

Analisis dan Sebaran Logam Berat Merkuri (Hg) pada Sungai Tajur dan Sungai Datar di Desa Pancurendang, Kabupaten Banyumas, Provinsi Jawa Tengah

Eni Muryani^{1, b)}, Johan Danu Prasetya^{2, c)}, Fandika Agustiyar^{3, a)}

^{1), 2), 3)}Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN Veteran Yogyakarta

^{a)}Corresponding author: 114190085@student.upnyk.ac.id

^{b)}eni.muryani@upnyk.ac.id

^{c)}johan.danu@upnyk.ac.id

ABSTRAK

Penambangan dan pengolahan emas skala kecil dengan metode amalgamasi yang dilakukan masyarakat Desa Pancurendang, Kabupaten Banyumas, Provinsi Jawa Tengah mengakibatkan terkontaminasinya lingkungan oleh logam berat merkuri. Kontaminasi merkuri disinyalir telah terjadi pada Sungai Tajur dan Sungai Datar. Penelitian ini bertujuan menganalisis kadar logam berat merkuri (Hg) pada air dan sedimen dasar Sungai Tajur dan Sungai Datar yang melintasi Desa Pancurendang dan memetakan persebarannya. Pengambilan sampel air dan sedimen dilakukan di 12 lokasi dengan *metode purposive sampling* dan *grab sampling* (sesaat). Pengambilan sampel air sungai menggunakan botol plastik 1500 ml. Pengambilan sampel sedimen menggunakan alat berupa pipa paralon atau besi berbentuk silinder. Analisis logam berat merkuri (Hg) dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) UGM dengan *Mercury Analyzer*. Pemetaan sebaran merkuri pada sungai menggunakan *software ArcMap*. Kadar Hg pada air sungai sebesar <0,00007 hingga 0,00164 ppm. Nilai tersebut masih berada di bawah baku mutu Hg air sungai yang tertuang pada Lampiran VI Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021. Hg pada sedimen sungai berada pada rentang 0,01-7,74 ppm. Kadar logam Hg sedimen sungai pada 8 lokasi melebihi baku mutu US-EPA 1997, tersebar pada lokasi 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 12. Hal ini membuktikan bahwa sifat merkuri sebagai logam berat lebih mudah mengendap, sehingga kadar logam Hg yang mengendap di bagian dasar sungai lebih tinggi dibanding kadar pada air sungai.

Kata Kunci: Desa Pancurendang; Logam Berat Hg; Penambangan Emas; Sebaran Merkuri; Sungai

ABSTRACT

Small-scale gold mining and processing using the amalgamation method carried out by the people of Pancurendang Village, Banyumas Regency, Central Java Province resulted in contamination of the environment by heavy metal mercury. Mercury contamination is suspected to have occurred in the Tajur River and the Datar River. This study aims to analyze the levels of heavy metal of mercury (Hg) in the water and bottom sediment of the Tajur River and the Datar River that crosses Pancurendang Village and mapping its distribution. Water and sediment samples were taken at 12 locations using purposive sampling and grab sampling. Sampling of river water used 1500 ml plastic bottles. Sediment sampling used a tool in the form of a paralon pipe or cylindrical iron. The analysis of heavy metal mercury (Hg) was carried out at the Integrated Research and Testing Laboratory (LPPT) UGM with a Mercury Analyzer. Mapping the distribution of mercury in rivers used ArcMap software. Hg levels in river water were <0.00007 to 0.00164 ppm. This value was still below the Hg quality standard for river water as contained in Attachment VI of Government Regulation of the Republic of Indonesia Number 22 of 2021. Hg in river sediment was in the range of 0.01-7.74 ppm. The levels of Hg metal in river sediments at 8 locations exceeded the quality standard of US-EPA 1997. This proves that the nature of mercury as a heavy metal is easier to settle, so Hg metal level that settles at the bottom of the river is higher than the level in river water.

Keywords: Gold Mining; Hg Heavy Metal; Mercury Distribution; Pancurendang Village; River

PENDAHULUAN

Penambangan Emas Skala Kecil (PESK) di Indonesia mencapai sekitar 60.000 dengan lokasi sejumlah 713 titik yang tersebar di Jawa, Kalimantan, Sumatera dan Sulawesi (Budianta *et al.*, 2019). PESK juga dilakukan oleh masyarakat Desa Pancurendang, kegiatan tersebut dilakukan dengan membuat lubang atau sumur untuk ditambang secara vertikal atau horizontal di area sekitar sungai (Muryani *et al.*, 2019). Kegiatan penambangan dilakukan di area tepi Sungai Tajur, sedangkan kegiatan pengolahan emas dilakukan di sekitar pemukiman warga. Kegiatan penambangan emas di Desa Pancurendang telah berlangsung sejak tahun 2014, sedangkan pengolahan emas menggunakan merkuri dimulai sejak tahun 2016.

Pengolahan emas skala kecil di Indonesia, termasuk di Desa Pancurendang, sebagian besar menggunakan logam berat merkuri (Hg) pada proses pemisahan emas dari batuan. Proses ini dikenal dengan sebutan amalgamasi (Bose-O'Reilly *et al.*, 2016). Sebagian masyarakat di lokasi penelitian langsung membuang limbah (*tailing*) hasil proses pengolahan emas yang masih mengandung merkuri ke lingkungan sekitar. Limbah cair maupun lumpur yang dibuang ke lingkungan sebagian akan meresap ke dalam tanah dan sebagian lagi mengalir di atas permukaan tanah menuju selokan dan berujung di Sungai Datar dan Sungai Tajur yang melintasi Desa Pancurendang.

Dampak penggunaan merkuri dalam pengolahan emas terhadap lingkungan dan kesehatan sangatlah berbahaya jika tidak dikelola dengan baik. Logam berat merkuri (Hg) yang terlepas ke lingkungan, khususnya ke sungai dapat berpengaruh buruk bagi makhluk hidup. Merkuri yang masuk ke badan perairan seringkali berbentuk Hg unsur (Hg^0) dengan tingkat densitas tinggi (Kitong *et al.*, 2012). Sedimen menjadi faktor penting yang berpengaruh dalam proses transformasi Hg, merupakan tempat penghasil metil merkuri dan faktor yang berpengaruh terhadap biomagnifikasi dalam rantai makanan (Bratkič *et al.*, 2018; Portela *et al.*, 2020; Zhu *et al.*, 2018). Merkuri dapat tenggelam dalam dasar perairan dan mengalami akumulasi pada sedimen (Kitong *et al.*, 2012). Oleh mikroorganisme, merkuri akan diubah menjadi metil-merkuri (Me-Hg) yang beracun dan mempunyai daya ikat kuat dan kelarutan tinggi dalam biota perairan (Purnawan *et al.*, 2013).

Sungai sebagai sebuah ekosistem merupakan tempat tinggal berbagai makhluk hidup. Sedimentasi dalam jumlah besar dan akumulasi Hg dari limbah pengolahan, baik dalam bentuk partikel atau senyawa logam lainnya dapat mengendap sebagai sedimen atau melayang sebagai suspensi di sepanjang aliran sungai sangat mempengaruhi fungsi ekosistem dan potensi pencemaran lingkungan perairan seperti biota perairan (plankton, benthos, nekton, ikan) dan bahkan manusia. Proses bioakumulasi dan biomagnifikasi merkuri dalam rantai makanan dapat menyebabkan penyakit minamata (Ismawati, 2017). Hasil pengukuran tahun 2019, air permukaan pada 6 titik di daerah penelitian belum masuk kategori tercemar merkuri karena nilainya tidak melebihi ambang batas baku mutu (Muryani, *et al.*, 2020), namun pada penelitian tersebut tidak dilakukan analisis merkuri pada sedimen sungai.

Melihat potensi pencemaran lingkungan dan ancaman kesehatan yang dapat terjadi, sehingga perlu dilakukan penelitian terkait persebaran logam berat merkuri (Hg) pada sungai di sekitar area penambangan dan pengolahan emas skala kecil. Akumulasi merkuri yang tinggi seringkali terjadi pada sedimen, sehingga perlu dilakukan penelitian persebaran merkuri bukan hanya pada air sungai saja, namun juga pada sedimen dasar sungai. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kadar dan sebaran logam berat merkuri (Hg) yang terdapat pada air maupun sedimen Sungai Tajur dan Sungai Datar yang melintasi Desa Pancurendang, Kecamatan Ajibarang, Kabupaten Banyumas, Provinsi Jawa Tengah setelah kurang lebih 5 tahun menerima dampak dari aktivitas pengolahan emas amalgamasi, terhitung sejak tahun 2016.

METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan data dilaksanakan pada bulan Juli 2020, saat musim kemarau. Data sebaran konsentrasi merkuri pada sungai diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan dan analisis laboratorium. Pengambilan sampel air, sedimen sungai, dan analisis merkuri dilakukan pada permukaan air hingga tengah, dan sedimen dasar sungai dengan metode *purposive sampling* dan *grab sampling* (pengukuran sesaat). Titik sampling mempertimbangkan jarak dari kegiatan penambangan dan pengolahan emas. Selain itu mempertimbangkan pula keterwakilan daerah hulu, tengah, dan hilir sungai. Pengujian kadar logam merkuri pada sampel air dan sedimen sungai diserahkan ke Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada (UGM) yang telah terakreditasi oleh KAN (Komite Akreditasi Nasional). Analisis data kuantitatif dan analisis data spasial menggunakan *software ArcMap* dilakukan di Prodi Teknik Lingkungan UPN Veteran Yogyakarta.

Alat, Bahan, dan Parameter Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian antara lain: *Global Positioning System* (GPS) untuk *plotting* lokasi pada peta; botol sampel ukuran 1500 ml untuk pengambilan sampel air sungai; pipa paralon PVC dan atau ring besi berbentuk silinder; pH meter digital untuk pengukuran pH air sungai, dan *mercury analyzer* untuk analisis kadar logam berat merkuri (Hg). Bahan yang diperlukan antara lain: Peta RBI lembar Ajibarang skala 1:25.000 sebagai peta dasar; air dan sedimen dari sungai di area penelitian; dan plastik sampel sedimen. Parameter yang dianalisis dalam penelitian yakni kadar logam berat merkuri (Hg) pada air sungai; kadar Hg pada sedimen dasar sungai; serta parameter tambahan yakni pH air sungai.

Cara Kerja

Pengambilan sampel air maupun sedimen sungai dilakukan pada 3 lokasi di daerah sungai sebelum melewati tempat pengolahan emas, 6 lokasi di daerah sungai yang berada pada wilayah pengolahan emas, dan 3 lokasi di area sungai yang sudah melewati kegiatan pengolahan emas. Total lokasi pengambilan sampel sebanyak 12 buah. Peta lokasi sampling ditunjukkan pada Gambar 1.

Sampel air sungai diambil menggunakan botol plastik ukuran 1500 ml dengan cara mencelupkan botol ke badan air dalam posisi horizontal sedalam 30-60 cm dengan mulut botol menghadap ke hilir. Botol plastik diberi label sebagai tanda lokasi dan waktu pengambilan sampel air (SNI 6989-78: 2008). Selain merkuri, diukur pula pH media langsung di lapangan menggunakan pH meter digital. Teknik pengambilan untuk sedimen dasar sungai dilakukan dengan menggunakan paralon PVC ataupun ring besi diameter 10- 15 cm, tinggi 20-30 cm yang ditekan ke dasar sungai (SNI 3414: 2008). Pengambilan sampel air maupun sedimen sungai dilakukan secara komposit pada tiga titik (tepi kanan, tengah, tepi kiri) di tiap lokasi.

Pengujian sampel air sungai dan sedimen sungai dilakukan oleh Laboratorium Riset dan Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada dengan proses destruksi dan pembacaan menggunakan alat *Mercury Analyzer*. Kadar logam berat merkuri (Hg) yang diperoleh kemudian ditabulasi, lalu dibandingkan dengan baku mutu yang ada. Baku mutu merkuri (Hg) pada air sungai kelas 2 dan kelas 3 sebesar 0,002 ppm (mg/L) mengacu pada Lampiran VI Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan dan Perlindungan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Baku mutu merkuri (Hg) pada sedimen sungai sebesar 0,2 ppm (mg/kg) mengacu pada US-EPA (1997). Analisis data dilakukan dengan cara analisis deskriptif-kuantitatif. Sebaran merkuri pada air dan sedimen di Sungai Tajur dan Sungai Datar divisualisasikan menggunakan *software ArcMap*.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian dan Pengambilan Sampel Air dan Sedimen Sungai
Sumber: Hasil analisis spasial dengan *software ArcMap* (2021)

HASIL DAN PEMBAHASAN

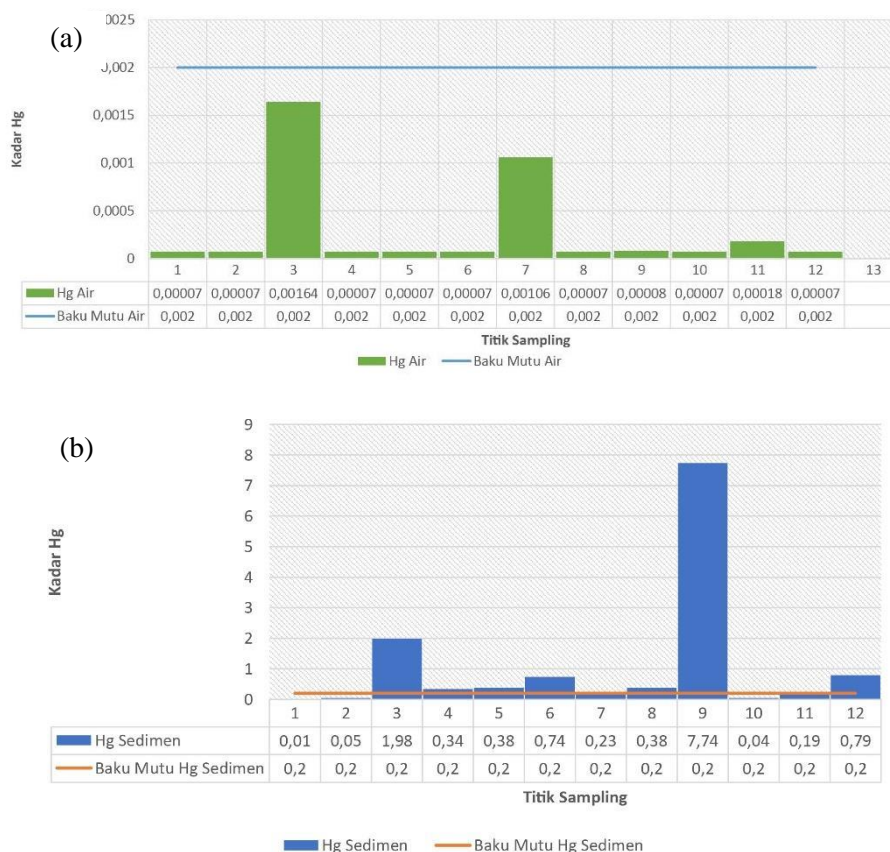
Analisis Kadar Logam Berat Merkuri (Hg)

Aktivitas pengolahan emas menggunakan merkuri yang berada di Desa Pancurendang menjadi sumber utama masuknya merkuri (Hg) ke perairan Sungai Tajur dan Sungai Datar. Hasil analisis dari konsentrasi merkuri di Sungai Tajur dan Sungai Datar pada 12 titik lokasi sampling disajikan pada Tabel.1 dan Gambar 2 berikut ini.

Tabel 1. Kadar Hg pada air dan sedimen dasar sungai di Desa Pancurendang

Nomor Lokasi Sampling	Koordinat		pH Air Sungai	Kadar Hg Air Sungai (ppm)	Baku Mutu Hg Air Sungai (ppm)	Kadar Hg Sedimen Sungai (ppm)	Baku Mutu Hg Sedimen Sungai (ppm)
	X	Y					
1	289378	9179901	6,0	<0,00007	0,002	0,01	0,2
2	289166	9179753	5,0	<0,00007	0,002	0,05	0,2
3	289016	9179685	5,0	0,00164	0,002	1,98*	0,2
4	289692	9179199	6,5	<0,00007	0,002	0,34*	0,2
5	289540	9179258	6,4	<0,00007	0,002	0,38*	0,2
6	289322	9179324	6,3	<0,00007	0,002	0,74*	0,2
7	289064	9179483	6,0	0,00106	0,002	0,23*	0,2
8	289026	9179613	7,7	<0,00007	0,002	0,38*	0,2
9	288910	9179697	7,4	0,00008	0,002	7,74*	0,2
10	288745	9179857	6,2	<0,00007	0,002	0,04	0,2
11	288774	9179747	6,4	0,00018	0,002	0,19	0,2
12	288596	9179601	6,0	<0,00007	0,002	0,79*	0,2

Sumber: Hasil analisis laboratorium, Agustus 2020; Keterangan: * melebihi baku mutu US EPA (1997)



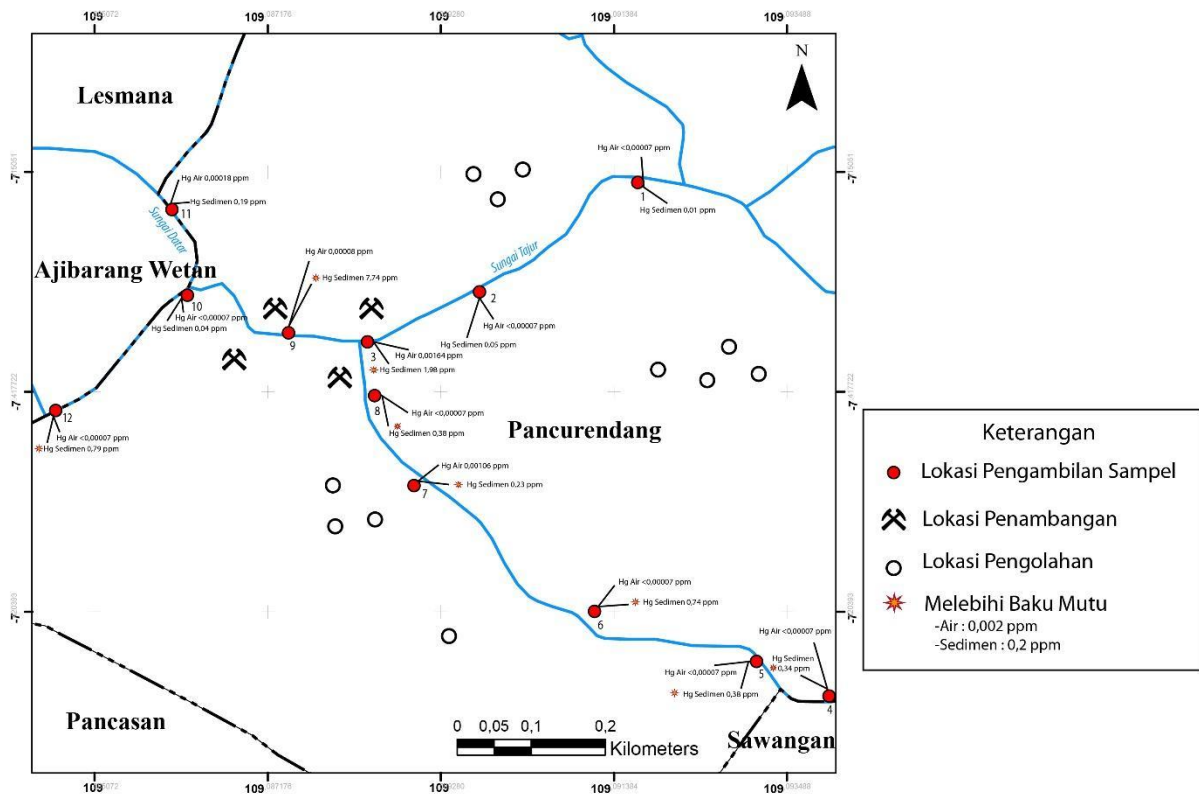
Gambar 2. Histogram kadar Hg pada air sungai (a) dan sedimen (b) di Desa Pancurendang
 Sumber: Hasil analisis dengan *software excel dan python* (2021)

Tabel 1 dan Gambar 2 memperlihatkan perbedaan kadar logam berat merkuri (Hg) pada air dan sedimen dasar Sungai Tajur dan Sungai Datar yang melintasi Desa Pancurendang. Kadar Hg pada air sungai memiliki nilai terendah sebesar $<0,00007$ ppm dan tertinggi sebesar 0,00164 ppm. Nilai tersebut masih berada di bawah baku mutu Hg air sungai kelas II dan III, yakni di bawah 0,002 ppm. Kadar merkuri $<0,00007$ ppm dapat pula menggambarkan tidak terdeteksinya merkuri di lokasi tersebut, karena nilai 0,00007 merupakan batas terendah pembacaan oleh *Mercury Analyzer*. Kadar merkuri pada sedimen sungai menunjukkan nilai terendah sebesar 0,01 ppm hingga tertinggi sebesar 7,74 ppm. Lokasi sampling 9 memiliki kadar Hg pada sedimen sebesar 7,74 ppm, paling tinggi diantara lokasi lainnya. Sedimen di lokasi 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 12 memiliki kadar Hg di atas baku mutu US-EPA (*United States-Environmental Protection Agency*) Tahun 1997 yakni sebesar 0,2 ppm. Kadar Hg pada sedimen sungai di lokasi lainnya yakni 1, 2, 10, dan 11 masih aman. Kadar merkuri terendah pada sedimen ada pada lokasi nomor 1.

Identifikasi kandungan merkuri pada sedimen lebih mudah untuk dilakukan daripada mengidentifikasi merkuri di permukaan air. Hal ini dikarenakan merkuri memiliki sifat lebih mudah dalam mengikat material organik dan mengendap di dasar perairan (Mulyadi, 2020). Penyebab logam berat merkuri tidak terdeteksi di permukaan air disebabkan mudah mengendapnya logam ketika berada dalam badan air, sehingga sedimen menjadi sumber pencemar potensial dalam skala waktu yang panjang (Murtini & Rachmawati, 2007; Yusuf *et al.*, 2017). Merkuri yang terendapkan berpotensi membentuk lokasi kontaminasi antara estuari dan daerah kegiatan pertambangan, terutama pada aliran yang tidak deras atau topografi dasar sungai yang landai (Kitong *et al.*, 2012).

Sebaran Logam Berat Merkuri (Hg) pada Air dan Sedimen Sungai

Kegiatan pengolahan emas dengan cara amalgamasi telah menimbulkan adanya kontaminasi sedimen di Sungai Tajur dan Sungai Datar. Setiabudi (2005) menyatakan bahwa teknik amalgamasi yang dilakukan dalam penambangan emas rakyat menyebabkan adanya kontaminasi merkuri di lingkungan sekitar. Logam merkuri terbuang dari campuran halus air dan lumpur dari material limbah pengolahan emas atau tailing. Berikut adalah visualisasi yang menggambarkan sebaran Hg pada 12 lokasi di sungai yang melintasi Desa Pancurendang.



Gambar 3. Peta Sebaran Kadar Logam Berat Merkuri (Hg) pada Air dan Sedimen Sungai Tajur dan Sungai Datar di Desa Pancurendang Kabupaten Banyumas
 Sumber: Hasil analisis spasial dengan *software ArcMap* (2021)

Peta sebaran merkuri (Hg) pada air dan sedimen di sekitar wilayah penambangan dan pengolahan emas di Desa Pancurendang (Gambar 3) menunjukkan bahwa semakin dekat lokasi penambangan dan lokasi pengolahan semakin besar kadar merkuri yang terkandung di dalam air dan sedimen dasar sungai. Contohnya lokasi sampling 9 yang berada pada lokasi penambangan dan cukup dekat dengan pengolahan merupakan lokasi dengan kadar Hg paling tinggi pada sedimen sungainya. Lokasi sampling 1 merupakan lokasi dengan kadar Hg di sedimen paling rendah karena cukup jauh dari lokasi penambangan maupun pengolahan, dan merupakan daerah hulu. Kadar Hg pada sedimen di lokasi 12 termasuk tinggi meskipun jauh dari tempat pengolahan karena lokasi tersebut merupakan hilir atau muara dari lokasi lokasi lainnya. Diperkirakan merkuri akan mengalami akumulasi yang lebih tinggi di daerah muara (hilir). Hg yang terbawa oleh sedimen dari hulu dapat terakumulasi di hilir dan mengancam lingkungan ekologis di daerah muara.

Merkuri (Hg) merupakan salah satu jenis logam berat yang sangat berbahaya dan merugikan bagi kesehatan dan lingkungan (Cesário *et al.*, 2018; Fitzgerald* *et al.*, 1998), bersifat bioakumulatif (Chen *et al.*, 2012; Yusuf *et al.*, 2017), dapat dilepaskan dari sumber alam dan antropogenik yang tertransportasi pada danau, waduk, muara dan lautan melalui sungai dan atmosfer (Fitzgerald* *et al.*, 1998; Mao *et al.*, 2020). Sumber alami logam berat Hg berasal dari hasil aktivitas gunung berapi, pelapukan batuan dan kebakaran hutan (Fitzgerald* *et al.*, 1998), sedangkan sumber antropogenik Hg berasal dari pembangkit

listrik tenaga batu bara (Habuer *et al.*, 2016), bahan kimia pertanian (misalnya pestisida dan fungisida), pertambangan mineral, limbah industri, insinerasi limbah medis dan pembakaran limbah perkotaan (Pirrone *et al.*, 2010; Sloss, 2012; Wolswijk *et al.*, 2020). Secara khusus, Penambangan Emas Skala Kecil (PESK) menyumbang 30% dari Hg global (sekitar 1.400 mg/tahun) yang dilepaskan ke lingkungan (Gutiérrez-Mosquera *et al.*, 2020; Meech *et al.*, 1998; Programme, 2013; Veiga *et al.*, 2014).

Faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap konsentrasi merkuri di suatu perairan adalah perbedaan jenis substrat (Ismawati, 2017). Konsentrasi merkuri yang lebih tinggi (>0,5 ppm) di lokasi 3, 6, 9, dan 12 dimungkinkan karena akumulasi sedimen lumpur yang lebih banyak daripada lokasi lainnya. Lokasi lain lebih didominasi oleh material sedimen berpasir dan berkerikil. Kondisi tersebut membuktikan bahwa jenis sedimen berlumpur memiliki tingkat akumulasi merkuri yang lebih tinggi daripada sedimen berpasir/berkerikil. Hal ini didukung oleh (Amriarni *et al.*, 2012) yang menyatakan bahwa tipe sedimen dengan komposisi lumpur yang lebih tinggi akan berpengaruh terhadap tingkat akumulasi logam berat yang semakin tinggi. Payung *et al.* (2013) menguatkan pernyataan tersebut dengan pernyataan bahwa sedimen dengan karakteristik tekstur yang lebih kasar akan memiliki konsentrasi yang lebih rendah dibandingkan dengan sedimen yang mempunyai karakteristik tekstur halus. Selain itu, sifat merkuri sebagai logam berat pada kondisi cenderung asam akan lebih mudah mengendap di dasar atau sedimen sungai (Pranoto *et al.*, 2018). Diketahui nilai pH sungai pada 12 titik sampling ada pada kisaran 5-7,7. Nilai pH kurang dari 6 tidak sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan pemerintah Indonesia, yang tertera pada lampiran VI PP 22/2021 yakni 6-9. pH cenderung asam (nilai: 5) ada pada lokasi 2 dan 3.

KESIMPULAN

Kadar logam berat merkuri (Hg) pada sedimen sungai lebih tinggi daripada kadar Hg pada air sungai. Kadar Hg pada air sungai pada 12 lokasi pengukuran sebesar <0,00007 hingga 0,00164 ppm, masih berada di bawah baku mutu. Hg pada sedimen sungai berada pada rentang 0,01-7,74 ppm. Kadar logam Hg sedimen sungai yang tersebar pada 8 lokasi melebihi baku mutu. Hal ini membuktikan bahwa sifat merkuri sebagai logam berat lebih mudah mengendap. Selain faktor jarak dari sumber pencemar, faktor lingkungan (substrat dan pH) dimungkinkan dapat menyebabkan perbedaan sebaran logam merkuri pada perairan dan sedimen sungai di Desa Pancurendang

Sebaran kadar logam berat merkuri (Hg) pada Sungai Tajur dan Sungai Datar perlu dipantau secara periodik dan pada musim yang berbeda (kemarau dan penghujan). Kadar merkuri pada biota perairan seperti ikan di Sungai Tajur dan Sungai Datar juga perlu diteliti. Faktor bentuk sungai, bidang dasar sungai, kedalaman sungai, dan kecepatan arus dapat diteliti lebih lanjut sebagai faktor yang mempengaruhi akumulasi dan sebaran merkuri pada sungai. Perlu upaya pencegahan masuknya merkuri ke lingkungan perairan sungai agar tidak terjadi kasus seperti halnya di Teluk Minamata pada waktu mendatang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami haturkan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta karena penelitian ini sebagian besar dibiayai dari perolehan hibah penelitian dasar internal dengan nomor perjanjian pelaksanaan penelitian Nomor B/105/UN.62/VII/2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Amriarni, A., Hendarto, B., & Hadiyanto, A. (2012). Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Dan Seng (Zn) Pada Kerang Darah (*Anadara Granosa L.*) dan Kerang Bakau (*Polymesoda Bengalensis L.*) Di Perairan Teluk Kendari. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 9(2), 45. <https://doi.org/10.14710/JIL.9.2.45-50>
- Bose-O'Reilly, S., Schierl, R., Nowak, D., Siebert, U., William, J. F., Owi, F. T., & Ir, Y. I. (2016). A preliminary study on health effects in villagers exposed to mercury in a small-scale artisanal gold mining area in Indonesia. *Environmental Research*, 149, 274–281. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2016.04.007>
- Bratkič, A., Tinta, T., Koron, N., Guevara, S. R., Begu, E., Barkay, T., Horvat, M., Falnoga, I., & Faganeli, J. (2018). Mercury transformations in a coastal water column (Gulf of Trieste, northern Adriatic Sea). *Marine Chemistry*, 200, 57–67. <https://doi.org/10.1016/J.MARCHEM.2018.01.001>
- Budianta, W., Fahmi, F. L., Arifudin, & Warmada, I. W. (2019). The distribution and mobility of mercury from artisanal gold mining in river sediments and water, Banyumas, Central Java, Indonesia. *Environmental Earth Sciences*, 78(3), 90. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8108-4>
- Cesário, R., Mota, A. M., Caetano, M., Nogueira, M., & Canário, J. (2018). Mercury and methylmercury transport and fate in the water column of Tagus estuary (Portugal). *Marine Pollution Bulletin*, 127, 235–250. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2017.11.066>
- Chen, C.-W., Chen, C.-F., & Dong, C.-D. (2012). Contamination and Potential Ecological Risk of Mercury in Sediments of Kaohsiung River Mouth, Taiwan. *International Journal of Environmental Science and Development*, 66–71. <https://doi.org/10.7763/IJESD.2012.V3.189>
- Fitzgerald*, W. F., Engstrom, D. R., Mason, R. P., & Nater, E. A. (1998). The Case for Atmospheric Mercury Contamination in Remote Areas. *Environmental Science and Technology*, 32(1), 1–7. <https://doi.org/10.1021/ES970284W>
- Gutiérrez-Mosquera, H., Marrugo-Negrete, J., Díez, S., Morales-Mira, G., Montoya-Jaramillo, L. J., & Jonathan, M. P. (2020). Distribution of chemical forms of mercury in sediments from abandoned ponds created during former gold mining operations in Colombia. *Chemosphere*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127319>
- Habuer, Yoshimoto, N., Takaoka, M., Fujimori, T., Oshita, K., Sakai, N., & Syed Abd Kdir, S. A. (2016). Substance flow analysis of mercury in Malaysia. *Atmospheric Pollution Research*, 7(5), 799–807. <https://doi.org/10.1016/J.APR.2016.04.005>
- Ismawati. (2017). Presentation at the National Mercury Roundtable Forum. *Jurnal Biologi Tropis*, 17(1), 32–37.
- Kitong, M. T., Abidjulu, J., & Koleangan, H. S. (2012). Analisis Merkuri (Hg) dan Arsen (As) di Sedimen Sungai Ranoyapo Kecamatan Amurang Sulawesi Utara. *Jurnal MIPA*, 1(1), 16. <https://doi.org/10.35799/jm.1.1.2012.425>
- Mao, L., Liu, X., Wang, B., Lin, C., Xin, M., Zhang, B. T., Wu, T., He, M., & Ouyang, W. (2020). Occurrence and risk assessment of total mercury and methylmercury in surface seawater and sediments from the Jiaozhou Bay, Yellow Sea. *Science of the Total Environment*, 714. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136539>
- Meech, J. A., Veiga, M. M., & Tromans, D. (1998). Reactivity of mercury from gold mining activities in darkwater ecosystems. *Ambio*, 27(2), 92–98.
- Mulyadi, I. (2020). Konsentrasi Merkuri (Hg) Pada Air Sungai Dan Sedimen Sungai Desa Tambang Sawah Akibat Penambangan Emas Tanpa Izin (PETI). *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 4(2), 96. <https://doi.org/10.32493/jitk.v4i2.6628>
- Murtini, J. T., & Rachmawati, N. (2007). Kandungan Logam Berat Pada Ikan, Air Dan Sedimen Di Waduk Saguling Jawa Barat. *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan*, 2(2), 153–159. <https://doi.org/10.15578/JPBKP.V2I2.459>
- Muryani, E., Rahmah, D. A., & Santoso, D. H. (2019). Analisis Tingkat Kerentanan Pencemaran Air Tanah Pada Wilayah Penambangan Dan Pengolahan Emas Rakyat Desa Pancurendang , Kabupaten Banyumas. *Ecotrophic*, 13(2), 159–169.

- Muryani E, Santoso DH, & Rahmah DA. (2020). Analisis Kondisi Aktual Pencemaran Logam berat merkuri Berdasarkan Peta Kerentanan Pencemaran Air Permukaan pada Penambangan Emas Rakyat Desa Pancurendang, Kecamatan Ajibarang, Banyumas. *SCIENCE TECH: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, Volume 6, No. 1, Februari 2020, hlm. 33-42.
- Payung, F. L., Ruslan, & Birawida, A. B. (2013). Studi Kandungan Dan Distribusi Spasial Logam Berat Timbal (Pb) Pada Sedimen Dan Kerang (Anadara Sp) Di Wilayah Pesisir Kota Makassar. *Kesehatan Masyarakat UNHAS*, 1–10.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan dan Perlindungan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Lampiran VI Baku Mutu Air Nasional.
- Pirrone, N., Cinnirella, S., Feng, X., Finkelman, R. B., Friedli, H. R., Leaner, J., Mason, R., Mukherjee, A. B., Stracher, G. B., Streets, D. G., & Telmer, K. (2010). Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(13), 5951–5964. <https://doi.org/10.5194/ACP-10-5951-2010>
- Portela, J. F., Sebuah, J., Souza, R. De, Sousa, M. De, & Sebuah, T. (2020). Evaluation of Total Mercury in Sediments of the Descoberto River Environmental Protection Area—Brazil. *Environmental Research and Public Health*, 17(154), 1–15.
- Pranoto, Masykur, A., Fatimah, N., & Prabawani, S. Fabrication of Sugar Palm Fiber/Andisol Soil Composites for iron(III) ion, Removal from Aqueous Solution. (2018). *Oriental Journal Of Chemistry*, Vol. 34, No.(1): Pg. 346-351.
- Programme, U. N. E. (2013). *Global Mercury Assessment 2013: Sources, emissions, releases, and environmental transport*. <https://wedocs.unep.org/xmlui/handle/20.500.11822/7984>
- Purnawan, S., Sikanna, R., & Prismawiryanti. (2013). Distribusi logam merkuri pada sedimen laut di sekitar muara Sungai Poboya. *Nature Science*, 2(1), 18–24.
- Setiabudi, T. B. (2005). *Penyebaran Merkuri Akibat Usaha Pertambangan Emas di Daerah Sangon, Kabupaten Kulon Projo*.
- Sloss, L. (2012). *Mercury emissions from India and South East Asia*.
- SNI 3414: 2008 Tentang Tata Cara Pengambilan Contoh Muatan Sedimen Melayang Di Sungai Dengan Cara Integrasi Kedalaman Berdasarkan Pembagian Debit.
- SNI 6989-78: 2008 Tentang Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan.
- US-EPA (*United States-Environmental Protection Agency*). (1997). Mercury Study Report to Congress, Office of Air Quality Planning and Standards and Office of Research and Development. Washington DC (US): Environmental Protection Agency.
- Veiga, M. M., Angeloci-Santos, G., & Meech, J. A. (2014). Review of barriers to reduce mercury use in artisanal gold mining. *The Extractive Industries and Society*, 1(2), 351–361. <https://doi.org/10.1016/J.EXIS.2014.03.004>
- Wolswijk, G., Satyanarayana, B., Dung, L. Q., Siau, Y. F., Ali, A. N. Bin, Saliu, I. S., Fisol, M. A. Bin, Gonnelli, C., & Dahdouh-Guebas, F. (2020). Distribution of mercury in sediments, plant and animal tissues in Matang Mangrove Forest Reserve, Malaysia. *Journal of Hazardous Materials*, 387(November 2019), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121665>
- Yusuf, M., Hamzah, B., & Rahman, N. (2017). Kandungan Merkuri (Hg) Dalam Air Laut, Sedimen, Dan Jaringan Ikan Belanak (Liza Melinoptera) Di Perairan Teluk Palu. *Jurnal Akademika Kimia*, 2(3), 140–145.
- Zhu, S., Zhang, Z., & Žagar, D. (2018). Mercury transport and fate models in aquatic systems: A review and synthesis. *Science of The Total Environment*, 639, 538–549. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.04.397>