

## **Gambaran Kualitas Lingkungan Sungai Cimandiri Akibat Cemaran Merkuri di Wilayah Penambangan Emas Skala Kecil (PESK) Kabupaten Sukabumi**

Izza Hananingtyas<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Prodi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Ilmu Kesehatan, UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta, Indonesia

\*Corresponding author: izza.hananingtyas@uinjkt.ac.id

---

### **ABSTRACT**

*In Indonesia, ASGM has increased. This results in an increased risk of mercury pollution in the environment (Minamata Initial Assessment Report, 2019). The amalgamation process for ASGM in Sukabumi, it used mercury as basic material for amalgamation process. It can increase to negative impacts on the environment and humans. This study aims to describe the impact of mercury contamination on the environmental quality of the Cimandiri River around ASGM in Sukabumi District. This research was conducted using a laboratory test method with reference to PP No. 22 at 2021 and SNI 7387 at 2009. The results of the tests found that the highest mercury exposure occurred in aquatic biota (catfish, snakehead and eel) which exceeded the quality standard, although the media water and sediment does not exceed the quality standard. This indicates that the quality of the Cimandiri River is unsafe for biota due to mercury contamination in local biota around ASGM. Therefore, there is a need for further studies on the safety of local food products from the Cimandiri River.*

**Keywords:** *Biota, Mercury, River Environmental Quality, Watershed*

### **ABSTRAK**

Semakin meningkatnya PESK di Indonesia, memiliki risiko semakin meningkatnya cemaran merkuri pada lingkungan (Minamata Initial Assessment Report, 2019). Pada kegiatan PESK di Sukabumi, diketahui menggunakan bahan merkuri sebagai proses amalgamasi. Penggunaan bahan merkuri pada kegiatan pengolahan emas di sektor PESK diketahui mengakibatkan dampak negatif pada lingkungan dan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gambaran dampak cemaran merkuri pada kualitas lingkungan Sungai Cimandiri di sekitar PESK di Kabupaten Sukabumi. Penelitian ini dilakukan dengan metode uji laboratorium dengan acuan PP No.22 Tahun 2021 dan SNI 7387 Tahun 2009. Hasil dari pengujian, diketahui bahwa paparan merkuri tertinggi terjadi pada biota air melebihi nilai baku mutu pada ikan (0,03 mg/Kg) dengan kadar tertinggi pada ikan Lele (0,29 mg/Kg), ikan Gabus (0,28 mg/Kg), dan Belut (0,046 mg/Kg), walaupun media air dan sedimen tidak melebihi baku mutu. Hal ini mengindikasikan adanya kualitas Sungai Cimandiri yang tidak aman untuk kehidupan biota akibat adanya cemaran merkuri pada biota local di sekitar PESK. Oleh karena itu, perlu adanya kajian lebih lanjut untuk keamanan pangan lokal hasil dari Sungai Cimandiri.

**Kata Kunci:** Biota, Daerah Aliran Sungai, Kualitas Lingkungan Sungai, Merkuri

## **PENDAHULUAN**

Penambangan Emas Skala Kecil (PESK) adalah penambangan emas yang dilakukan oleh penambang individu atau usaha kecil dengan investasi modal dan produksi yang terbatas dengan sistem produksi yang tidak terpusat (KemenLHK, 2020; UU No.11 Tahun 2017; Minamata Initial Assessment Report, 2019).

Berdasarkan dokumen *Minamata Initial Assessment Report* (2019) diperoleh data penggunaan merkuri dan emisi merkuri dari produksi emas di 24 lokasi penambangan emas skala kecil yang tersebar di wilayah Indonesia, diperkirakan jumlah penggunaan merkuri dalam setahun adalah sebesar 1.727,5 ton, perkiraan emisi merkuri sebesar 345,5 ton dan total perkiraan produksi emas sebanyak 53,8 ton dalam setahun, dengan perbandingan penggunaan merkuri dengan produksi emas yaitu 6:1 (345,5 : 53,8 ton).

Dalam pengolahan emas pada kegiatan PESK di Indonesia, merkuri menjadi alternatif yang paling banyak dipilih oleh pelaku usaha PESK di Indonesia untuk menjadi bahan campuran dalam pengolahan emas, walaupun pemerintah Indonesia resmi telah meratifikasi Konvensi Minamata melalui UU No.11 Tahun 2017, tentang pengesahan *Minamata Convention on Mercury* (Konvensi Minamata Mengenai Merkuri), yang dituangkan dalam Perpres Nomor 21 Tahun 2019 yakni Rencana Aksi Nasional Pengurangan dan Penghapusan Merkuri (RAN-PPM).

Penggunaan bahan merkuri pada kegiatan pengolahan emas di sektor PESK diketahui mengakibatkan dampak negatif pada lingkungan dan manusia. Kegiatan pengolahan emas di PESK berkontribusi pada emisi merkuri global sebesar 38 persen serta mengakibatkan kasus tertinggi paparan merkuri pada semua kelompok populasi manusia hingga 15 juta orang (Ovadje et al., 2021). Kontaminasi merkuri yang tinggi pada manusia dan lingkungan disebabkan oleh sifat kimiawi merkuri yang bersifat toksik, persisten, bioakumulasi, dan dapat bermigrasi dalam jarak jauh di atmosfer. Rute laju cemaran merkuri di lingkungan berasal dari siklus merkuri pada: (1) sistem atmosfer, yaitu melalui emisi antropogenik dari pembakaran bahan bakar fosil batubara, (2) sistem daratan, yaitu dari atmosfer dan tanah, serta (3) sistem lautan, yaitu melalui emisi antropogenik dalam rantai makanan akuatik (Zhang & Wong, 2007). Oleh karena itu, peneliti ingin mengetahui gambaran dampak cemaran merkuri pada wilayah DAS Cimandiri pada PESK di Kabupaten Sukabumi.

## **METODE**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober hingga Desember 2022 di Sungai Cimandiri wilayah Penambangan Emas Skala Kecil (PESK) di Kabupaten Sukabumi. Sampel yang digunakan untuk penelitian ini, yaitu: pada media air sungai, air tanah, sedimen dan ikan di Sungai Cimandiri Kabupaten Sukabumi. Pengambilan sampel dilakukan

sesuai pedoman yang telah ada, yaitu sebagai berikut:

1. Sampel air sungai, mengacu pada SNI 8995:2021, yaitu sebagai berikut :
  - a. Menentukan lokasi *sampling* dengan ketentuan pada titik hulu, percabangan, area terdekat pemukiman dan hilir
  - b. Mempersiapkan bahan dan alat yang telah terkalibrasi
  - c. Wadah penyimpanan harus memenuhi syarat menghindari terjadinya reaksi
  - d. Pemeriksaan insitu dilakukan untuk kualitas Ph, Suhu, warna dan DO (oksigen terlarut).
  - e. Pemeriksaan logam berat dilaksanakan di laboratorium dengan melakukan pengawetan sample saat distirbusi.
2. Sampel air tanah dilakukan mengacu pada SNI 6989.58-2008,
  - a. Menentukan lokasi *sampling* dengan ketentuan pada sumur penduduk dekat dengan industri pengolahan emas, sumur pada wilayah dekat dengan aliran air sungai dan sumur warga sekitar industri pengolahan emas namun tidak melaksanakan kegiatan pengolahan emas (sebagai *control*)
  - b. Mempersiapkan bahan dan alat yang telah terkalibrasi
  - c. Pengambilan *sample* dilakukan dengan cara membuka air kran dan biarkan mengalir selama 1 – 2 menit kemudian masukkan pada wadah penyimpanan
  - d. Pemeriksaan insitu dilakukan untuk kualitas Ph, Suhu, warna dan DO (oksigen terlarut).
  - e. Pemeriksaan logam berat dilaksanakan di laboratorium dengan melakukan pengawetan sample saat distirbusi.
3. pengambilan sampel sedimen mengacu pada SNI 3414:2008.
  - a. Pengambilan contoh muatan sedimen melayang harus dipilih pada lokasi yang tidak terpengaruh adanya bangunan air atau arus balik. dengan memperhatikan ketentuan sebagai berikut: 1) Pengukuran muatan sedimen melayang dilakukan pada lokasi pengukuran debit. 2) Dasar sungai merata. 3) Penampang melintang harus tegak lurus arah aliran.
  - b. Hitung besar debit pada setiap sub penampang melintang
  - c. Hitung debit tengah dari setiap sub penampang melintang
  - d. Tentukan lokasi pengambilan dengan cara mencari titik pada kartu pengukuran dengan besaran debit yang paling dekat dengan besar debit pada butir 3

- e. Tentukan jarak lokasi titik pengambilan dari sisi sungai, sesuai dengan butir 4
  - f. Tentukan lama waktu pengambilan pada grafik, sesuai dengan diameter lubang alat (nozzle) pengambil yang digunakan.
  - g. Lakukan pengambilan *sample* muatan sedimen melayang.
  - h. Masukkan *sample* muatan sedimen melayang ke dalam botol yang telah disediakan.
  - i. Botol tersebut diberi tanda label.
  - j. Siapkan contoh muatan sedimen melayang untuk dianalisis di laboratorium.
4. Pengambilan sampel biota (ikan) dilakukan di sungai terdekat dengan lokasi PESK yakni Sungai Cimandiri dengan ketentuan biota sungai yang merupakan sumber asupan protein hewani masyarakat sekitar.

Pengambilan sampel setiap media memiliki kriteria, yaitu sebagai berikut:

1. Data Kualitas Air, dengan kriteria :
  - 1) hulu : dekat dengan area pengolahan
  - 2) aliran dekat dengan resapan pemukiman
  - 3) badan air sungai
2. Data Kualitas Sedimen  
Kondisi cemaran merkuri (Hg) pada sedimen juga di ukur pada sedimen pada badan air dekat saluran air dekat dengan pengolahan).

### 3. Data Kualitas Biota atau Ikan

Uji cemaran Hg pada biota ditentukan pada biota yang hidup di badan air wilayah setempat, yaitu :

- 1) ikan gabus,
- 2) ikan lele,
- 3) belut.

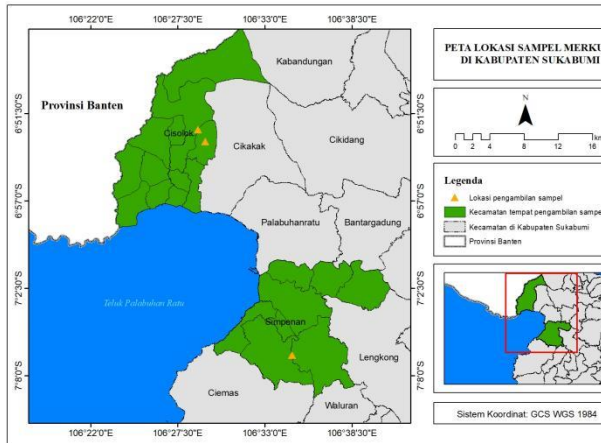
Analisis merkuri pada sampel air mengacu pada APHA 3112.B, yaitu dengan bahan *Standard mercury solutions* sebanyak 5 µg/L, Asam Nitrat dan HNO<sub>3</sub>, serta *Potassium permanganate solution* (50 g KMnO<sub>4</sub> diencerkan dalam 1L air). Proses analisis dilakukan dengan mencampurkan 100 mL *sample* dalam tabung reaksi dengan *Standard mercury solutions* sebanyak 5 µg/L dan ditambahkan KMnO<sub>4</sub> sebanyak 25 mL. Setelah itu dianalisa menggunakan *mercury analyzer portable* (EMP-2).

Pada sampel tanah, sedimen, tanaman dan biota mengacu pada SNI 7387:2009. Proses analisis yang digunakan menggunakan acuan kategori pangan karena biota yang diambil adalah yang menjadi sumber protein hewani pada masyarakat sekitar DAS Cimandiri dengan batas maksimum acuan Hg sebesar 0,03 mg/Kg. Analisis merkuri di udara ambien menggunakan *mercury analyzer portable* (EMP-2).

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penambangan Emas Skala Kecil (PESK) di Kabupaten Sukabumi hampir tersebar diseluruh wilayah yang berada pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Cimandiri.

Beberapa lokasi penambangan telah ada sejak tahun 1980 dan beberapa daerah baru di buka 5 tahun terakhir. Berikut adalah sebaran peta penambangan emas yang berada di wilayah DAS Cimandiri Kabupaten Sukabumi.



Gambar 1. Lokasi Penambangan di wilayah Kabupaten Sukabumi.  
Sumber : Data Primer, 2022

DAS Cimandiri mempunyai anak-anak sungai yang mengalir di sekitar wilayah Kabupaten Bogor, Kabupaten Cianjur dan Kabupaten Sukabumi yaitu Sungai Cicitih, Cipelang, Citarik, Cibodas, dan Cidadap yang semuanya bermuara di Teluk Pelabuhan Ratu, Sukabumi. Berdasarkan letak geografis DAS Cimandiri menurut klasifikasi merupakan DAS lokal, artinya DAS yang secara geografis terletak secara utuh berada dalam lingkup satu kabupaten/kota, dan/atau DAS yang secara potensial hanya dimanfaatkan oleh satu daerah kabupaten/kota yang melingkupi wilayah DAS tersebut. Wilayah DAS Cimandiri jika dilihat dalam lingkup administrative masuk Kabupaten Sukabumi dan sebagian masuk dalam Kabupaten Cianjur.

Hasil penelitian ini menemukan beberapa indikasi bahwa kondisi lingkungan di sekitar lokasi PESK di wilayah DAS Cimandiri telah terkontaminasi merkuri. Kontaminasi merkuri ditemukan pada media air, sedimen, dan biota. Hal ini dapat diketahui berdasarkan hasil uji laboratorium Data yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada data primer melalui pengambilan sampel ke lokasi Sungai Cimandiri dekat PESK tersebut. Sampel yang digunakan untuk penelitian ini menggunakan media air sungai, air tanah, sedimen, dan ikan. Adapun nilai baku mutu dan acuan yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Acuan NAB untuk pengambilan sampel pada media yang terkontaminasi merkuri

Media	Acuan	Baku Mutu
Air tanah	Permenkes No. 416 Tahun 1990	0,001 mg/L
Air sungai	PP No.22 Tahun 2021	0,002 mg/L
Sedimen	Canadian Sedimen Quality Guideline	0,13 mg/Kg
Biota (ikan)	SNI 7387 Tahun 2009	0,03 mg/Kg

Sumber : (Kementerian Kesehatan RI, 1990 ; KemenLHK, 2021; Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999)

Penelitian dilakukan untuk mengetahui kualitas lingkungan Sungai Cimandiri Kabupaten Sukabumi yang berlokasi dekat dengan PESK berdasarkan baku mutu yang berlaku sesuai yang telah di sebutkan pada table 1 untuk melihat

kandungan cemaran merkuri pada lingkungan air, sedimen dan biota yang terjadi setelah adanya kegiatan penambangan. Berikut adalah hasil uji dan bahasan mengenai kualitas lingkungan sungai Cimandiri berdasarkan hasil uji laboratororium.

### 1. Kualitas Air

Pengujian kualitas air sungai dan air resapan tanah di sekitar Sungai Cimandiri mengacu pada SNI 6989.58-2008, sementara air sungai mengacu pada SNI 8995:202.

Berikut adalah hasil uji kadar cemaran merkuri pada air Sungai Cimandiri dan air resapan pada air tanah masyarakat di sekitar DAS Cimandiri.

Tabel 2. Hasil uji kadar merkuri untuk pengambilan sampel Air Sungai dan Air Resapan DAS Cimandiri

No	Jenis Sample	Hasil Uji (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)
1	Air Sungai Hulu	0.0001	0,002
2	Air Sungai Hilir	0.0001	0,002
3	Air Resapan	0.0001	0,001

Sumber: Data Primer, 2022

Nilai kandungan merkuri yang tergambar di Tabel 2 pada air Sungai Cimandiri bagian hulu dan hilir di dekat lokasi PESK yaitu 0.0001 mg/L, berada di bawah baku mutu yang berlaku yaitu 0,002 mg/L. Kandungan merkuri pada air resapan / air tanah yang disampling pada lokasi tempat tinggal masyarakat di wilayah DAS Cimandiri adalah 0.0001 mg/L, nilai tersebut juga masih berada di bawah baku mutu yang berlaku yakni 00,001 mg/L. Rendahnya kandungan

merkuri pada air tanah dan air sungai tidak dapat diartikan bahwa kontaminasi belum terjadi, namun hal ini dapat terjadi adanya curah hujan yang tinggi ketika pengambilan sampel air, berdasarkan data BMKG pada curah hujan mingguan diketahui pada bulan Desember 2022 di sekitar wilayah Kabupaten Sukabumi memiliki curah hujan yang sangat tinggi berkisar >500 mm. Sehingga hal ini mempengaruhi adanya laju distribusi yang tinggi kearah aliran yang lebih rendah kondisi tipologi lingkungannya. Hal ini juga sejalan dengan penelitian Moiseenko (2019) dan juga laporan Astika et al., (2021) yang menyatakan bahwa merkuri memiliki sifat akumulatif pada lingkungan dan memiliki laju migrasi yang sangat cepat dan meluas ke wilayah yang memiliki tipologi lingkungan yang lebih rendah.

Di Indonesia terdapat beberapa peristiwa serupa, yaitu daerah yang kondisi air sungainya mengalami penurunan kualitas air akibat adanya penambangan emas skala kecil (PESK) yang dilakukan disepanjang aliran sungai (Kementeriann Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020). Apabila kondisi seperti ini berlangsung terus menerus, maka dapat memberikan dampak buruk bagi kerusakan lingkungan bahkan kesehatan. Hal ini dapat dirasakan oleh masyarakat yang tinggal disepanjang DAS Cimandiri yang memanfaatkan air sungai Cimandiri tersebut sebagai sumber penghidupan. Oleh karena itu, dengan adanya kegiatan Penambangan Emas Skala Kecil (PESK) di daerah DAS Cimandiri

menjadi permasalahan. Daerah penelitian terletak di wilayah DAS Cimandiri Kabupaten Sukabumi.

**2. Kualitas Sedimen**

Berdasarkan hasil uji laboratorium dengan pengambilan sampel sedimen yang mengacu pada prosedur SNI 3414:2008, dan acuan baku mutu menggunakan *Canadian Sedimen Quality Guideline*. Berikut hasil uji yang dilakukan sesuai pedoman uji *Canadian Sedimen Quality Guideline* untuk kadar cemaran merkuri pada sedimen di wilayah DAS Cimandiri :

Tabel 3. Hasil uji kadar merkuri untuk pengambilan sampel Sedimen DAS Cimandiri

No	Jenis Sample	Hasil Uji (mg/Kg)	Baku Mutu (mg/Kg)
1	Simplo	0.0001	0,13
2	Duplo	0.0001	0,13

Sumber: Data Primer, 2022

Nilai kadar merkuri pada Sedimen Sungai Cimandiri yang tergambar di Tabel 3 yaitu 0.0001 mg/Kg, berada di bawah baku mutu yang berlaku yaitu 0,13 mg/Kg. Hal ini dipengaruhi adanya flotasi air sungai ketika musim hujan maupun ketika masa debit air sungai tinggi. Hal ini sejalan dengan penelitian dan laporan Selin (2009) dan Uddin et al. (2021) yang menyatakan bahwa faktor lingkungan fisik pada sungai dan lingkungan aquatic dapat mempengaruhi hasil pengujian kadar merkuri.

**3. Kualitas Biota**

Penelitian dilakukan untuk mengetahui kandungan cemaran merkuri pada biota yang hidup di Sungai Cimandiri yaitu ikan Lele, ikan Gabus dan ikan Belut yang terjadi setelah adanya kegiatan penambangan, dan untuk mengetahui kualitas biota berdasarkan baku mutu yang berlaku sesuai yang telah di sebutkan pada Tabel 1.

Pengujian pada sampel biota dilakukan dengan pedoman dan acuan baku mutu yang mengacu pada SNI 7387 Tahun 2009. Berikut hasil uji yang dilakukan sesuai pedoman uji SNI 7387 Tahun 2009 untuk kadar cemaran merkuri biota di wilayah Sungai Cimandiri :

Tabel 4. Hasil uji kadar merkuri untuk pengambilan sampel Biota di Sungai Cimandiri

No	Jenis Sample	Hasil Uji (mg/Kg)	Baku Mutu (mg/Kg)
1	Ikan belut	0.046	0,03
2	Ikan Gabus	0.28	0,03
3	Ikan Lele	0.29	0,03

Sumber: Data Primer, 2022

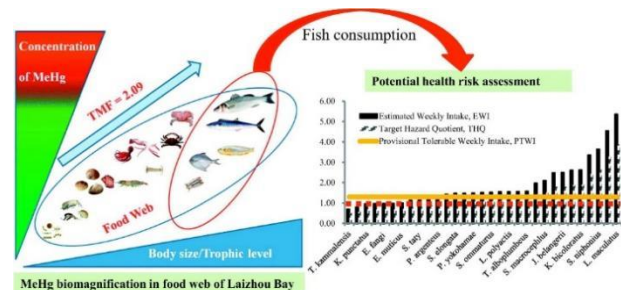
Nilai kadar merkuri pada Biota di DAS Cimandiri yang tergambar di Tabel 3 tergambar melebihi baku mutu sesuai SNI 7387 Tahun 2009 sebesar 0,03 mg/Kg. Ikan Belut memiliki kadar merkuri sebesar 0,046 mg/Kg, ikan Gabus 0,28 mg/Kg dan Ikan Lele sebesar 0,29 mg/Kg. Berdasarkan hasil uji laboratorium menyatakan bahwa seluruh sampel biota memiliki kadar merkuri di atas baku mutu. Hal ini menyatakan bahwa adanya cemaran merkuri di lingkungan air yang terjadi secara terus menerus sehingga telah

mencemari hingga pada level jaringan otot pada biota yang hidup di Sungai Cimandiri.

Hasil penelitian ini menggambarkan kontaminasi merkuri ditemukan pada media air, sedimen, dan biota. Kadar merkuri pada media air dan sedimen tidak melebihi baku mutu. Hal ini dapat disebabkan beberapa factor alam seperti terjadinya pengenceran saat terjadi hujan ketika pengambilan sampel. Namun hal ini dapat diperkuat bahwa ada pencemaran merkuri di lingkungan PESK dengan teridentifikasinya kadar merkuri tertinggi terdapat pada biota seperti ikan Lele, gabus, dan belut. Hasil penelitian ini semakin memperkuat fakta bahwa adanya kontaminasi merkuri pada media air dan sedimen secara akumulatif terjadi biomagnifikasi pada biota air. Walaupun pada saat pengambilan sample terlihat kadar merkuri tidak melebihi ambang batas dikarenakan pada proses pengambilan sample pada saat lingkungan sekitar memiliki curah hujan yang tinggi, namun karakteristik merkuri yang bersifat akumulatif menjadi gambaran bahwa terjadinya akumulasi pada lingkungan yang menyebabkan tingginya kadar merkuri pada biota akibat adanya biomagnifikasi. Hal ini dapat mengakibatkan tingginya kontaminasi merkuri yang terus menerus terakumulasi (bioakumulasi) dan bisa membahayakan ekosistem di atasnya.

Adanya biomagnifikasi merkuri pada biota telah dibanyak diteliti oleh peneliti sebelumnya, yang menyatakan adanya peningkatan kadar merkuri seiring dengan peningkatan tingkat trofik yang lebih tinggi

(Rai et al., 2021; Kolarova & Napiórkowski, 2021; Getriana et al., 2018). Hal ini dapat menjadi risiko adanya kontaminasi merkuri yang lebih besar pada biota air. Hal ini dapat tergambarkan pada gambar berikut :



Gambar 2. Biomagnifikasi Merkuri pada Biota Air  
Sumber : Cao et al. (2020)

Peningkatan konsentrasi merkuri di dalam jaringan tubuh pada biota di Sungai Cimandiri, menggambarkan adanya peristiwa bioakumulasi merkuri pada tubuh ikan Lele, gabus dan belut yang hidup di Sungai Cimandiri sekitar PESK Kabupaten Sukabumi. Bioakumulasi merkuri tertinggi terjadi pada ikan Lele yaitu, 0,29 mg/Kg, dan disusul ikan gabus sebesar 0,28 mg/Kg serta belut pada 0,046 mg/Kg (Tabel 4). Bioakumulasi merkuri pada ikan Lele, gabus dan belut disebabkan oleh konsentrasi merkuri dalam bentuk partikulat yang ditemukan di dalam jaringan otot pada biota. Akibat adanya pencemaran merkuri, terutama yang disebabkan oleh amalgamasi emas dengan menggunakan merkuri, konsentrasi merkuri di daerah Sungai Cimandiri Kabupaten Sukabumi dapat dinilai melebihi kriteria konsentrasi merkuri yang aman bagi lingkungan perairan. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82



tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air . Oleh karena itu, perlu adanya pemantauan lingkungan secara berkala akibat adanya kegiatan PESK di sekitar wilayah Sungai Cimandiri, agar keberlanjutan lingkungan disekitar DAS Cimandiri tetap terjaga dan mengalami keberlanjutan.

## KESIMPULAN

Tingkat cemaran merkuri di Sungai Cimandiri pada wilayah PESK Kabupaten Sukabumi, teridentifikasi telah mencemari media air, sedimen, biota, tanah dan tanah pertanian. Dimana kadar merkuri tertinggi dan melebihi baku mutu adalah pada biota air seperti ikan Lele, Gabus dan Belut. Sedangkan media air, sedimen, tanah dan hasil pertanian serta perkebunan tidak melebihi baku mutu.

## DAFTAR PUSTAKA

Astika, H., Handayani, S., Damayanti, R., Surono, W., Maryono, Suciyaniti, M., & Octaviano, H. A. 2021. Characterization of potential mercury contamination in the ASGM area of Mandailing Natal, North Sumatera. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 882(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/882/1/012062>

Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999. *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life PROTOCOL Protocol for the Derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life Canadian Council of Ministers of the Environment 1995 Résumé Acknowledg.*

Cao, L., Liu, J., Dou, S., & Huang, W. 2020. Biomagnification of methylmercury in a marine food web in Laizhou Bay (North China) and associated potential risks to public health. *Marine Pollution Bulletin*, 150(November), 110762. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110762>

Getriana, A., Achmadi, U. F., & Leometa, C. H. 2018. Behavioral mercury exposure of people in artisanal and small-scale gold mining site area at lebaksitu village, 2017. *Indian Journal of Public Health Research and Development*, 9(6), 433-438. <https://doi.org/10.5958/0976-5506.2018.00593.4>

KemenLHK. 2020. *Pertambangan Emas Skala Kecil (PESK)*. <http://sib3pop.menlhk.go.id/index.php/articles/view?slug=pertambangan-emas-skala-kecil-pesk-tantangan-dalam-akses-pembiayaan>

KemenLHK. 2021. *5 ayat 12). 085459.*

Kementerian Kesehatan RI. 1990. *Peraturan Menteri Kesehatan No. 416 Tahun 1990 Tentang: Syarat-syarat Dan Pengawasan Kualitas Air. 416.*

Kementeriann Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2020. Status Merkuri pada Pertambangan Emas Skala Kecil di Indonesia. In *Status Merkuri pada Pertambangan Emas Skala Kecil di Indonesia.*

Kolarova, N., & Napiórkowski, P. 2021. assessment and toxicity effect for the aquatic biota. *Ecohydrology & Hydrobiology*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2021.02.002>

Minamata Initial Assessment Report. 2019. *Minamata Initial Assessment Report 2019.*

Moiseenko, T. I. 2019. Bioavailability and Ecotoxicity of Metals in Aquatic Systems: Critical Contamination Levels. *Geochemistry International*, 57(7), 737-750.

<https://doi.org/10.1134/S0016702919070085>

- Ovadge, L., Calys-Tagoe, B. N., Clarke, E., & Basu, N. 2021. Registration status, mercury exposure biomarkers, and neuropsychological assessment of artisanal and small-scale gold miners (ASGM) from the Western Region of Ghana. *Environmental Research*, 201(April), 111639. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111639>
- Rai, P. K., Lee, J., Brown, R. J. C., & Kim, K.-H. 2021. Environmental fate, ecotoxicity biomarkers, and potential health effects of micro- and nano-scale plastic contamination. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123910. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123910>
- Selin, N. E. 2009. Global biogeochemical cycling of mercury: A review. *Annual Review of Environment and Resources*, 34, 43–63. <https://doi.org/10.1146/annurev.environment.051308.084314>
- Uddin, M. M., Zakeel, M. C. M., Zavahir, J. S., Marikar, F. M. M. T., & Jahan, I. 2021. Heavy metal accumulation in rice and aquatic plants used as human food: A general review. *Toxics*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/toxics9120360>
- UU No.11 Tahun 2017. 2017. Pengesahan Minamata Convention On Mercury. *UU No 11 Tahun 2017 Tentang Pengesahan Minamata Convention Mercury*, 2. [https://jdih.setkab.go.id/puu/buka\\_puu/175316/UU Nomor 11 Tahun 2017.pdf](https://jdih.setkab.go.id/puu/buka_puu/175316/UU%20Nomor%2011%20Tahun%202017.pdf)
- Zhang, L., & Wong, M. H. 2007. Environmental mercury contamination in China: Sources and impacts. *Environment International*, 33(1), 108–121. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.06.022>