

Mobilitas Merkuri pada Limbah Bekas Tambang Pengolahan Emas: Studi Kasus di Selogiri, Wonogiri, Jawa Tengah

Wawan Budianta¹, Arifudin Idrus¹, Winarto Kurniawan², dan Johan Syafri Mahathir Ahmad³

¹Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jalan Grafika 2 Kampus UGM Yogyakarta 55281; e-mail: wbudianta@ugm.ac.id

²Tokyo Institute of Technology, Japan

³Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

ABSTRAK

Di Selogiri, Wonogiri, Jawa Tengah, terdapat banyak kegiatan tambang emas tradisional yang masih menggunakan merkuri sebagai proses amalgamasi dalam pengolahan emas. Mobilitas merkuri merupakan faktor penting untuk memahami resiko pencemaran dan remediasi. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis mobilitas merkuri pada limbah tambang atau tailing yang ada di lokasi penelitian. Sepuluh sampel tailing diambil dari kolam penampungan limbah tambang, kemudian konsentrasi total merkuri diukur dengan AAS. Fraksinasi merkuri dilakukan untuk mengetahui mobilitas merkuri dan pengukuran merkuri juga dilakukan dengan AAS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi total merkuri pada kolam tailing sangat tinggi, lebih tinggi daripada konsentrasi normal di alam. Fraksinasi merkuri yang dilakukan untuk mengetahui mobilitas merkuri menunjukkan hampir semua sampel dominan pada fraksi pertama dan kedua yang mempunyai efek negatif terhadap lingkungan.

Kata kunci: Mobilitas, Merkuri, Limbah, Tambang, Emas, Tailing

ABSTRACT

Amalgamation processes using mercury were commonly found in artisanal mining in the study area in Selogiri, Wonogiri, Central Java. Mercury mobility was an important factor for understanding pollution risk and remediation. This study aimed to investigate mercury mobility in the study area. Mercury sample was obtained from ten locations of different pond tailing in the study area. The mercury concentration was analyzed by using AAS. The result of total mercury concentration showed that the concentration is very high compared to the natural condition due to the addition of mercury during the amalgamation process. The result of sequential extraction analysis showed that the first and second fraction or mobile fraction was dominantly occupied for the whole fraction, which has a negative impact on the environment, especially for the aquatic environment.

Keywords: Mobility, Mercury, Artisanal, Gold Mining, Tailing

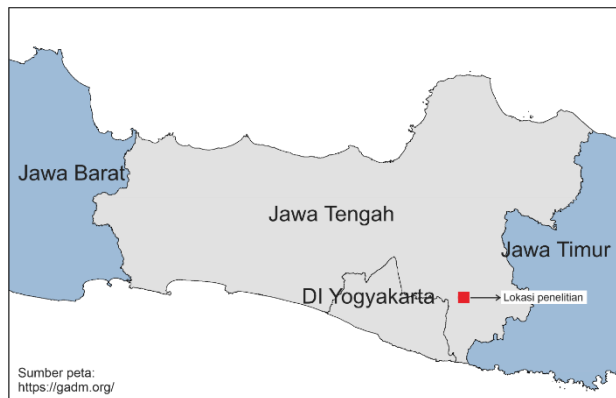
Citation: Budianta, W., Arifudin, I., Kurniawan, W., dan Ahmad J.S.M. (2024). Mobilitas Merkuri pada Limbah Bekas Tambang Pengolahan Emas: Studi Kasus di Selogiri, Wonogiri, Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 803-807, doi:10.14710/jil.22.3.803-807

1. PENDAHULUAN

Penggunaan merkuri dalam pengolahan emas pada pertambangan emas tradisional banyak dilakukan diberbagai tempat di seluruh dunia, termasuk di Indonesia [Teixeira dkk, 2021; Limbong dkk, 2003; Krisnayanti dkk, 2012]. Hal ini telah banyak memberikan dampak yang negatif bagi lingkungan termasuk manusia (Gibb dan O'Leary 2014; Bose-O'Reilly dkk, 2016). Salah satu kegiatan pertambangan emas tradisional di Indonesia terdapat di Desa Jendi, Kecamatan Selogiri, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meneliti tentang penyebaran merkuri pada daerah Selogiri (Yudiantoro dkk, 2017;

Hendrawati dkk, 2015; Nurcholis dkk, 2017), namun belum banyak penelitian mengenai bagaimana mobilitas merkuri yang digunakan pada kegiatan pertambangan emas di daerah tersebut. Kajian mobilitas logam berat, termasuk merkuri, merupakan studi mengenai partisi geokimia yang penting dilakukan untuk mengetahui mobilitas logam yang berhubungan asosiasi komponen penyusunnya (Violante dkk 2010; Caporela dan Violante, 2016); Navarro, 2008). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis mobilitas merkuri pada lokasi pertambangan emas tradisional di Desa Jendi, Kecamatan Selogiri, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah (Gambar 1). Hasil penelitian diharapkan

dapat memberikan informasi mengenai mobilitas merkuri di lokasi penelitian sehingga bisa dijadikan referensi untuk melakukan mitigasi pencemaran.



Gambar 1. Lokasi penelitian

2. BAHAN DAN METODE

Di lokasi penelitian, proses pengolahan bijih emas menggunakan proses amalgamasi dengan alat gelondong yang menghasilkan tailing, dan kemudian ditampung dalam kolam penampungan dan membentuk lumpur sedimen. Sebanyak sepuluh sampel tailing, masing-masing dengan berat 3 kg diambil dari sepuluh kolam tailing yang berbeda di lokasi penelitian, dinamakan S01 sampai dengan S10 dan diambil pada bulan September tahun 2020. Sampel tailing kemudian dimasukkan dalam plastik kedap air dan disimpan dalam kotak pendingin. Sampel yang sudah diambil kemudian dibawa ke laboratorium dan disimpan dalam lemari pendingin selama 3 hari sebelum dilakukan analisis. Sebelum dilakukan analisis, sampel tailing diayak untuk memperoleh keseragaman ukuran 2 mm sebagai bagian dari proses homogenisasi. Konsentrasi total merkuri diukur dengan menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) Shimadzu AA-7000, setelah dilakukan ekstraksi dengan menggunakan aqua regia. Selanjutnya, analisis

mobilitas merkuri dilakukan dengan melakukan ekstraksi bertahap terhadap sampel tailing seperti yang telah dideskripsikan oleh Bloom dkk, 2003. Ekstraksi bertahap dilakukan dengan langkah sebagai berikut: Fraksi ke-1 yang diekstrak dengan menggunakan air murni dan merupakan fraksi merkuri yang paling mobile, fraksi ke-2 dengan 0.01 M HCl + 0.1 M CH₃COOH sebagai merkuri oksida, fraksi ke-3 dengan 1 M KOH sebagai merkuri organik, fraksi ke-4 dengan 12 M HNO₃ sebagai elemen merkuri dan fraksi ke-5 dengan aqua regia sebagai merkuri residu. Seperti halnya konsentrasi total merkuri, konsentrasi tiap fraksi diukur dengan menggunakan AAS.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Total konsentrasi merkuri pada setiap sampel tailing dapat dilihat pada Tabel 1. Nilai konsentrasi merkuri pada semua sampel menunjukkan nilai yang sangat tinggi, berkisar antara 184 mg/kg sampai dengan 517 mg/kg dengan rata-rata sebesar 326 mg/kg. Jika dibandingkan dengan konsentrasi merkuri pada kondisi alamiah, maka konsentrasi ini sangat tinggi mengingat dalam kondisi alamiah, konsentrasi merkuri dalam batuan hanya sebesar 0.001 mg/kg (Jonasson dan Boyle, 1972).

Tingginya kandungan merkuri ini berasal dari penambahan merkuri oleh penambang sewaktu proses pengolahan atau amalgamasi. Jika dibandingkan dengan kandungan merkuri dalam tailing di lokasi penambangan emas tradisional lain, nilai konsentrasi merkuri di lokasi penelitian ini tidak jauh berbeda, yang mempunyai nilai konsentrasi diatas 100 mg/kg (Setiabudi, 2005).

Hasil analisis ekstraksi bertahap ditampilkan pada Tabel 2 dan Gambar 2. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa secara umum, fraksi ke-1 dan ke-2 mempunyai porsi yang dominan jika dibandingkan dengan fraksi lainnya, dimana fraksi ke-1 dan fraksi ke-2 mempunyai nilai di atas 100 mg/kg dan fraksi yang lain di bawah 50 mg/kg.

Tabel 1. Nilai total merkuri (Hg)

Kode sampel	Merkuri mg/kg	Kode sampel	Merkuri mg/kg
S01	270	S06	387
S02	184	S07	385
S03	215	S08	387
S04	231	S09	412
S05	280	S10	517
Rata-rata			326

Tabel 2. Hasil ekstraksi bertahap sampel merkuri (Hg)

Kode sampel	Fraksi (mg/kg)					Total
	F1	F2	F3	F4	F5	
S-01	89	178	54	21	5	267
S-02	100	89	78	10	6	189
S-03	65	154	54	23	5	219
S-04	89	145	89	43	6	234
S-05	98	190	21	23	7	288
S-06	146	245	18	45	8	391
S-07	145	245	21	47	5	390
S-08	167	217	24	34	7	384
S-09	120	290	12	45	8	410
S-010	278	234	10	67	9	512
Rata-rata	130	199	38	36	7	

Prosentasi tiap fraksi yang dianalisis dapat dilihat pada **Tabel 3**, dimana menunjukkan bahwa fraksi ke-1 yang merupakan fraksi paling mobile dan dapat diekstrak dengan air murni, memiliki porsi kedua terbesar yaitu berkisar 21.6% - 46.5% dan memiliki rata rata 30.7%. Fraksi ke-2, yang merupakan merkuri oksida dan dapat dilarutkan dengan CH₃COOH memiliki porsi yang paling besar yaitu berkisar 31.4% - 61.1% dan memiliki rata rata 48.3%. Fraksi ke-3 dimana merkuri mempunyai bentuk sebagai merkuri organik memiliki porsi ketiga terbesar yaitu berkisar 3.9% - 27.6% dan memiliki rata rata 10.9%. Fraksi ke-4 yang merupakan elemen merkuri yang larut dalam asam nitrat memiliki porsi berkisar 3.5% - 11.6% dan memiliki rata rata 8.4%. Fraksi ke-5 yang merupakan fraksi terakhir dimana merkuri dijumpai sebagai merkuri sulfida atau merkuri residu yang larut dalam aqua regia memiliki porsi berkisar 1.1% - 2.1% dan memiliki rata rata 1.6%.

Secara umum, hasil analisis ekstraksi bertahap menunjukkan bahwa fraksi 1 dan fraksi 2 mendominasi dari ke-5 fraksi setelah dilakukan proses ekstraksi. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi merkuri pada sampel yang diambil di lokasi penelitian mempunyai mobilitas yang sangat

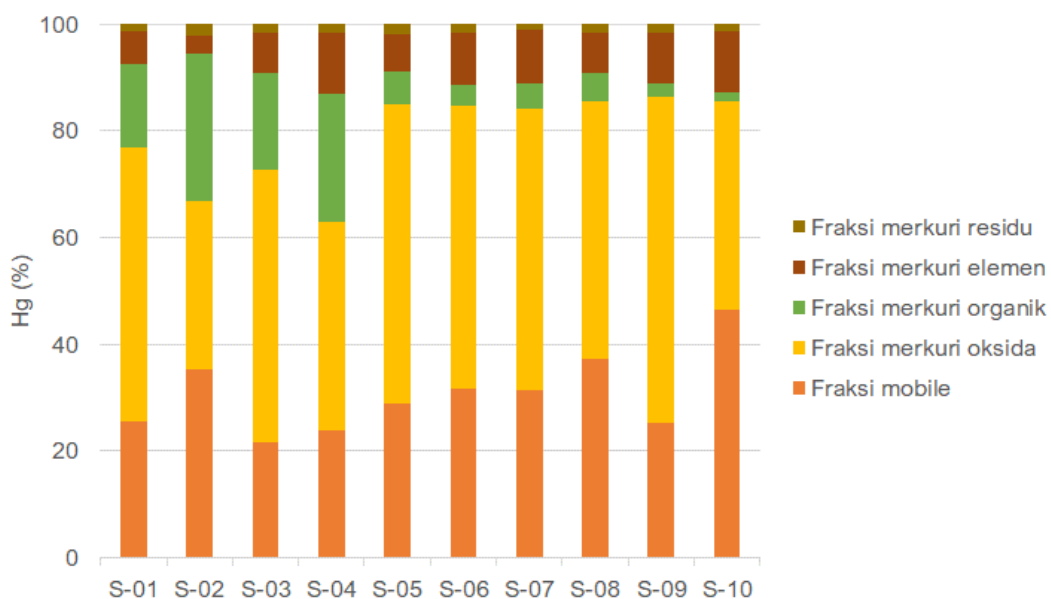
tinggi dan memberikan potensi dampak pencemaran apabila tidak dilakukan pencegahan. Prosentasi fraksi ke-1 dan ke-2 yang mempunyai porsi terbesar diduga berasal dari merkuri yang merupakan hasil selama proses amalgamasi. Keberadaan fraksi ini akan membahayakan lingkungan terutama jika terpapar ke dalam perairan dan akan dapat terakumulasi pada organisme akuatik di perairan (Hsu-Kim, dkk 2013; La Colla dkk, 2019).

Adapun fraksi ke-4 dan ke-5 adalah merupakan fraksi yang lebih stabil dan biasanya berasosiasi dengan merkuri yang ada pada batuan secara alami. Hal tersebut dapat dilihat dari hasil penelitian lain dimana fraksi tersebut banyak dijumpai pada penambangan merkuri dari mineral sinabar (Covelli dkk, 2001; Fernández-Martínez dkk, 2014).

Jika dilihat pada **Tabel 1** dan **2**, konsentrasi total merkuri dari hasil pengukuran berbeda dengan hasil penjumlahan total merkuri pada analisis ekstraksi bertahap. Hal ini disebabkan karena adanya kehilangan ataupun penambahan konsentrasi merkuri selama proses ekstraksi dan perbedaan ini biasa dijumpai menurut beberapa penelitian lainnya (Davis dkk, 1997; Fernández-Martínez, 2013).

Tabel 3. Persentase fraksi hasil ekstraksi bertahap

Kode sampel	Fraksi (%)					Total
	F1	F2	F3	F4	F5	
S-01	25.6	51.3	15.6	6.1	1.4	100
S-02	35.3	31.4	27.6	3.5	2.1	100
S-03	21.6	51.2	17.9	7.6	1.7	100
S-04	23.9	39.0	23.9	11.6	1.6	100
S-05	28.9	56.0	6.2	6.8	2.1	100
S-06	31.6	53.0	3.9	9.7	1.7	100
S-07	31.3	52.9	4.5	10.2	1.1	100
S-08	37.2	48.3	5.3	7.6	1.6	100
S-09	25.3	61.1	2.5	9.5	1.7	100
S-010	46.5	39.1	1.7	11.2	1.5	100
Rata-rata	30.7	48.3	10.9	8.4	1.6	



Gambar 2. Ilustrasi persentase hasil analisis ekstraksi bertahap

Tabel 4. Hasil perhitungan faktor mobilitas

Kode sampel	Faktor mobilitas	Kode sampel	Faktor mobilitas
S01	38.5	S06	42.3
S02	33.4	S07	42.1
S03	36.4	S08	42.8
S04	31.5	S09	43.2
S05	42.5	S10	42.8

Sebagai pendukung untuk analisis mobilitas merkuri, dilakukan perhitungan faktor mobilitas dengan tujuan untuk melihat bagaimana setiap sampel yang diperoleh apakah mempunyai variasi faktor mobilitas. Faktor mobilitas dihitung dengan menggunakan rumus berikut yang mengacu pada Janowska dkk, 2017 yaitu faktor mobilitas = $(F1+F2)/(F1+F2+F3+F4+F5) \times 100\%$ dimana F1 sampai dengan F5 mengacu pada hasil perhitungan ekstraksi bertahap.

Hasil perhitungan faktor mobilitas dapat dilihat pada **Tabel 4**. Secara umum, faktor mobilitas pada sampel S-01, S-02 dan S-03 mempunyai nilai faktor mobilitas yang lebih rendah jika dibandingkan dengan sampel yang lain. Hal ini kemungkinan dikarenakan S-01, S-02 dan S-03 diambil dari penampungan tailing yang berumur lebih tua jika dibandingkan dengan yang lain, sehingga sudah ada proses stabilisasi yang mengakibatkan mobilitas S-01, S-02 dan S-03 lebih rendah. Namun demikian, merujuk pada hasil ekstraksi bertahap pada tabel 2, tingginya konsentrasi merkuri pada fraksi 1 dan 2 mengindikasikan bahwa semua sampel tailing yang diambil di lokasi penelitian, mempunyai resiko yang besar untuk mencemari lingkungan dan perlu direkomendasikan cara untuk menurunkan mobilitas merkuri dengan melakukan metode stabilisasi, yang sudah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti (Zhao dkk, 2020; Liu dkk, 2017).

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa konsentrasi merkuri pada semua sampel tailing yang diambil dari lokasi penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi merkuri mempunyai nilai yang sangat tinggi jika dibandingkan dengan konsentrasi merkuri pada kondisi alamiah. Sedangkan hasil analisis mobilitas merkuri dengan menggunakan analisis ekstraksi bertahap menunjukkan bahwa secara umum konsentrasi merkuri pada semua sampel mempunyai porsi yang dominan pada fraksi ke-1 dan ke-2 dimana fraksi tersebut adalah fraksi yang mobile. Hal ini mempunyai implikasi bahwa merkuri pada sampel yang diambil di lokasi penelitian berpotensi mencemari lingkungan terutama di lingkungan akuatik dan mempunyai efek negatif terhadap organisme di perairan. Stabilisasi merkuri dalam tailing dengan menggunakan material alam seperti zeolit, lempung serta material alam lain yang sudah banyak dilakukan (Budianta dkk, 2020; Rachman dkk, 2023) disarankan untuk mereduksi stabilitas merkuri sehingga bisa melindungi lingkungan yang dimaksud.

DAFTAR PUSTAKA

- Budianta, W., Ardiana, A., Andriyani, N. D., & Fahmi, F. L. Impact of mercury contamination by artisanal mining on soil and the use of natural zeolite for stabilization. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 479, No. 1, p. 012020)*. IOP Publishing.
- Bloom, N. S., Preus, E., Katon, J., & Hiltner, M. (2003). Selective Extractions to Assess the Biogeochemically Relevant Fractionation of Inorganic Mercury in Sediments and Soils. *Analytica Chimica Acta*, 479(2), 233-248.
- 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.
- Caporale, A. G., & Violante, A. (2016). Chemical Processes Affecting the Mobility of Heavy Metals and Metalloids in Soil Environments. *Current Pollution Reports*, 2, 15-27.
- Covelli, S., Faganeli, J., Horvat, M., & Brambati, A. (2001). Mercury Contamination of Coastal Sediments as the Result of Long-Term Cinnabar Mining Activity (Gulf Of Trieste, Northern Adriatic Sea). *Applied Geochemistry*, 16(5), 541-558.
- Davis, A., Bloom, N. S., & Que Hee, S. S. (1997). The Environmental Geochemistry and Bioaccessibility of Mercury in Soils and Sediments: A Review. *Risk Analysis*, 17(5), 557-569.
- Fernández-Martínez, R., & Rucandio, I. (2013). Assessment of a Sequential Extraction Method to Evaluate Mercury Mobility and Geochemistry in Solid Environmental Samples. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 97, 196-203.
- Fernández-Martínez, R., Loredó, J., Ordóñez, A., & Rucandio, I. (2014). Mercury Availability by Operationally Defined Fractionation in Granulometric Distributions of Soils and Mine Wastes from an Abandoned Cinnabar Mine. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 16(5), 1069-1075.
- Gibb, H., & O'Leary, K. G. (2014). Mercury Exposure and Health Impacts Among Individuals in the Artisanal and Small-Scale Gold Mining Community: A Comprehensive Review. *Environmental Health Perspectives*, 122(7), 667-672.
- Hendrawati, A., Supriyadi, S., & Khumaedi, K. (2015). Identifikasi Limbah Merkuri dengan Metode Geolistrik: Studi Kasus Desa Jendi, Kecamatan Selogiri, Wonogiri. *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 38(1), 19-24.
- Hsu-Kim, H., Kucharzyk, K. H., Zhang, T., & Deshusses, M. A. (2013). Mechanisms Regulating Mercury Bioavailability for Methylating Microorganisms in the Aquatic Environment: A Critical Review. *Environmental Science & Technology*, 47(6), 2441-2456.
- Janowska, B., Szymański, K., Sidełko, R., Siebielska, I., & Walendzik, B. (2017). Assessment of Mobility and

- Budianta, W., Arifudin, I., Kurniawan, W., dan Ahmad J.S.M. (2024). Mobilitas Merkuri pada Limbah Bekas Tambang Pengolahan Emas: Studi Kasus di Selogiri, Wonogiri, Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 803-807, doi:10.14710/jil.22.3.803-807
- Bioavailability of Mercury Compounds in Sewage Sludge and Composts. *Environmental Research*, 156, 394-403.
- Jonasson, I. R., & Boyle, R. W. (1972). Geochemistry of Mercury and Origins of Natural Contamination of the Environment. *Can. Min. Metall. Bull.; (Canada)*, 65 (717).
- Krisnayanti, B. D., Anderson, C. W., Utomo, W. H., Feng, X., Handayanto, E., Mudarisna, N., et.al. (2012). Assessment of Environmental Mercury Discharge at a Four-Year-Old Artisanal Gold Mining Area on Lombok Island, Indonesia. *Journal of Environmental Monitoring*, 14(10), 2598-2607.
- La Colla, N. S., Botté, S. E., & Marcovecchio, J. E. (2019). Mercury Cycling And Bioaccumulation in a Changing Coastal System: From Water to Aquatic Organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 140, 40-50.
- Limbong, D., Kumampung, J., Rimper, J., Arai, T., & Miyazaki, N. (2003). Emissions and Environmental Implications of Mercury from Artisanal Gold Mining in North Sulawesi, Indonesia. *Science of The Total Environment*, 302(1-3), 227-236.
- Navarro, A. (2008). Review of Characteristics of Mercury Speciation and Mobility from Areas of Mercury Mining in Semi-Arid Environments. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 7, 287-306.
- Nurcholis, M., Yudiantoro, D. F., Haryanto, D., & Mirzam, A. (2017). Heavy Metals Distribution in the Artisanal Gold Mining Area in Wonogiri. *Indonesian Journal of Geography*, 49(2), 133-144.
- Rachman, R. M., Mangidi, U., & Trihadiningrum, Y. (2023). Solidification and stabilization of mercury-contaminated tailings in artisanal and small-scale gold mining using tras soil. *Journal of Degraded & Mining Lands Management*, 10(4).
- Setiabudi, B. T. (2005). *Penyebaran Merkuri Akibat Usaha Pertambangan Emas di Daerah Sangon, Kabupaten Kulon Progo, D. I. Yogyakarta*. Kolokium Hasil Lapangan-DIM.
- Teixeira, R. A., Da Silveira Pereira, W. V., De Souza, E. S., Ramos, S. J., Dias, Y. N., De Lima, M. W., (2021). Artisanal Gold Mining in the Eastern Amazon: Environmental and Human Health Risks of Mercury from Different Mining Methods. *Chemosphere*, 284, 131220.
- Violante, A. U. D. N., Cozzolino, V. U. D. N., Perelomov, L. P. S. U., Caporale, A. G., & Pigna, M. U. D. N. (2010). Mobility and Bioavailability of Heavy Metals and Metalloids in Soil Environments. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10(3), 268-292.
- Yudiantoro, D. F., Nurcholis, M., Sayudi, D. S., Abdurrachman, M., Haty, I. P., Pambudi, W., et.al. (2017). Mercury Distribution in Processing of Jatiroto Gold Mine Wonogiri Central Java Indonesia. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 71 (1), 012023. IOP Publishing.
- Zhao, B., O'Connor, D., Shen, Z., Tsang, D. C., Rinklebe, J., & Hou, D. (2020). Sulfur-Modified Biochar as a Soil Amendment to Stabilize Mercury Pollution: An Accelerated Simulation of Long-Term Aging Effects. *Environmental Pollution*, 264, 114687.