembabatan, serta pembakaran hutan di sekitar area. Akibatnya, banyak satwa liar kehilangan habitatnya dan muncul bencana alam yang mengancam kehidupan manusia, seperti intensifikasi erosi sebagai akibat penambangan pasir dari endapan aluvial di sekitar sungai serta longsor di lereng dekat tambang dan sumur tambang. Pembukaan lahan juga diketahui dapat mengurangi kesuburan tanah. Tanah yang mulanya subur menjadi gersang dan kehilangan zat hara sehingga sulit untuk ditanami dan dijadikan lahan perkebunan.

Pada saat proses penambangan dilakukan, senyawa beracun merkuri yang terkandung dalam *tailing* makin mengurangi vegetasi di dalam tanah. Di beberapa kasus, kegiatan pertambangan juga mengakibatkan kerusakan infrastruktur, terutama pada penggalian sumur pertambangan di dekat permukiman (Gambar 5). Terkadang, dalam sebidang tanah terdapat satu, bahkan tiga sumur pertambangan. Posisi bukaan tampaknya tidak mempertimbangkan risiko terhadap bangunan rumah atau jalan. Akibatnya, banyak sumur tambang yang terletak di tengah pemukiman atau di sepanjang jalan raya sehingga menyebabkan kerusakan lahan dan infrastruktur (Muslihudin dkk., 2018). Setiap kegiatan pertambangan memiliki dampak negatif, bahkan setelah aktivitas pertambangan dihentikan. Lubang-lubang yang digali tentu saja akan tetap meninggalkan jejak.



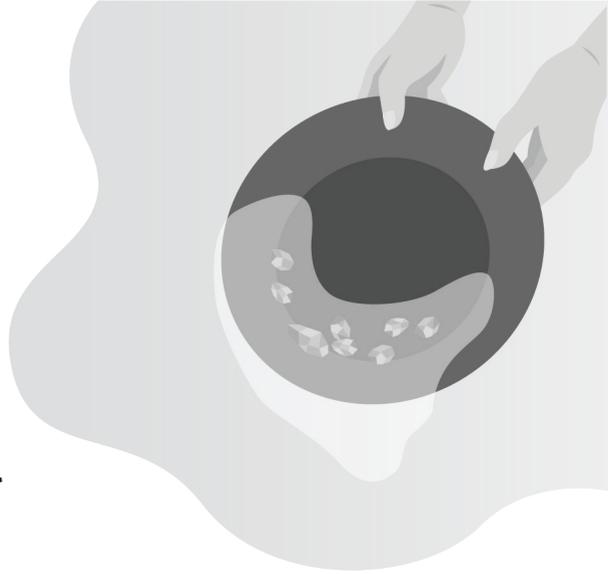
Ket.: (A) Rumah dan (B) Jalan

Sumber: Muslihudin dkk. (2018)

Gambar 5. Kerusakan Infrastruktur di Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah

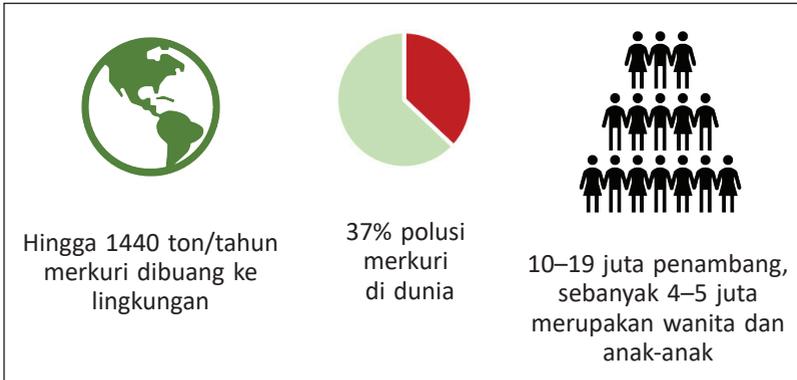
Bab 2

Pertambangan Emas Skala Kecil (PESK)



A. Profil Pertambangan Emas Skala Kecil

Pertambangan emas skala kecil (PESK) merupakan perusahaan pertambangan emas perorangan dengan investasi modal dan produksi terbatas. PESK memiliki peran penting sebagai alat pembangunan ekonomi yang berkontribusi terhadap pertumbuhan ekonomi di Asia, Afrika, dan Amerika Serikat. Diperkirakan sekitar 10–19 juta penambang di dunia bekerja di industri ini. Dari total jumlah penambang tersebut, sebanyak 5 juta adalah perempuan dan anak-anak (Esdaile & Chalker, 2018). Merkuri masih menjadi bahan kimia utama dalam ekstraksi emas di pertambangan emas di dunia. Akibatnya, setiap tahun 410–1440 ton merkuri dibuang ke lingkungan. Hal itu menyebabkan merkuri menyumbang 37% tingkat pencemaran lingkungan di dunia (Gambar 6). Sebagai pengeksport utama sumber daya alam di sektor pertambangan, Indonesia menjadi produsen emas terbesar dunia. Terlebih lagi saat Tiongkok mengalami ekspansi ekonomi yang sangat pesat pada 2002–2012, permintaan bijih dunia meningkat. Indeks harga nominal emas meningkat enam kali lipat (Warburton, 2017). Fenomena inilah yang menyebabkan maraknya PESK di Indonesia. Sekitar 713 PESK ditemukan di Sumatra, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, dan Nusa Tenggara Barat (Muddarisna dkk., 2013).



Sumber: Esdaile dan Chalker (2018)

Gambar 6. Perkiraan Konsumsi Merkuri Tahunan di PESK Global

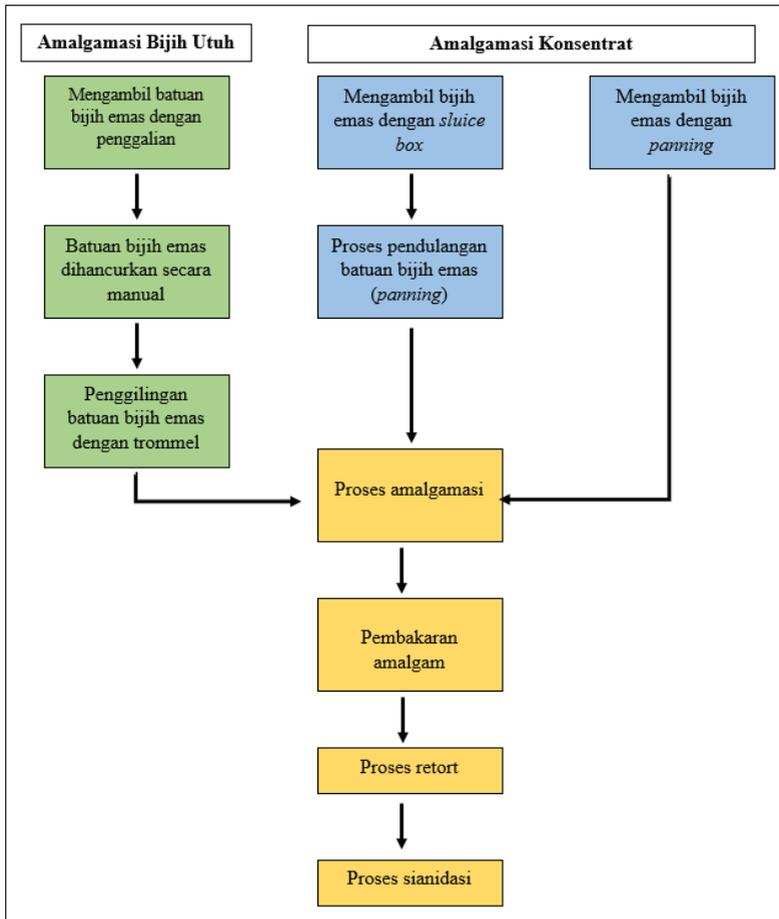
Sayangnya, kegiatan PESK berlangsung secara tidak resmi atau tidak memiliki izin dari pemerintah. Selain itu, masih banyak penambang tidak memperhatikan protokol kesehatan dan keselamatan lingkungan. Organisasi Perburuhan Internasional memperkirakan bahwa insiden fatal di PESK 6–7 kali lebih besar daripada di sektor pertambangan formal (Malehase dkk., 2017). Hal itu terbukti dari banyaknya kecelakaan kerja di pertambangan ilegal hingga memakan banyak korban jiwa. Terlebih lagi, terdapat kasus kematian penambang akibat keracunan merkuri. Kurangnya pengetahuan dan kesadaran akan dampak negatif merkuri terhadap kesehatan manusia serta belum tersedianya penerapan metode alternatif bebas merkuri merupakan tantangan sosial utama yang dihadapi oleh berbagai negara di dunia.

Sejumlah besar merkuri digunakan untuk mendapatkan amalgam merkuri-emas. Proses penambangan emas melibatkan penggalian, penggilingan dan penghancuran bijih, amalgamasi, dan peleburan amalgam (Bruno dkk., 2020). Permasalahan utama merkuri muncul ketika limbah merkuri dibuang ke sungai sehingga menyebabkan pencemaran merkuri di air, tanah, maupun sedimen. Merkuri juga akan mengalami biokonsentrasi, bioakumulasi, dan biomagnifikasi di dalam tanah dan ekosistem perairan (Nur dkk., 2020). Manusia yang terpapar merkuri berisiko mengalami keracunan merkuri, se-

perti faringitis, sakit perut, mual, nefritis, hepatitis, gangguan sistem pencernaan, dan gangguan sistem saraf (Haq & Achmadi, 2018).

B. Teknik Penambangan Emas

Penggunaan merkuri untuk mengekstrak emas merupakan teknik PESK yang menimbulkan banyak dampak buruk. Hal itu karena cara tersebut memanfaatkan merkuri dalam jumlah yang berlebihan.



Sumber: Telmer dan Stapper (2012); Esdale dan Chalker (2018)

Gambar 7. Proses Penambangan Emas di PESK

Metode ekstraksi emas dengan merkuri (amalgamasi) sangat bervariasi, yaitu dapat dilakukan melalui metode amalgamasi bijih utuh (*whole ore amalgamation*) dan/atau amalgamasi konsentrat (*concentrate amalgamation*) (Gambar 7). Pada umumnya pertambangan emas skala kecil di Indonesia menggunakan metode amalgamasi bijih utuh, di mana merkuri ditambahkan di mesin *trommel* saat proses penggilingan batuan bijih emas. Penggunaan metode ini cenderung memakai banyak merkuri dibandingkan metode amalgamasi konsentrat. Diketahui bahwa perbandingan penggunaan merkuri dan batuan emas yang dipulihkan pada metode amalgamasi bijih utuh yaitu berkisar dari tingkat tinggi (4:1) hingga sangat tinggi (20:1). Dalam kasus ekstrem, perbandingan penggunaan merkuri dan emas yang dipulihkan dapat mencapai 50:1. Metode ini dianggap sangat tidak efektif karena merkuri hanya dapat menangkap 30% emas dan sejumlah besar merkuri yang tersisa terbuang di *tailing* (Telmer & Stapper, 2012).

1. Metode Amalgamasi Bijih Utuh

Pada tahap awal penambangan emas, batuan bijih emas diambil melalui proses penggalian. Selanjutnya, batuan bijih emas dihancurkan secara manual dengan palu (*hand mashed*) menjadi potongan-potongan kecil. Untuk mendapatkan partikel yang lebih halus, bahan-bahan ini kemudian digiling menggunakan mesin penggilingan dan *trommel* bermotor. Air ditambahkan ke proses penggilingan dalam *trommel* untuk memastikan konsistensi. Kemudian, bola baja atau tungsten dimasukkan dengan tujuan supaya bijih emas menjadi lebih halus.

Setelah itu, masuk ke proses amalgamasi bijih utuh. Merkuri cair dituangkan ke *trommel* dan diaduk selama berjam-jam untuk mendapatkan ekstrak emas. Diperkirakan sekitar 0,3 hingga 1 kg merkuri digunakan untuk memproses 20 kg bijih emas. Senyawa amalgam campuran merkuri-emas yang dihasilkan kemudian diisolasi dengan tangan, sedangkan sisa merkuri ditampung untuk digunakan kembali. Untuk mengoptimalkan ekstraksi emas, proses amalgamasi diulang sebanyak 3–4 kali. Kemudian, amalgam dibentuk menjadi bulat dan

diperas menggunakan kain untuk menghilangkan kelebihan merkuri cair. Amalgam ini umumnya mengandung 40–80% merkuri. Proses terakhir adalah pemurnian emas melalui pemanasan bola amalgam menggunakan obor atau kompor panas (Esdaile & Chalker, 2018) (Gambar 11).

2. Metode Amalgamasi Konsentrat

Endapan bijih emas tidak hanya ditemukan di batuan daratan, namun juga ditemukan di dasar dan tepi sungai. Oleh karena itu, metode pengambilan batuan bijih emas sangat beragam. Batuan bijih emas yang berada di penambangan primer di daratan biasanya diambil dengan cara digali secara vertikal dan horizontal ke dalam bumi. Sementara itu, batuan bijih emas yang berada di penambangan aluvial di tepi sungai diambil melalui proses pendulangan (*panning*) (Gambar 8). Dengan menggunakan papan besi berbentuk lingkaran, batuan bijih emas disaring dengan cara diputar-putar di permukaan air sungai.



Sumber: Telmer dan Stapper (2012)

Gambar 8. Proses Pendulangan Bijih Emas (*Panning*)

Selain itu, berbeda dengan metode lainnya, batuan bijih emas yang berada di penambangan aluvial di dasar sungai diambil dengan cara dipompa menggunakan *sluice box* (Gambar 9). Dengan memanfaatkan air sungai, mesin ini menyedot bijih emas di dasaran sungai dan menyaringnya di karpet. Oleh karena proses penyaringan ini sangat tradisional dan sederhana, hasil penyaringan atau konsentrat yang diperoleh tidak menghasilkan bijih emas murni, tetapi terdapat campuran batuan dan pasir. Konsentrat ini kemudian dikumpulkan sebelum dilakukan proses amalgamasi, biasanya dilakukan melalui pencucian karpet dengan detergen (Gambar 10).

Berbeda dengan amalgamasi bijih utuh, pada metode amalgamasi konsentrat diperlukan penyaringan terlebih dahulu hingga mendapatkan konsentrat bersih sebelum dilakukan proses amalgamasi. Penambahan merkuri pada metode amalgamasi konsentrat juga lebih



Sumber: Veiga dan Gunson (2020)

Gambar 9. Proses Pengambilan Batuan Bijih Emas dengan *Sluice Box*



Sumber: Telmer dan Stapper (2012)

Gambar 10. Pengumpulan Konsentrat

sedikit. Perbandingan antara merkuri yang digunakan dan bijih emas yang dipulihkan berkisar 1:1 atau 1,3:1. Amalgam dipisahkan dengan konsentrat lainnya dengan cara didulang di air sungai. Kemudian, amalgam disaring menggunakan kain untuk memisahkan merkuri (untuk digunakan kembali). Saat ini, amalgam mengandung sekitar 50% merkuri dan 50% emas. Untuk mendapatkan emas murni 24 karat, amalgam harus dipanaskan dengan tujuan menghilangkan merkuri yang tersisa (Telmer & Stapper, 2012) (Gambar 11).

Dalam beberapa kasus, *retort* digunakan untuk memadatkan dan memulihkan merkuri cair untuk digunakan kembali. Hal ini penting untuk menurunkan paparan merkuri pada penambang dan penduduk lokal. Sayangnya, metode ini masih kurang efektif karena masih ada paparan merkuri di atmosfer. Hg sebanyak 45% hilang ke atmosfer dan sisanya tersebar di daratan sekitar (Moreno-Brush dkk., 2020). Selain itu, terkadang sianidasi juga digunakan dalam kegiatan penambangan emas. Sisa bijih yang dihancurkan, air, dan merkuri kemudian diproses di kolam sianida. Hal ini dimaksudkan untuk memulihkan emas terlarut pada limbah tersebut (Esdaile & Chalker, 2018).

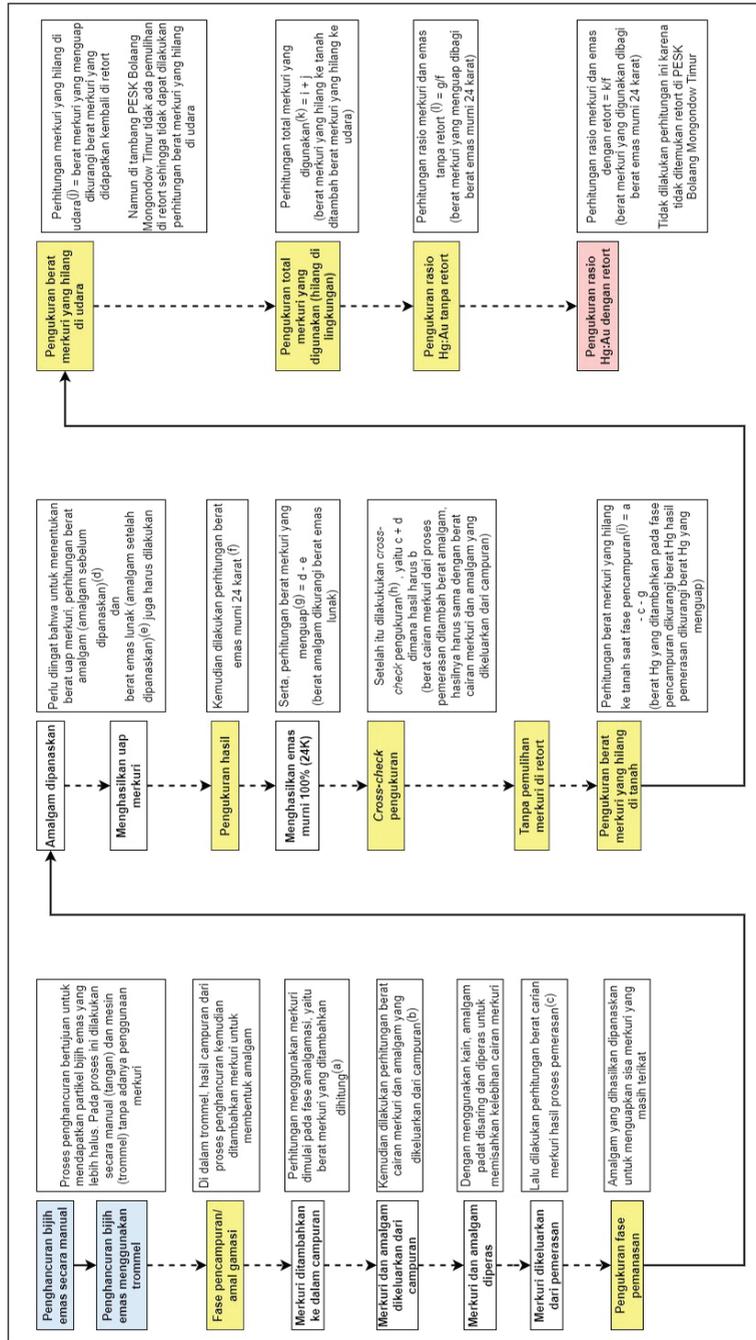


Sumber: Esdaile dan Chalker (2018); Telmer dan Stapper (2012)

Gambar 11. Pemurnian Emas

C. Rekapitulasi Perhitungan *Baseline* Penggunaan Merkuri di PESK dengan Metode *UN Toolkit*

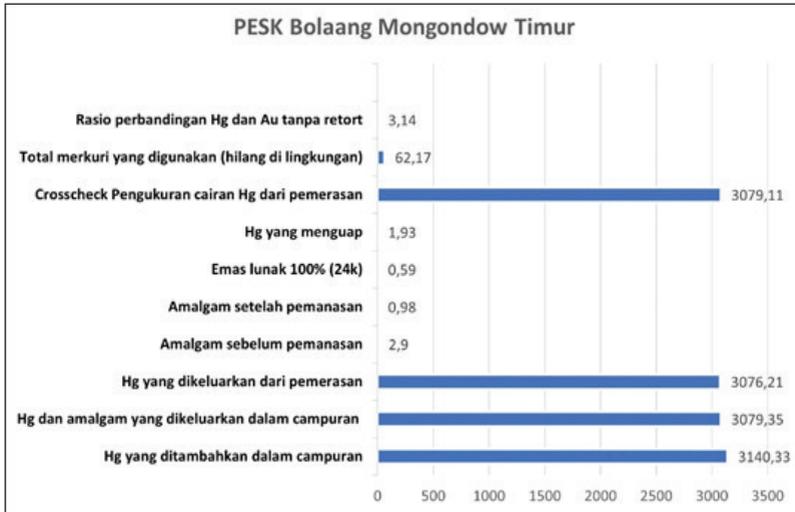
Perhitungan penggunaan merkuri pada kegiatan PESK sangat penting untuk dilakukan sehingga besarnya pelepasan merkuri ke lingkungan dapat diketahui. Perhitungan ini mengacu pada metode *UN Toolkit* yang dikeluarkan oleh United Nations Environment Programme (UNEP), yakni merkuri yang digunakan dihitung dari rasio perbandingan merkuri dan emas yang dihasilkan (Gambar 12). Total merkuri yang dihitung adalah total merkuri yang hilang ke lingkungan, termasuk air, tanah maupun udara di lokasi PESK. Contoh perhitungan penggunaan merkuri dalam proses pengolahan emas berasal dari data PESK yang berada di Bolaang Mongondow Timur, Sulawesi Utara, Indonesia pada 2018 (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020a) (Gambar 13).



Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2020a)

Gambar 12. Perhitungan Penggunaan Merkuri di PESK Bolaang Mongondow Timur, Sulawesi Utara, Indonesia pada 2018

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2020a)

Gambar 13. Rekapitulasi Penggunaan Merkuri di PESK Bolaang Mongondow Timur pada 2018 menggunakan metode *UN Toolkit*

D. Perempuan pada PESK

Sektor pertambangan mulanya dipahami sebagai suatu bidang pekerjaan yang hanya dilakukan oleh laki-laki. Namun saat ini, pertambangan sedang mengalami “proses feminisasi”, yakni jumlah perempuan yang bekerja di pertambangan emas skala kecil (PESK) makin meningkat. Dari jumlah keseluruhan penambang, setidaknya terdapat 30% jumlah perempuan yang bekerja di bidang ini (Buss dkk., 2021). Kebanyakan perempuan bekerja dalam menggiling atau menghancurkan batu, mendulang bijih emas, dan memeras amalgam dengan kain secara manual; semua tugas biasanya menghasilkan uang lebih sedikit daripada bekerja sebagai penggali. Peran perempuan belum diakui sepenuhnya sebagai penambang. Pekerjaan perempuan sebagai penambang sering kali tidak terlihat karena sering kali bekerja dengan peran domestik, seperti penjual makanan atau penyedia layanan lainnya (Rutherford & Buss, 2019). Terlebih lagi, jam kerja penambang perempuan biasanya 4–8 jam lebih lama dibandingkan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

dengan laki-laki per harinya. Dengan demikian, kondisi tersebut sering kali tidak diakui dan kurang dihargai.

Dalam sektor pertambangan, para pemegang izin dianggap sebagai aktor lokal yang memiliki otoritas pertambangan. Para penggali dan penambang yang ingin bekerja di pertambangan tersebut harus terdaftar secara administrasi. Para penggali yang khususnya laki-laki biasanya diorganisir dalam satu tim. Namun, biasanya penambang perempuan yang bekerja di lokasi tersebut tidak terdaftar. Untuk membuka suatu lahan pertambangan baru, para penambang laki-laki dan perempuan akan meminta perizinan kepada pemegang izin. Dari keseluruhan hasil tambang, para pemegang izin akan memaksakan haknya untuk mendapatkan 30% dari hasil produksi bijih, tergantung pada ukuran poros dan tingkat produksi (Rutherford & Buss, 2019).

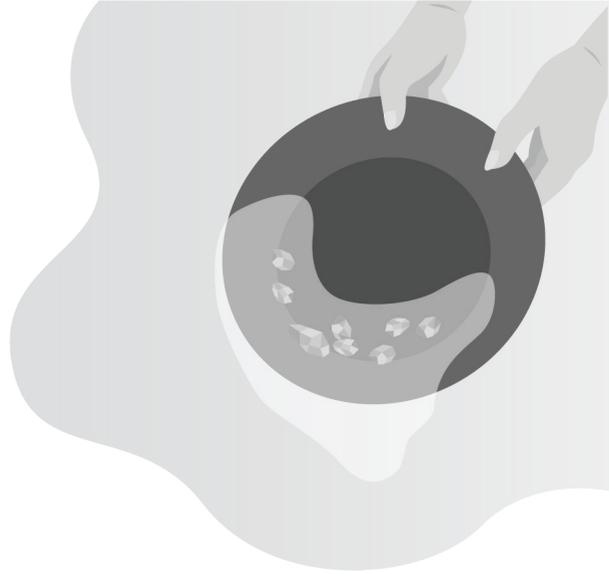
Menurut penelitian Deffrinica dkk. (2020), salah satu motivasi yang mendorong sebagian besar perempuan untuk bekerja di sektor pertambangan adalah untuk meningkatkan kesejahteraan keluarga. Sebagian dari penambang perempuan berasal dari keluarga dengan ekonomi strata bawah sehingga penghasilan mereka digunakan untuk pemenuhan kebutuhan sehari-hari. Diketahui bahwa dalam sehari, pendapatan mereka tidak menentu, tergantung pada berapa banyak emas yang mereka peroleh. Rata-rata pendapatan dari mendulang bijih emas yang dilakukan selama 7 jam adalah 150–300 mg emas per hari; apabila diuangkan, menjadi Rp100.000 hingga Rp195.000 per hari. Sementara itu, terdapat 14 indikator tingkat kesejahteraan, yaitu pendapatan, kepemilikan aset, luas lantai, jenis dinding, fasilitas tempat buang air besar, sumber air minum, sumber penerangan yang digunakan, bahan bakar yang digunakan, pendidikan kepala rumah tangga, frekuensi makan sehari-hari, kebiasaan membeli daging, kemampuan membeli pakaian, dan kemampuan berobat ke puskesmas.

Perempuan dituntut untuk dapat mengelola uang dengan baik, termasuk membantu menyejahterakan ekonomi keluarga. Hal ini sangat erat kaitannya dengan ekonomi yang tidak stabil karena pendapatan suami belum mampu untuk memenuhi kebutuhan keluarga. Kaum perempuan, terutama ibu rumah tangga sangat sulit untuk

mencari pekerjaan karena terbatasnya keterampilan, keahlian dan kurangnya pengalaman kerja. Mengingat dari sisi lokasi pertambangan yang sangat berbahaya, yang sewaktu-waktu dapat merenggut nyawa, sangat penting untuk mempromosikan kewirausahaan kepada kaum perempuan. Selain itu, perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan daya saing perempuan dalam memperoleh pekerjaan melalui program pelatihan kerja (Deffrinica dkk., 2020).

Bab 3

Pengelolaan Merkuri di PESK



A. Regulasi terkait Pengelolaan Merkuri di PESK

Pemerintah Indonesia meratifikasi Konvensi Minamata dengan menerbitkan Undang-Undang (UU) Nomor 11 Tahun 2017 terkait pelarangan merkuri. Kemudian, Pemerintah Indonesia mengeluarkan Peraturan Presiden Nomor 21 Tahun 2019 tentang Rencana Aksi Nasional Pengurangan dan Penghapusan Merkuri (RAN-PPM) dalam upaya mengurangi emisi merkuri pada lingkungan. Target penghapusan merkuri di bidang prioritas pertambangan emas skala kecil (PESK) adalah sebesar 100% pada 2025. Indonesia memiliki beberapa regulasi terkait PESK sebagai berikut.

1. Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
2. Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2017 tentang Pengesahan Konvensi Minamata mengenai Merkuri
3. Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2020 tentang Perubahan Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara
4. Peraturan Presiden Nomor 21 Tahun 2019 tentang Rencana Aksi Nasional Pengurangan dan Penghapusan Merkuri (RAN-PPM)

5. Peraturan Pemerintah Nomor 74 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun
6. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2010 tentang Wilayah Pertambangan
7. Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara.
8. Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun
9. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 23 Tahun 2008 tentang Pedoman Teknis Pencegahan Pencemaran dan/atau Kerusakan Lingkungan Hidup Akibat Pertambangan Emas Rakyat
10. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 11 Tahun 2018 tentang Tata Cara Pemberian Wilayah, Perizinan, dan Pelaporan pada Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara
11. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 26 Tahun 2018 tentang Penerapan Asas Pertambangan yang Baik dan Pengawasan Pertambangan Mineral dan Batubara
12. Peraturan Menteri Perdagangan Nomor 47 Tahun 2019 tentang Perubahan Ketiga Atas Peraturan Menteri Perdagangan Nomor 44/M-Dag/Per/9/2009 tentang Pengadaan, Distribusi, dan Pengawasan Bahan Berbahaya
13. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 81 Tahun 2019 tentang Pelaksanaan Peraturan Presiden Nomor 21 Tahun 2019 tentang Rencana Aksi Nasional Pengurangan dan Penghapusan Merkuri
14. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.101/MENLHK/ SETJEN/KUM.1/11/2018 tentang Pedoman Pemulihan Lahan Terkontaminasi Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun

15. Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 41 Tahun 2019 tentang Penghapusan dan Penarikan Alat Kesehatan Bermerkuri di Fasilitas Pelayanan Kesehatan
16. Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik
17. Surat Edaran Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 134/37/MEM.B/2019 tentang Penegakan terkait Penambangan Emas Skala Kecil
18. Surat Edaran Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 6 E/37/MEM.B/2017 tentang Pelarangan Penggunaan Merkuri di Penambangan Emas
19. Surat Edaran Menteri Koordinator bidang Politik, Hukum, dan Keamanan Nomor B-20/Menkopolhukam/De-V/KM/04/7/2017 tentang Distribusi dan Penggunaan Merkuri secara Ilegal dalam Kegiatan Pertambangan

Rencana Aksi Nasional Pengurangan dan Penghapusan Merkuri menargetkan penghapusan merkuri di bidang prioritas PESK sebesar 100% pada 2025 (Tabel 1). Strategi-strategi dan kegiatan-kegiatan yang tertuang dalam RAN-PPM adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Strategi dan Kegiatan Penghapusan Merkuri di Bidang Prioritas PESK

No.	Strategi	Kegiatan
1.	Penguatan komitmen, koordinasi, dan kerja sama antar-Kementerian/Lembaga Pemerintah Nonkementerian Terkait	Penyusunan dan pengaturan regulasi dan kebijakan
2.	Penguatan koordinasi dan kerja sama antar-Pemerintah Pusat dan Daerah	Penguatan kelembagaan pusat dan daerah Pengembangan riset dan teknologi Pemantauan status emisi dan lepasan
3.	Peningkatan kapasitas kepemimpinan, kelembagaan, dan sumber daya manusia dalam penghapusan merkuri	Peningkatan kapasitas sarana, prasarana, dan sumber daya manusia (SDM) laboratorium untuk mendukung pelaksanaan penelitian dan pemantauan
4.	Pembentukan sistem informasi	Pengembangan basis data dan informasi
5.	Penguatan keterlibatan masyarakat melalui komunikasi, informasi, dan edukasi	Kampanye Gerakan STOP Merkuri
6.	Penerapan teknologi alternatif pengolahan emas bebas merkuri	Pengembangan riset dan teknologi Pemulihan lahan terkontaminasi merkuri dan rehabilitasi lahan Pembangunan fisik fasilitas pengolahan emas tanpa merkuri terpadu
7.	Pengalihan mata pencaharian masyarakat lokal/tempatan	Penyediaan fasilitas penyimpanan merkuri Melakukan pemetaan kondisi sosial dan ekonomi masyarakat penambang Pemberdayaan ekonomi dan sosial masyarakat di luar Wilayah Pertambangan Rakyat (WPR)
8.	Penguatan penegakan hukum	Peningkatan pengawasan Penindakan

Sumber: Peraturan Presiden Nomor 21 Tahun 2019

Buku ini tidak diperjualbelikan.

B. Strategi Pengelolaan Merkuri di PESK

Merkuri menjadi pilihan utama karena mudah digunakan, murah, dan mudah didapatkan oleh penambang. Oleh karena itu, hal yang mungkin dilakukan saat ini adalah memberikan sosialisasi kepada penambang bagaimana dapat mengelola merkuri dengan baik.

Gambar 14 menunjukkan bahwa pengelolaan merkuri yang baik dapat tercapai apabila ada koordinasi yang kuat antara penambang, pengolah emas, pemerintah, dan masyarakat. Pengelolaan ini meliputi berbagai aspek, mulai dari aspek emas yang ditambang, pengendalian limbah dan emisi, perlindungan lingkungan dan kesehatan, pengawasan peraturan dan pengembangan kapasitas, hingga akuntabilitas.

Sebelum peralihan dari penggunaan merkuri ke teknologi yang lebih aman, penambang dikenalkan dengan cara-cara sederhana pengelolaan merkuri seperti berikut.

1. Menentukan jenis batuan. Tidak semua batuan membutuhkan merkuri yang sama; untuk batuan keras dibutuhkan lebih banyak daripada batuan lunak atau jenis aluvial. Rata-rata pengolah emas menggunakan jumlah merkuri yang sama untuk semua jenis batuan, biasanya disamakan dengan kebiasaan yang telah dilakukan selama ini. Apabila penggunaan merkuri lebih sedikit, yang disesuaikan dengan jenis batuannya, akan meminimalisasi pula jumlah merkuri yang terbuang (Marwiani, 2019).
2. Membuat penyaring/filter pada tempat penampungan saat proses penggilingan dari gelundung. Hal ini bertujuan untuk mencegah merkuri terbuang bersama air dan air yang digelontorkan tidak terlalu banyak dan deras sehingga dapat meminimalisasi merkuri yang terbuang ke lingkungan (Marwiani, 2019).
3. Menggunakan *retort* (alat penangkap uap merkuri) pada proses pembakaran amalgam sehingga akan meminimalisasi jumlah merkuri yang terbuang ke lingkungan dan tidak membahayakan kesehatan pengolah emas. Proses pembakaran tidak



Sumber: Spiegel dan Veiga (2010)

Gambar 14. Pedoman tentang Pengelolaan Merkuri di PESK

dilakukan di dekat rumah sehingga tidak membahayakan kesehatan anggota keluarga pengolah emas (Marwiani, 2019).

4. Membuat bak penampung berjumlah 4 bak pengendap dan dibuat sebagai tempat penimbunan seperti yang sudah diatur dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 23 Tahun 2008 (Pamungkas dkk., 2015). Peraturan ini menyebutkan bahwa pencegahan pencemaran kegiatan penambangan emas dapat dilakukan dengan cara:
 - a. membuat kolam pengendap untuk menampung air yang dipompa dari lubang tambang;
 - b. melakukan pengolahan air di kolam pengendap sebagaimana dimaksud pada huruf a sehingga memenuhi baku mutu sebelum dialirkan ke sungai dan/atau rawa; dan
 - c. menjaga kestabilan dinding lubang tambang.

Selain itu, pencegahan pencemaran kegiatan pengolahan emas dilakukan dengan cara:

- a. meminimalkan penggunaan merkuri;
- b. mengalirkan *tailing* ke kolam penampungan yang berfungsi sebagai kolam pengendap untuk dapat diproses kembali;
- c. melakukan pengolahan air di kolam penampungan sebagaimana dimaksud pada huruf b sehingga memenuhi baku mutu sebelum dibuang ke sungai dan rawa;
- d. menyimpan merkuri pada tempat yang tertutup, terhindar dari sinar matahari langsung, berada dalam suhu ruangan, dan berada di bawah permukaan air minimal 1 cm (terendam) untuk ekstraksi;
- e. untuk amalgamasi harus menggunakan sistem retort, dilakukan pada tempat khusus yang dilengkapi cerobong dengan ketinggian minimal 2 meter lebih tinggi dari atap rumah di sekitar lokasi.

Pengolahan emas pada penambangan cebakan sekunder, selain dilakukan dengan cara tersebut di atas, wajib pula dilakukan dengan cara mengolah bijih emas pada tempat khusus yang terisolasi dari sungai dan rawa.

5. Menggunakan alat pelindung diri, seperti masker, sarung tangan lateks yang tahan tembus, sepatu karet, baju khusus lengan panjang, dan celana panjang pada saat melakukan pengolahan emas sehingga para penambang dapat terhindar dari paparan merkuri (Pamungkas dkk., 2015).
6. Masyarakat sebaiknya mencuci ikan dan sayur yang akan dikonsumsi dengan asam cuka (Pamungkas dkk., 2015).

C. Pengolahan Limbah Merkuri

Limbah merkuri yang berada di kolam sudah seharusnya diolah sehingga tidak mencemari lingkungan. Ada beberapa alternatif pengolahan limbah merkuri yang dapat digunakan (Tabel 2). Tentunya, diperlukan pendampingan dari pemangku kepentingan kepada pengolah emas untuk mengolah limbah merkuri ini.

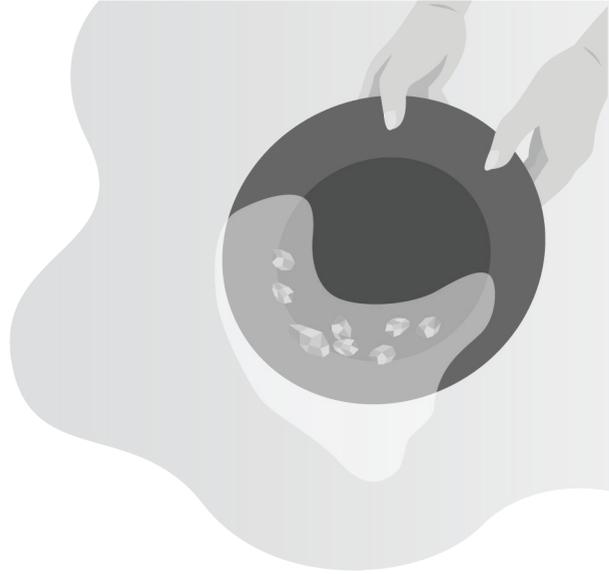
Tabel 2. Teknologi Pengolahan Limbah Merkuri

Jenis Pengolahan	Keterangan	Referensi
Lahan basah buatan terpadu dengan tanaman <i>Phragmites australis</i> dan mikroba pada kompos	27 ppb limbah merkuri dari PESK Pongkor diolah dengan efisiensi penyisihan sebesar 99,6%	Ambarsari dan Qisthi (2017)
Pengolahan awal berupa netralisasi, <i>clarifier</i> , pengolahan tersier untuk menyisihkan merkuri, dan pengolahan lumpur	Efektivitas pengolahan tersier: biosorpsi: 21,2%; presipitasi: 17,6%; fitoremediasi: 16,8%; adsorpsi dengan karbon aktif: 11%; proses biologi dalam bioreaktor: 7,9%; teknologi nano: 7,3%; pertukaran ion: 6,7%; elektrokoagulasi: 5,5%; reversis osmosis: 5,1%	Gutiérrez dkk. (2016); Chalkidis dkk. (2020)
Solidifikasi dan stabilisasi	Proses enkapsulasi limbah menjadi material yang padat dengan permeabilitas rendah dan mencegah terjadinya migrasi kontaminan dengan memperkecil luas permukaan penyebaran lindi	Anisa dan Trihadiningrum (2016)
<i>Flue gas cleaning residues</i>	Proses untuk mengurangi merkuri yang dikeluarkan dari emisi di PESK	Chalkidis dkk. (2020)
Pencucian tanah	Mengonsentrasikan merkuri menjadi volume yang lebih kecil melalui teknik ekstrasi untuk melarutkan merkuri dalam tanah	Xu dkk. (2015)
Pengolahan termal	Menggunakan panas dan pengurangan tekanan untuk menguapkan merkuri, kemudian dilakukan kondensasi merkuri sehingga merkuri uap berubah menjadi merkuri cair	Xu dkk. (2015)
Pengolahan biologi	Menggunakan mikroorganisme resisten merkuri atau tanaman untuk menyisihkan/menyerap merkuri dari tanah dan mereduksi toksisitasnya	Xu dkk. (2015)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Bab 4

Teknologi Nonmerkuri di PESK



Mayoritas pertambangan emas skala kecil (PESK) menggunakan merkuri untuk mengekstrak emas dari batuan. Namun, kualitas produk yang dihasilkan sangat rendah. Hasil ekstraksi menunjukkan 80% amalgam dan 40% emas. Selain itu, penggunaan merkuri dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia. Rencana Aksi Nasional Pengurangan dan Penghapusan Merkuri (RAN-PPM) menyebutkan bahwa pada 2025, 100% PESK sudah tidak menggunakan merkuri dalam ekstraksi emas. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu teknologi nonmerkuri yang memenuhi persyaratan:

1. perolehan emas tinggi;
2. proses dan peralatan sederhana, tidak membutuhkan peralatan impor;
3. biaya modal dan operasional rendah;
4. proses cepat dan mudah dioperasikan penambang;
5. biaya pengelolaan lingkungan kecil;
6. ramah lingkungan dan tidak membutuhkan komponen impor sehingga mudah diaplikasikan di PESK.

Beberapa teknologi yang dapat digunakan untuk menggantikan merkuri adalah sebagai berikut.

A. Teknologi Sianidasi

Teknologi sianida menjadi salah satu teknologi nonmerkuri yang banyak diterapkan di negara-negara penghasil emas. Salah satu pene-

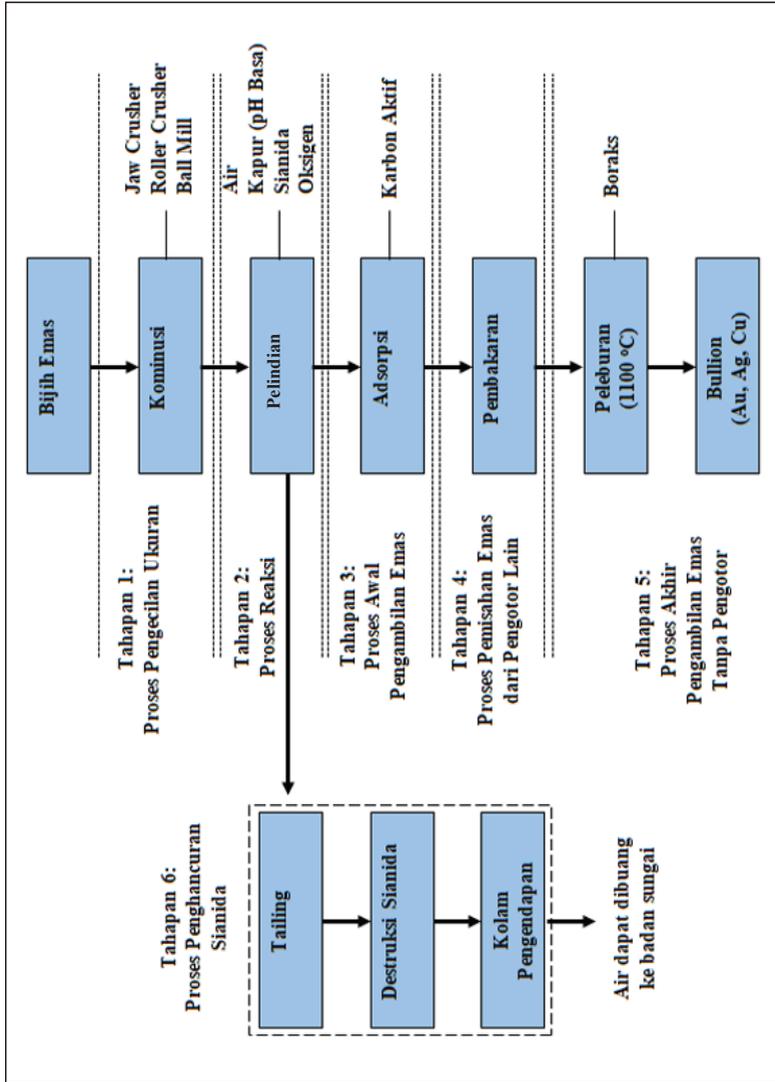
litian oleh Park dan Fray (2009) pada Waste Printed Circuit Board (WPCB) mengungkap topik ekstraksi emas menggunakan sianida. Hasil yang diperoleh adalah kualitas emas hingga 93%. Sejak saat itu, proses ekstraksi emas menggunakan sianida sebagai alternatif utama dalam penghapusan merkuri di PESK menjadi sangat familier (Sabara dkk., 2017).

Sianida merupakan reagen yang paling umum digunakan dalam mengisolasi emas. Pelarut yang biasa digunakan dalam proses sianidasi meliputi NaCN, KCN, $\text{Ca}(\text{CN})_2$ atau campuran ketiga bahan tersebut. NaCN merupakan pelarut yang paling efektif. Berikut reaksi ekstraksi emas (Sabara dkk., 2017).



Keberadaan oksigen pada proses sianidasi sangat dibutuhkan. Salah satu metode ekstraksi emas menggunakan sianida adalah menambahkan H_2O_2 dan kapur hidrat dalam pemrosesannya. H_2O_2 ditambahkan sebagai penyedia oksigen sekaligus membantu aerasi pada sistem aliran. Di samping itu, H_2O_2 berperan sebagai oksidator sehingga ion logam emas dapat terpisah dengan cepat. Sementara itu, senyawa kapur hidrat ditambahkan; berguna untuk menghentikan pembentukan gas hidrogen sianida yang beracun dan tidak dapat mengekstrak emas (Sabara dkk., 2017).

Proses sianidasi terdiri dari beberapa tahap. Pertama, kominusi, yaitu proses pengcilan ukuran. Kedua adalah proses pelindian, yaitu lumpur disirkulasi ke dalam reaktor, kemudian ditambahkan air, kapur, garam sianida, dan oksigen. Ketiga adalah proses adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif dan oksigen. Keempat adalah pembakaran, yaitu karbon aktif tersaring dicuci, lalu dilanjutkan dengan proses pembakaran sampai semua karbon aktif berubah menjadi bubuk campuran emas. Kelima adalah proses peleburan dengan penambahan boraks pada temperatur 1100 °C. Keenam adalah proses destruksi sianida dengan penambahan *sodium metabisulphate* dan *copper sulphate*. Diagram alur proses sianidasi sebagai berikut.



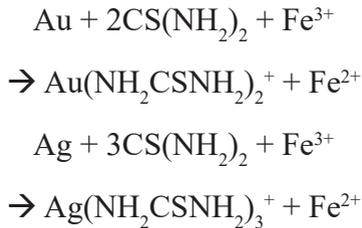
Sumber: Telmer dan Stapper (2012)

Gambar 15. Tahapan Pelindian Emas Menggunakan Teknologi Sianidasi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

B. Teknologi Tiourea

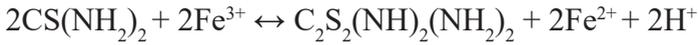
Penggunaan tiourea (*thio*) atau *thiocarbamide* dalam pengolahan emas sangat menjanjikan. Material ini digunakan untuk batuan berjenis primer dengan tingkat sulfida rendah. Oksidator yang terkandung dalam larutan tiourea sangat efektif dalam melarutkan emas. Salah satu oksidator tersebut adalah besi sulfat. Proses ini disertai dengan reaksi berikut (Boboev dkk., 2020).



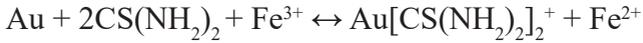
Dibandingkan teknologi sianidasi, penggunaan teknologi *thio* untuk mengekstrak emas jauh lebih mahal 25%. Hal ini terkait biaya untuk peralatan tahan asam yang digunakan pada proses ekstraksi emas; kompleks emas tiourea terbentuk dengan adanya oksidator yang stabil, yang hanya terbentuk dalam media asam ($\text{pH} < 4$). Terlepas dari kelemahan di atas, teknologi tiourea memiliki tingkat proses yang tinggi dan tidak memerlukan biaya tambahan untuk proses persiapan ekstraksi bijih emas (Boboev dkk., 2020).

Sistem kerja reaktor tiourea adalah dengan menyirkulasi lumpur dengan larutan tiourea dalam reaktor dengan penambahan larutan H_2SO_4 dan FeSO_4 . Bila hanya menggunakan tiourea sebagai pelarut, tidak dapat melarutkan emas, sedangkan penggunaan H_2SO_4 hanya bisa melarutkan emas dalam jumlah sedikit. Oleh karena itu, proses pelarutan emas dapat berjalan dengan penambahan campuran tiourea dan H_2SO_4 (Syafei, 2019). Penambahan H_2SO_4 bertujuan untuk membuat campuran memiliki $\text{pH}=1$ karena proses *leaching* dilakukan pada $\text{pH} 1-2$ (Ficeriova dkk., 2008). Ion H^+ berperan dalam pembentukan kompleks Au-tiourea. Penambahan larutan FeSO_4 bertujuan untuk mengoksidasi tiourea menjadi formamidin disulfida atau FDS ($\text{H}_2\text{N}-$

CNH-S-S-CNH-NH₂). FDS berfungsi sebagai fasilitator pembentukan kompleks emas dengan reaksi sebagai berikut.



Reaksi pelarutan emas dengan tiourea sebagai berikut.



Kemudian, *effluent*-nya dilanjutkan dengan proses pemisahan, yaitu adsorpsi. Adsorben yang digunakan dalam industri pertambangan emas adalah karbon aktif atau resin. Kemudian, emas yang terserap di karbon aktif dilakukan proses pembakaran dan selanjutnya dilebur dengan temperatur 1000–1200 °C dengan penambahan reagen berupa boraks (Na₂B₄O₇·10H₂O). Penambahan boraks bertujuan untuk mengikat *slag* (terak) agar encer sehingga mudah untuk dilakukan *tapping* serta untuk menurunkan titik leleh dari *cake*. *Tailing* yang dihasilkan dari reaktor akan dilakukan proses *thickening*, yaitu proses yang dilakukan untuk mengurangi volume lumpur sekaligus meningkatkan konsentrasi padatan di dalam lumpur. Metode *thickening* yang cukup terkenal adalah *gravity thickening*. Sesuai dengan namanya, dalam proses ini terjadi pemanfaatan gaya gravitasi (pengendapan) untuk memisahkan air dari dalam *sludge*.

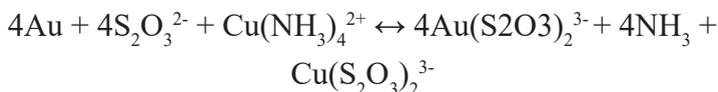
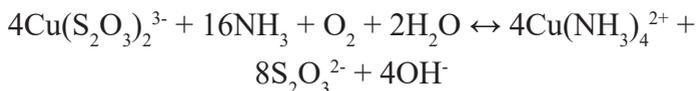
C. Teknologi Tiosulfat

Senyawa tiosulfat (S₂O₃)²⁻ merupakan alternatif pelarut yang digunakan untuk proses *leaching* (pelindian) dengan dampak lingkungan yang relatif lebih rendah dibandingkan merkuri dan sianida. Anion tiosulfat memiliki bentuk tetrahedral dan turunannya dapat menggantikan atom oksigen dengan atom sulfur pada anion sulfat. Anion tiosulfat berfungsi untuk menstabilkan, merupakan donor alami, dan dapat membentuk kompleks yang stabil dengan beberapa ion logam, seperti emas, perak, tembaga, besi, nikel, dan kobal. Ikatan S-S yang dihasilkan mengindikasikan ikatan tunggal dan interaksi S-O memiliki ikatan rangkap (Sari, 2018).

Leaching tiosulfat merupakan proses pemisahan material ion logam dari batuan. Pada umumnya, natrium dan amonium tiosulfat merupakan 2 senyawa komersial tiosulfat yang digunakan dalam proses *leaching*. Pada prinsipnya, teknologi tiosulfat berawal dari proses pemecahan bijih emas menggunakan *Jaw Crusher* dan dihaluskan hingga 200 mesh menggunakan *Ball mill*. Dalam reaktor, tiosulfat yang basa atau mendekati netral dan dengan bantuan oksigen akan melarutkan emas dalam bentuk yang paling stabil, yaitu $\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dan bentuk lainnya $\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^-$ (Alymore & Muir, 2001).



Pada proses *leaching* tiosulfat dari emas, membutuhkan oksigen sebagai katalis. Namun, tingkat *leaching* tersebut sangat lambat pada suhu kamar. Selain itu, masalah terbesar pada teknologi tiosulfat dalam industri produksi emas adalah konsumsi tiosulfat yang tinggi pada proses *leaching* menyebabkan peningkatan biaya pemrosesan. Terlebih lagi, teknologi ini membutuhkan faktor-faktor yang perlu diperhatikan, seperti kemurnian pelarut, konsentrasi dan pH larutan, dan keberadaan logam atau *alloy* dan sulfur. Oleh karena itu, senyawa tembaga (II) sebagai katalis yang direaksikan dengan amonia (NH_3), yang membentuk kompleks Cu (II), sering digunakan; ion ini dapat meningkatkan pelarutan emas sehingga proses akan lebih cepat (Sari, 2018).



Di samping kelemahan yang dimiliki oleh teknologi tiosulfat, metode ini memiliki kelebihan sebagai reagen *leaching* emas, yaitu

tingkat toksisitasnya sangat rendah; dapat digunakan untuk proses *leaching* dengan berbagai tipe bijih emas, termasuk bijih kompleks dan *pregrobbing*; menghasilkan tingkat *recovery* yang tinggi; dan prosesnya cepat dibandingkan teknologi sianidasi. Hasil ekstraksi yang diperoleh dari teknologi tiosulfat mencapai 90% dalam 1 jam (Alymore & Muir, 2001).

D. Teknologi iGoli

Teknologi iGoli adalah proses ekstraksi dan *recovery* emas bebas merkuri dengan menggunakan campuran *pool acid* (*dilute hydrochloric acid*), pemutih (*sodium hypochlorite*), dan *sodium metabisulphate* guna mendapatkan 99,9% produk emas dan 0,1% konsentrat emas. Para penambang emas skala kecil melakukan teknik ini dengan menggunakan *sluice boxes* yang dilanjutkan dengan proses *panning* sebagai proses pemisahan fisik terakhir dari bijih emas dan batuan lainnya. Bijih emas yang dihasilkan kemudian ditambahkan dengan larutan klorin yang dihasilkan dari campuran *pool acid* dan *bleach*. Selama proses *leaching*, emisi gas akan dialihkan ke kontainer terpisah yang berisi soda kaustik untuk membentuk air dan natrium klorida (garam), sedangkan *slurry*/bubur disaring untuk memisahkan partikel emas dan residu padat. Untuk mengurangi ion emas dalam larutan, proses pengendapan emas ini menggunakan sulfur dioksida dalam bentuk *sodium metabisulphate* (Syafei, 2019).

Tailing yang dihasilkan, yaitu silika kadar tinggi dan besi dengan kadar logam rendah, dinetralkan menggunakan kapur/batu kapur dan *apatite* sehingga semua logam dasar dan *ferrometals* yang ada dapat dihancurkan dan diendapkan. Langkah ini sangat diperlukan PESK untuk menurunkan risiko keracunan merkuri pada para penambang dan lingkungan sekitar pertambangan. Teknologi ini juga menawarkan nilai ekonomis yang tinggi, mengingat teknologi ini memiliki pemulihan yang tinggi, kemurnian produk, serta cara pengelolaan yang sederhana (Syafei, 2019).

E. Teknologi Flotasi

Teknologi flotasi adalah salah satu proses utama yang digunakan oleh pertambangan emas skala besar untuk mengonsentrasikan sulfida dan emas. Namun, saat ini teknologi flotasi juga dapat digunakan dengan mudah pada pertambangan emas skala kecil. Mekanisme kerja dari teknologi flotasi adalah dengan memisahkan senyawa yang terdapat pada suatu larutan dengan memanfaatkan perbedaan sifat permukaannya. Selain itu, bahan kimia digunakan dalam proses ini untuk mengapungkan mineral dan menghasilkan konsentrat (Telmer & Stapper, 2012).

Sistem flotasi diawali dengan proses penghancuran, kemudian penggilingan dan berlanjut ke pintu air untuk menangkap emas berpartikel besar, yang selanjutnya diangkut ke sel flotasi. Konsentrat sulfida yang kaya akan emas diambil dari sistem menggunakan *skimmer paddleboat* untuk diekstraksi (Telmer & Stapper, 2012). Teknologi ini dapat diterapkan pada bijih emas berukuran sangat kecil (μm) dengan didominasi oleh senyawa sulfida. Beberapa faktor



Sumber: Telmer dan Stapper (2012)

Gambar 16. Pengolahan Emas Menggunakan Teknologi Flotasi

dapat memengaruhi flotasi, yaitu ukuran partikel, kekentalan lumpur (padatan), gelembung udara, permukaan partikel, pH pulp dan karakteristik air, reagen flotasi, kecepatan putaran dan laju pengaliran udara (Syafei, 2019).

F. Penerapan Teknologi Pengolahan Emas Nonmerkuri pada PESK di Indonesia

Pada 2017 hingga 2020, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) dan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) membangun beberapa fasilitas pengolahan emas nonmerkuri pada pertambangan emas skala kecil (PESK) di beberapa kota di Indonesia. Pembangunan tersebut didanai melalui APBN KLHK (Direktorat Pengelolaan B3) dan Program Emas Rakyat Sejahtera (PERS)/AGC atau *Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Indonesia*

Tabel 3. Teknologi Pengolahan Emas Nonmerkuri pada PESK di Indonesia

No.	Teknologi	Lokasi
1.	Teknologi <i>leaching</i> sianida	Desa Lebak Situ, Kecamatan Lebak Gedong, Kabupaten Lebak, Banten Kapasitas: 1,5 Ton/ <i>Batch</i>
		Desa Pelangan, Kabupaten Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat Kapasitas: 1,2 Ton/ <i>Batch</i>
		Desa Sambi, Kabupaten Kotawaringin Barat, Kalimantan Barat Kapasitas: 0,5 Ton/ <i>Batch</i>
2.	Konsentrasi gravitasi	Desa Kadundung, Kabupaten Luwu, Sulawesi Selatan Kapasitas: 0,75 Ton/ <i>Batch</i>
3.	Glisin dan <i>Shaking Table</i>	Tatelu, Kabupaten Minahasa Utara, Sulawesi Utara Kapasitas: 3 Ton/hari
		Tobongan, Kabupaten Bolaang Mongondow, Sulawesi Utara Kapasitas: 3 Ton/hari
		Parenggean, Kabupaten Kotawaringin Timur, Kalimantan Tengah Kapasitas: 3 Ton/hari

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2020b)

Project (2015–2020). Beberapa teknologi nonmerkuri yang digunakan di Indonesia tercantum pada Tabel 3.

Ketika berbicara tentang penghapusan merkuri di PESK, banyak faktor yang harus diperhatikan; tidak hanya menyiapkan teknologi nonmerkuri, tetapi juga memperhatikan aspek sosial, hukum, ekonomi, dan lainnya. Jadi, empat komponen yang harus dijalankan oleh pemangku kepentingan dalam penghapusan merkuri di PESK adalah sebagai berikut.

1. Penguatan kelembagaan dan kerangka kebijakan/peraturan untuk PESK tanpa merkuri

Pencegahan masuknya merkuri di PESK tentunya harus diawali dengan pelaksanaan regulasi pelarangan penggunaan merkuri di PESK. Kebijakan pelarangan ini sudah tertuang di dalam RAN-PPM. Pelaksanaan RAN-PPM ini wajib diturunkan di dalam Rencana Aksi Daerah Pengurangan dan Penghapusan Merkuri oleh pemerintah provinsi maupun pemerintah kota/kabupaten. Apabila peraturan pelarangan penggunaan merkuri di PESK sudah diterapkan oleh Pemerintah Daerah, penegakan hukum akan lebih mudah diterapkan dan penambang berusaha untuk mematuhi peraturan tersebut.

2. Pemberian bantuan teknis dan transfer teknologi nonmerkuri di PESK

Pemberian bantuan teknis ini tidak hanya mengajarkan teknologi alternatif nonmerkuri, tetapi juga pembentukan sistem penyediaan pinjaman dalam rangka pembelian peralatan pengolahan emas tanpa merkuri; dukungan terhadap formalisasi bagi penambang, seperti izin lingkungan bagi kegiatan penambangan dan pengolahan emas, maupun izin badan usaha, seperti koperasi, sehingga akan meningkatkan kesejahteraan penambang. Selain itu, kesetaraan gender juga sudah seharusnya diperhatikan.

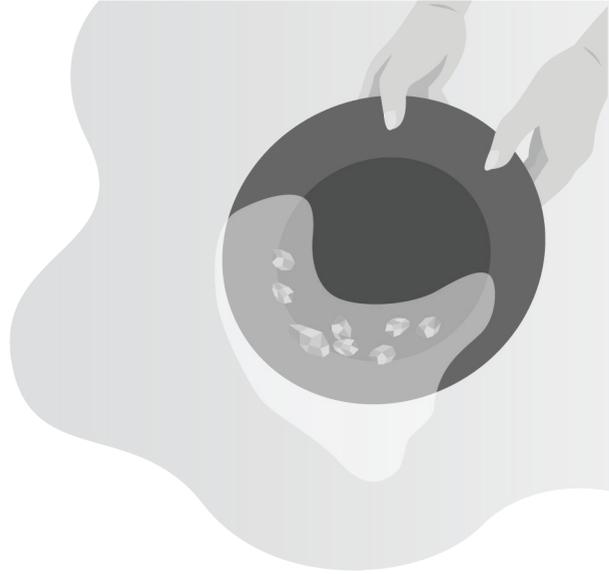
3. Pengawasan dan evaluasi bagi kelangsungan proses PESK

Pelaksanaan pencegahan penggunaan merkuri di PESK membutuhkan kerja sama lintas sektor supaya berjalan dengan lancar. Pemangku kepentingan yang terlibat antara lain pemerintah pusat (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan), pemerintah daerah (gubernur, walikota/bupati, Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral), kepolisian, kejaksaan, badan riset, akademisi, dan lainnya.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Bab 5

Penutup



Merkuri yang dapat terakumulasi pada ekosistem dapat mencemari lingkungan ekosistem dan perikanan serta menyebabkan masalah kesehatan pada manusia. Hingga saat ini, masih banyak pertambangan emas skala kecil (PESK) menggunakan merkuri dalam kegiatan ekstraksi emas.

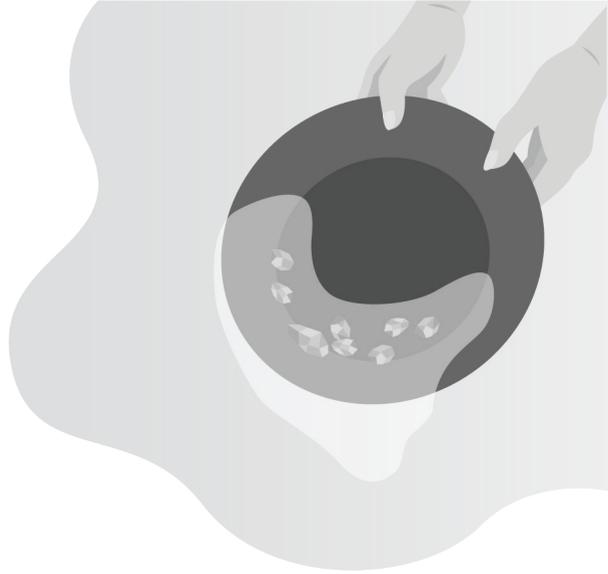
Pemerintah Indonesia telah menargetkan penghapusan merkuri di bidang prioritas PESK sebesar 100% pada 2025, seperti yang tercantum dalam Peraturan Presiden Nomor 21 Tahun 2019 tentang Rencana Aksi Nasional Pengurangan dan Penghapusan Merkuri. Pekerjaan ini menjadi tanggung jawab pemerintah pusat, pemerintah daerah, kementerian/lembaga, penambang dan pengolah emas, serta masyarakat. Dibutuhkan sosialisasi kepada masyarakat mengenai bahaya merkuri, pengelolaan merkuri di PESK, serta teknologi yang tepat untuk mengolah limbah merkuri.

Selain itu, penghapusan merkuri di PESK membutuhkan empat komponen penting yang harus dijalankan oleh pemangku kepentingan, yaitu 1) penguatan kelembagaan dan kerangka kebijakan/peraturan untuk PESK tanpa merkuri; 2) pemberian bantuan teknis dan transfer teknologi nonmerkuri di PESK, tidak hanya mengajarkan teknologi alternatif nonmerkuri, tetapi juga pembentukan sistem penyediaan pinjaman dalam rangka pembelian peralatan pengolahan

emas tanpa merkuri; 3) pemberian dukungan terhadap formalisasi bagi penambang, seperti izin lingkungan bagi kegiatan penambangan dan pengolahan emas, maupun izin badan usaha, seperti koperasi, sehingga akan meningkatkan kesejahteraan penambang; serta 4) pengawasan dan evaluasi bagi kelangsungan proses PESK.

Evaluasi terkait penghapusan merkuri di PESK dan penerapan teknologi nonmerkuri perlu dilakukan secara rutin. Pemangku kepentingan diharapkan dapat lebih memperhatikan riset-riset yang bertujuan untuk menghapus penggunaan merkuri pada kegiatan PESK dan penanggulangan dampak negatif akibat penggunaan merkuri pada kegiatan PESK, antara lain teknologi pemulihan lahan terkontaminasi merkuri, peran wanita penambang, dan kajian teknologi nonmerkuri di PESK. Selain itu, penanggulangan merkuri di lingkungan membutuhkan kajian yang bersifat multidisiplin. Oleh karena itu, riset yang bersifat kolaboratif serta peningkatan dalam pendanaan riset merupakan hal penting yang perlu diwujudkan, baik pada skala nasional maupun internasional.

Daftar Pustaka



- Alymore, M. G., & Muir, D. M. (2001). Thiosulfate leaching of gold: A review. *Minerals Engineering*, 14(2), 135–174.
- Ambarsari, H., & Qisthi, A. (2017). Remediasi merkuri (Hg) pada air limbah tambang emas rakyat dengan metode lahan basah buatan terpadu. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 148–156.
- Anisa, E. D. K. P., & Trihadiningrum, Y. (2016). Stabilisasi/solidifikasi tanah tercemar merkuri tambang emas rakyat Kulon Progo, Yogyakarta, menggunakan campuran semen *portland* dan tanah tras. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), F112–F118.
- Boboev, I. R., Selnitsin, R. S., Kholikov, T. A., & Sharipov, B. K. (2020). Technology of gold extraction from mature dumps by thiourea leaching. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 61(3), 257–264.
- Bradley, M., Barst, B., & Basu, N. (2017). A review of mercury bioavailability in humans and fish. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(2), 169.
- Bridges, C. C., & Zalups, R. K. (2017). The aging kidney and the nephrotoxic effects of mercury. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, Critical Reviews*, 20(2), 55–80.
- Bruno, D. E., Ruban, D. A., Tiess, G., Pirrone, N., Perrotta, P., Mikhailenko, A. V., Ermolaev, V. A., & Yashalova, N. N. (2020). Artisanal and small-scale gold mining, meandering tropical rivers, and geological heritage: Evidence from Brazil and Indonesia. *Science of the Total Environment*, 715, 136907.

- Budiawan. (2013). Studi bioakumulasi metil merkuri pada *Perna viridis* dan *Anadara indica* menggunakan radiotracer. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, 16(1), 37–44.
- Buss, D., Rutherford, B., Kumah, C., & Spear, M. (2021). Beyond the rituals of inclusion: The environment for women and resource governance in Africa's artisanal and small-scale mining sector. *Environmental Science and Policy*, 116, 30–37.
- Chalkidis, A., Jampaiah, D., Aryana, A., Wood, C. D., Hartley, P. G., Sabri, Y. M., & Bhargava, S. K. (2020). Mercury-bearing wastes: Source, policies and treatment technologies for mercury recovery and safe disposal. *Journal of Environmental Management*, 270, 110945.
- Deffrinica, Vuspitasari, B. K., & Hapsari, V. R. (2020). Kesejahteraan rumah tangga perempuan pendulang emas. *Jurnal Inovasi Penelitian*, 1(5), 933–940.
- Esdaille, L. J., & Chalker, J. M. (2018). The mercury problem in artisanal and small-scale gold mining. *Chemistry—A European Journal*, 24(27), 6905–6916.
- Ficeriova, J., Balaz, P., Dutkova, E., & Gock, E. (2008). Leaching of gold and silver from crushed Au-Ag wastes. *The Open Chemical Engineering Journal*, 2(1), 6–9.
- Gutiérrez, G. J., Miranda, J. P. R., & Céspedes, J. M. S. (2016). Conceptual model applied to the selection of wastewater treatment with mercury in gold mining in Colombia. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 11(5), 1119–1136.
- Ha, E., Basu, N., Bose-O'Reilly, S., Dorea, J. G., McSorley, E., Sakamoto, M., & Chan, H. M. (2017). Current progress on understanding the impact of mercury on human health. *Environmental Research*, 152, 419–433.
- Haq, A., & Achmadi, U. F. (2018). Mercury poisoning on gold miners at artisanal and small-scale gold mining in Indonesia: A systematic review. *Proceedings of Global Public Health Conference*, 1(1), 10–16.
- Henriques, M. C., Loureiro, S., Fardilha, M., & Herdeiro, M. T. (2019). Exposure to mercury and human reproductive health: A systematic review. *Reproductive Toxicology*, 85, 93–103.
- Hutagalung, H. P. (1985). Raksa (Hg). *Oseana*, 10(3), 93–105.

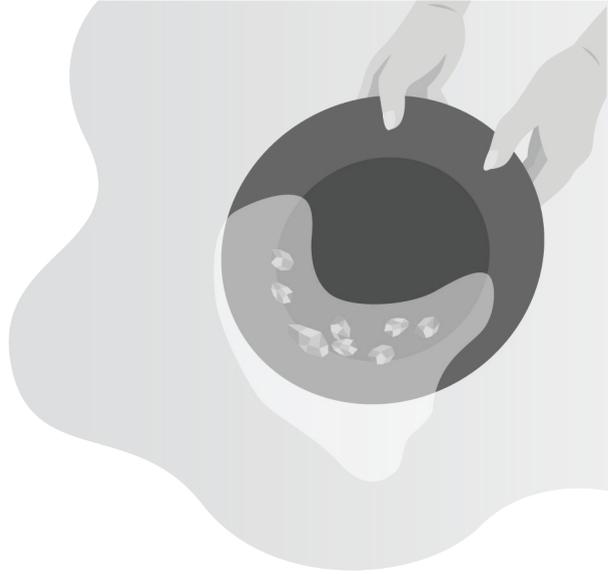
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2020a). *Buku 2: Penggunaan merkuri dan dampaknya terhadap lingkungan, serta sebaran lokasi pertambangan emas skala kecil*. GOLD-ISMIA. <https://goldismia.org/publication/related-article/2020-buku-2-penggunaan-merkuri-dan-dampaknya-terhadap-lingkungan-serta>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2020b). *Buku 4: Teknologi pengolahan emas pada pertambangan emas skala kecil di Indonesia*. GOLD-ISMIA. <https://goldismia.org/publication/related-article/2020-buku-4-teknologi-pengolahan-emas-pada-pertambangan-emas-skala>
- Lacerda, L. D., & Salomons, W. (1998). *Mercury from gold and silver mining: A chemical time bomb?*. Springer. doi: 10.1007/978-3-642-58793-1
- Mahbub, K. R., Krishnan, K., Naidu, R., Andrews, S., & Megharaj, M. (2017). Mercury toxicity to terrestrial biota. *Ecological Indicators*, 74, 451–462.
- Malehase, T., Daso, A. P., & Okonkwo, J. O. (2017). Initiatives to combat mercury use in artisanal small-scale gold mining: A review on issues and challenges. *Environmental Reviews*, 25(2), 218–224.
- Marrugo-Negrete, J., Marrugo-Madrid, S., Pinedo-Hernández, J., Durango-Hernández, J., & Díez, S. (2016). Screening of native plant species for phytoremediation potential at a Hg-contaminated mining site. *Science of the Total Environment*, 542, 809–816.
- Martinez, G., McCord, S. A., Driscoll, C. T., Todorova, S., Wu, S., Araujo, J. F., Vega, C. M., & Fernandez, L. E. (2018). Mercury contamination in riverine sediments and fish associated with artisanal and small-scale gold mining in Madre de Dios, Peru. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(8), 1584.
- Marwiani, L. (2019). *Penggunaan merkuri pada kegiatan pertambangan emas skala kecil (PESK)*. <https://sitkb3.menlhk.go.id/infomerkuri/?p=4647>
- Minamata Convention on Mercury. (2019). *Text and Annexes [Booklet]*. United Nations Environment Programme. <https://www.mercuryconvention.org/en/documents/minamata-convention-mercury-text-and-annexes>
- Moreno-Brush, M., McLagan, D. S., & Biester, H. (2020). Fate of mercury from artisanal and small-scale gold mining in tropical rivers: Hydrological and biogeochemical controls. A critical review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(5), 437–475.

- Muddarisna, N., Krisnayanti, B. D., Utami, S. R., & Handayanto, E. (2013). The potential of wild plants for phytoremediation of soil contaminated with mercury of gold cyanidation tailings. *IOSR Journal Of Environmental Science, Toxicology And Food Technology*, 4(1), 15–19.
- Muslihudin, M., Bambang, A. N., Hendarto, E., & Putranto, T. T. (2018). The impact of traditional gold mining in Gumelar Banyumas, Indonesia. *Eco, Env & Cons*, 24(2), 607–613.
- Niane, B., Guédron, S., Feder, F., Legros, S., Ngom, P. M., & Moritz, R. (2019). Impact of recent artisanal small-scale gold mining in Senegal: Mercury and methylmercury contamination of terrestrial and aquatic ecosystems. *Science of the Total Environment*, 669, 185–193.
- Nur, I., Yumnaini, Idris, M., & Sari, A. I. (2020). Study on the impact of environmental pollution: Parasitic infestation and conditions factor of fish living in amalgamation ponds. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 465, 012042.
- Pamungkas, H. S. R., Thayib, H., & Inswiasri. (2015). Potensi sebaran limbah merkuri pertambangan emas rakyat di Desa Cisungsang, Kabupaten Lebak, Banten. *Jurnal Ekologi Kesehatan*, 14(3), 195–205.
- Park, Y. J., & Fray, D. J. (2009). Recovery of high purity precious metals from printed circuit boards. *Journal of Hazardous Materials*, 164(2–3), 1152–1158.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2019 tentang Rencana Aksi Nasional Pengurangan dan Penghapusan Merkuri. (2019). <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/106019/perpresno-21-tahun-2019>
- Rodrigues, P. de A., Ferrari, R. G., dos Santos, L. N., & Conte Junior, C. A. (2019). Mercury in aquatic fauna contamination: A systematic review on its dynamics and potential health risks. *Journal of Environmental Sciences*, 84, 205–218.
- Rutherford, B., & Buss, D. (2019). Gendered governance and socio-economic differentiation among women artisanal and small-scale miners in Central and East Africa. *Third World Thematics: A TWQ Journal*, 4(1), 63–79.

- Sabara, Z., Ifa, L., Darnengsih, D., Irmayani, & Ridwan, R. (2017). Ekstraksi emas dari bijih emas dengan sianida dan oksigen dengan metode ekstraksi padat-cair. *Journal of Chemical Process Engineering*, 2(2), 12–15.
- Sari, A. M. M. (2018). *Recovery perak menggunakan metode leaching pelarut tiosulfat dari logam perak murni* [Skripsi tidak diterbitkan]. Universitas Jember.
- Saturday, A. (2018). Mercury and its associated impacts on environment and human health: A review. *Journal of Environment and Health Science*, 4(2), 37–43.
- Spiegel, S. J., & Veiga, M. M. (2010). International guidelines on mercury management in small-scale gold mining. *Journal of Cleaner Production*, 18, 375–385.
- Syafei, A. (2019). *Penyediaan alternatif teknologi pengolahan emas nonmerkuri*. <https://sitkb3.menlhk.go.id/infomerkuri/?p=4652>
- Telmer, K. & Stapper, D. (2012). *A practical guide reducing mercury use in artisanal and smallscale gold mining*. United Nations Environment Programme(UNEP).
- Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2017 tentang Pengesahan Minamata Convention on Mercury (Konvensi Minamata Mengenai Merkuri). (2017). <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/53614/uu-no-11-tahun-2017>
- Veiga, M. M., & Gunson, A. (2020). Gravity concentration in artisanal gold mining. *Minerals*, 10(11), 1026.
- Warburton, E. (2017). Resource nationalism in Indonesia: Ownership structures and sectoral variation in mining and palm oil. *Journal of East Asian Studies*, 17(3), 285–312.
- Xu, J., Bravo, A. G., Lagerkvist, A., Bertilsson, S., Sjoblom, R., & Kumpiene, J. (2015). Sources and remediation techniques for mercury contaminated soil. *Environment International*, 74, 42–53.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Daftar Istilah (Glosarium)



- Abiotik : Komponen penyusun ekosistem yang terdiri atas benda-benda tidak hidup
- Amalgam : Paduan raksa dengan sejumlah logam atau paduan lain, seperti Ce, Na, Zn, Li, dan beberapa bahan nonlogam, dapat bersifat cair atau padat
- Amalgamasi : Pengamalgaman
- Anaerob : Lingkungan tanpa oksigen
- Atmosfer : Lapisan udara yang menyelubungi bumi sampai ketinggian 300 km (terutama terdiri atas campuran berbagai gas, yaitu nitrogen, oksigen, argon, dan sejumlah kecil gas lain)
- Antropogenik : Bersifat buatan manusia
- Badan air : Kumpulan air yang besarnya, antara lain, bergantung pada relief permukaan bumi, porositas batuan pembendungannya, curah hujan, suhu, dan sebagainya, misalnya sungai, rawa, danau, laut, dan samudra
- Bioakumulasi : Akumulasi secara perlahan suatu senyawa (kontaminan) pada suatu organisme dengan laju yang lebih cepat dari mekanisme pelepasan melalui katabolisme dan ekskresi

- Biomagnifikasi : Akumulasi kandungan senyawa (kontaminan) dalam jaringan organisme berdasarkan rantai makanan
- Biokonsentrasi : Akumulasi senyawa (kontaminan) pada suatu organisme ketika sumber senyawa kontaminan tersebut hanya berasal dari air
- Biosorpsi : Penghilangan suatu senyawa (ion logam berat) dari limbah berdasarkan kemampuan material biologis untuk mengikat/menyerap senyawa
- Biotik : Komponen lingkungan hidup dari sekumpulan makhluk hidup atau organisme yang ada di lingkungan sekitar
- Cinnabar* : Batuan berwarna bata merah yang sangat berharga karena mengandung unsur merkuri (II) sulfida yang merupakan bijih merkuri
- Delusi : Gangguan mental yang ditandai dengan adanya ketidaksinambungan antara pemikiran imajinasi dan emosi yang tidak rasional dengan kenyataan
- Dispnea : Gangguan bernapas; sulit bernapas; sesak napas
- Distribusi : Proses penyaluran
- Ekosistem : Keadaan khusus tempat komunitas suatu organisme hidup dan komponen organisme tidak hidup dari suatu lingkungan yang saling berinteraksi
- Ekstraksi : Proses pemisahan suatu zat berdasarkan perbedaan kelarutannya terhadap dua cairan tidak saling larut yang berbeda
- Elektrokoagulasi : Proses penggumpalan dan pengendapan partikel-partikel halus yang terdapat dalam air dengan menggunakan energi listrik
- Emisi : Pancaran; pengeluaran

- Enkapsulasi limbah : Proses solidifikasi (pemadatan) terhadap limbah untuk menghindari pelindian limbah dan mengurangi risiko limbah diakses oleh pemulung. Prosesnya dilakukan dengan memasukan limbah sebanyak 2/3 volume wadah dan ditimbun dengan semen dan/atau pasir bituminus. Limbah enkapsulasi dapat berupa benda tajam, abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom flash*) dari insinerator sebelum ditimbun di penimbun saniter, penimbunan terkontrol, dan penimbunan akhir limbah B3.
- Faringitis : Peradangan tenggorokan atau faring
- Fibrosis : Pembentukan jaringan ikat fibrosa akibat peradangan yang terjadi pada paru dan jantung
- Fitoremediasi : Upaya penggunaan tanaman dan bagian-bagiannya untuk dekontaminasi limbah dan masalah-masalah pencemaran lingkungan, baik secara *ex situ* menggunakan kolam buatan atau reaktor maupun *in situ* (langsung di lapangan) pada tanah atau daerah yang terkontaminasi limbah
- Genom : Perangkat kromosom yang terdapat pada intisel pada organisme
- Glomerulonefritis : Peradangan pada glomerulus (saringan kecil ginjal)
- Hepatitis : Peradangan hati atau liver
- Hipera-kumulator : Dapat mengakumulasi unsur logam tertentu dengan konsentrasi tinggi pada tajuknya
- Induksi : Proses atau tindakan membawa atau menimbulkan sesuatu
- Infeksi : Masalah kesehatan yang disebabkan oleh organisme, seperti virus, bakteri, jamur, dan parasit
- Kondensasi : Perubahan wujud benda ke wujud yang lebih padat, seperti gas (atau uap) menjadi cairan

Konduktor	: Benda atau bahan penghantar panas, arus listrik, atau suara
Konvensi	: Permutafakatan atau kesepakatan (terutama mengenai adat, tradisi, dan sebagainya); perjanjian antarnegara, para penguasa pemerintahan, dan sebagainya
Lepasan	: Yang telah dilepaskan
Lindi	: Cairan yang meresap melalui sampah yang mengandung unsur-unsur terlarut dan tersuspensi.
Metilasi	: Bentuk dari alkilasi, dengan suatu gugus metil, dan bukan rantai karbon panjang; menggantikan sebuah atom hidrogen
Mobilitas	: Gerakan berpindah-pindah atau kesiapsiagaan untuk bergerak
Nefritis	: Infeksi yang menyebabkan peradangan dan pembengkakan ginjal
Neurotoksik	: Bahan kimia yang bersifat toksik terhadap saraf
Oksidasi	: Penggabungan suatu zat dengan oksigen
Paparan	: Sesuatu yang dialami; yang bersentuhan dengan kondisi lingkungan atau pengaruh sosial yang memiliki efek merugikan atau menguntungkan
Patogen	: Mikroorganisme parasit yang dapat menyebabkan penyakit; terdapat 3 jenis patogen berbahaya, yaitu virus, bakteri, dan jamur.
Presipitasi	: Kondensasi uap air di atmosfer; proses pengendapan, baik larutan maupun dari udara permukaan ke permukaan bumi
Ratifikasi	: Pengesahan suatu dokumen negara oleh parlemen, khususnya pengesahan undang-undang, perjanjian antarnegara, dan persetujuan hukum internasional
Resistensi	: Kemampuan menahan, melawan, dan menghentikan efek; membinasakan
Retort	: Mesin atau alat penangkap uap dan gas merkuri

Reversis osmosis	: Metode penyaringan air dengan daya saring tinggi yang tidak hanya mampu menjernihkan air, tetapi juga menyaring molekul besar sehingga menghasilkan air yang lebih murni
Senyawa	: Zat murni dan homogen yang terdiri atas dua unsur atau lebih yang berbeda dengan perbandingan tertentu, biasanya sifatnya sangat berbeda dari sifat unsur-unsurnya
Sianidasi	: Proses ekstraksi emas menggunakan sianida
Spesiasi	: Proses pembentukan spesies logam yang berbeda-beda (contoh: metil-Hg, etil-Hg, dll.)
Stres oksidatif	: Keadaan saat jumlah radikal bebas di dalam tubuh melebihi kapasitas tubuh untuk menetralkannya
<i>Tailing</i>	: Bahan yang tertinggal setelah pemisahan fraksi
Toksisitas	: Tingkat merusaknya suatu zat jika dipaparkan terhadap organisme
<i>Trommel</i>	: Mesin untuk menggiling bebatuan
Tungsten	: Logam berat langka yang memiliki nama lain, yaitu wolfram yang memiliki titik leleh tertinggi 3422 °C

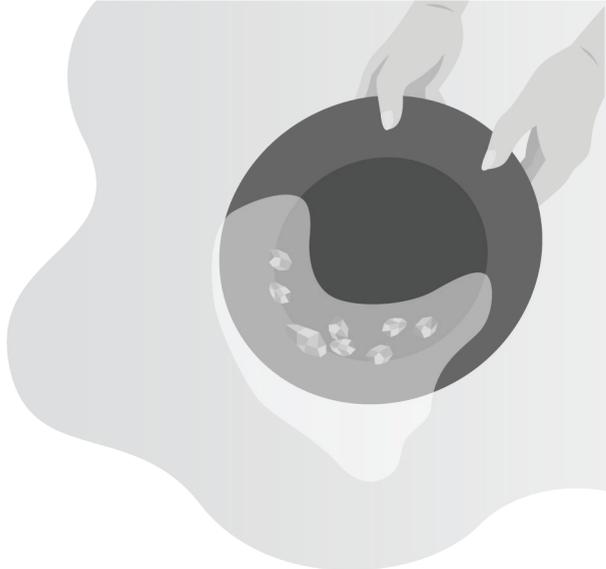
Buku ini tidak diperjualbelikan.

Daftar Singkatan

1. Au : Aurum
2. Cys : *Cysteine*
3. DNA : *Deoxyribonucleic acid*
4. Hcy : *Homocysteine*
5. Hg : *Hydrargyrum*
6. GSH : Glutation
7. MeHg : Metil merkuri
8. NAC : *N-Acetylcysteine*
9. PESK : Pertambangan emas skala kecil
10. RAN-PPM : Rencana Aksi Nasional Pengurangan dan Penghapusan Merkuri
11. SDM : Sumber daya manusia
12. UU : Undang-Undang
13. UN : United Nations
14. UNEP : United Nations Environment Programme
15. WHO : World Health Organization
16. WPR : Wilayah Pertambangan Rakyat

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Indeks



Amalgamasi, 16, 17, 55, 63

Antropogenik, 5, 55, 63

Emisi, 4, 5, 56, 63

Energi, 26, 27, 45, 63

Kesehatan, 6, 8, 27, 52, 63

Konvensi, 1, 25, 53, 58, 63, 65

Lepasan, 58, 63

Manufaktur, 63

Minamata, 1, 25, 51, 53, 63, 65

Pertambangan, 3, 13, 25, 26, 27, 28,
61, 63

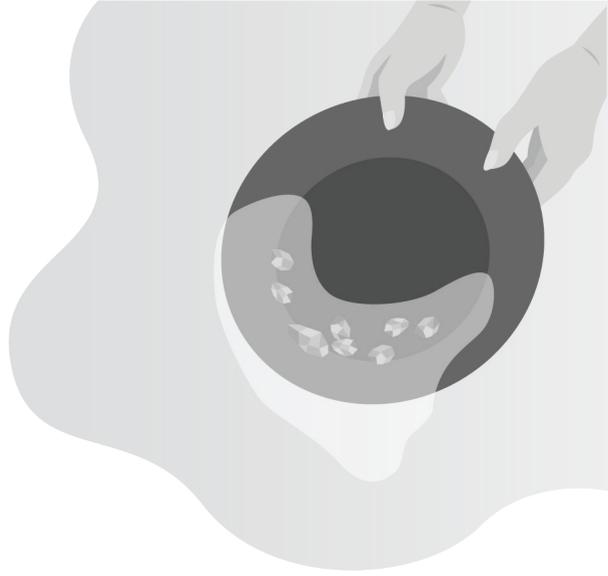
Pertambangan Emas Skala Kecil
(PESK), 1, 2, 3, 9, 11, 13,
14, 15, 20, 21, 22, 25, 27,
28, 29, 30, 33, 35, 36, 41,
43, 44, 45, 47, 48, 51, 61,
63, 67

RAN-PPM, 2, 25, 27, 35, 44, 61,
63

Ratifikasi, 58, 63

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Biografi Penulis



Ajeng Arum Sari lahir di Surabaya, 13 Juni 1983. Ajeng menyelesaikan pendidikan sarjana di Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Diponegoro pada 2005. Pada 2008, Ajeng melanjutkan pendidikan program magister di Fakultas Pertanian, Universitas Ehime, Jepang. Setelah lulus pendidikan program magister pada 2010, Ajeng langsung melanjutkan program doctoral di The United Graduate School of Agricultural Sciences, Universitas Ehime, Jepang, dan lulus pada 2013. Ajeng memulai kariernya sebagai peneliti di Pusat Penelitian Kimia, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) sejak 2006 di bidang Teknologi Lingkungan. Saat ini, Ajeng menjadi peneliti di Loka Penelitian Teknologi Bersih, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dengan topik riset “pengolahan air limbah dan kebijakan merkuri”. Ajeng merupakan perwakilan Indonesia dalam tim ahli ambang batas limbah merkuri di COP 4 Konvensi Minamata. *E-mail:* ajeng.a.sari@brin.go.id; ajeng.a.sari@gmail.com



Driszal Fryantoni lahir pada 7 Desember 1969 dan menyelesaikan pendidikan S1 dan S2 Computer Science, Iwate University Japan pada 1994 dan 1996. Dalam karier sebagai peneliti sejak 1996, Driszal sempat menjadi Kepala Balai Penelitian Teknologi Mineral-LIPI (2016–2019), Kepala Balai Media dan Reproduksi dan Kepala Balai Informasi Teknologi LIPI pada 2019, kemudian menjadi Kepala Biro Umum LIPI pada tahun yang sama sampai dengan Agustus 2021, dan sekarang sebagai Analis Pemanfaatan Iptek Madya BRIN di samping Plt. Kepala Biro Komunikasi Publik, Umum, dan Kesekretariatan BRIN. *E-mail*: driszal@gmail.com



Miranti Ariyani lahir di Bandung, 3 Mei 1985. Miranti menyelesaikan pendidikan Magister Ilmu Lingkungan konsentrasi Manajemen Sumber Daya Alam di Universitas Padjadjaran pada 2012. Sejak 2012, Miranti memulai karier sebagai *research associate* di Pusat Penelitian Sumber Daya Alam atau lebih dikenal dengan nama Lembaga Ekologi, Universitas Padjadjaran. Sejak 2018, Miranti bergabung dengan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia yang saat ini dikenal dengan nama Badan Riset dan Inovasi Nasional sebagai Peneliti Muda di bidang monitoring dan manajemen lingkungan. *E-mail*: miranti.ariyani@gmail.com; miranti.ariyani@brin.go.id



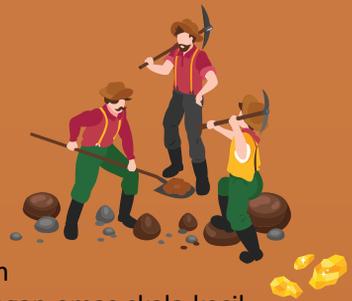
Sunu Pertiwi lahir di Banyumas, 27 Oktober 1997. Sunu menyelesaikan pendidikan sarjana di Jurusan Biologi, Universitas Jenderal Soedirman dengan mengambil ilmu fokus Bioteknologi Lingkungan dan lulus pada 2019. Sunu memulai kariernya sebagai Asisten Peneliti di Loka Penelitian Teknologi Bersih, LIPI sejak 2021. Saat ini, Sunu sedang melakukan penelitian terkait merkuri. *E-mail*: sunupertiwi68@gmail.com



Yohanes Susanto Ridwan (Santo) lahir di Yogyakarta, 2 Juli 1975. Santo menyelesaikan pendidikan sarjana di Jurusan Kimia, Institut Teknologi Bandung pada 1999 dan magister pada 2010 di kampus yang sama di bidang Kimia Analitik. Santo memulai kariernya sebagai peneliti di Pusat Penelitian Kimia, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) sejak 2002 di bidang Metrologi Kimia. Selanjutnya, Santo bergabung dengan Loka Penelitian Teknologi Bersih, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) di Kelompok Penelitian Pengukuran Lingkungan. Saat ini, Santo sedang melakukan penelitian merkuri, khususnya terkait dengan monitoring dan *risk assessment* pada lingkungan yang terkena dampak kegiatan pertambangan emas skala kecil (PESK). *E-mail*: yo.susantoridwan@gmail.com

BUKU SAKU MERKURI:

Menuju Penghapusan Merkuri di Pertambangan Emas Skala Kecil



Merkuri adalah salah satu logam berat yang berbahaya dan beracun yang apabila mence-mari lingkungan dapat memberikan dampak negatif terhadap makhluk hidup. Penggunaan merkuri dalam ekstraksi emas pada pertambangan emas skala kecil (PESK) masih marak digunakan saat ini yang menyebabkan sektor tersebut menjadi sumber terbesar pelepasan merkuri ke lingkungan. Pemerintah pun terus berupaya untuk mengurangi dan menghapus penggunaan merkuri pada sektor tersebut.

Buku ini mengulas berbagai hal terkait dengan penggunaan merkuri dan pengelolannya di PESK serta apa dampak yang ditimbulkan. Tidak hanya itu, buku ini juga menyajikan informasi tentang strategi pengelolaan merkuri di PESK dan teknologi alternatif pengganti merkuri dalam pengolahan emas. Dengan demikian, semoga buku ini dapat menambah wawasan para pemangku kepentingan dan men-dorong peran mereka dalam upaya penghapusan merkuri di PESK.



Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B.J. Habibie, Jln. M.H. Thamrin No. 8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
Whatsapp: 0811-8612-369
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.go.id

DOI 10.14203/press.441



ISBN 978-623-99348-1-1



9 786239 934811