



PENCEMARAN LOGAM BERAT PADA AIR SUNGAI ANDONG OLEH PENAMBANGAN EMAS TRADISIONAL DI JATIROTO, JAWA TENGAH

HEAVY METALS CONTAMINATION ON THE ANDONG RIVER BY ARTISANAL GOLD MINING IN JATIROTO, CENTRAL JAVA

L. Haritsah¹, W. Budianta²

^{1,2}Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

^{1,2}Jl. Grafika 2 Kampus UGM, Yogyakarta 5521. Tel. 0274-513668

e-mail: *¹luthfi.haritsah.2019@gmail.com, ²wbudianta@ugm.ac.id

ABSTRAK

Pencemaran logam berat pada lingkungan perairan terutama sungai yang diakibatkan kegiatan pertambangan sudah banyak dijumpai. Penelitian ini berlokasi di Jatiroto, Wonogiri, Jawa Tengah dan bertujuan untuk menginvestigasi pencemaran logam berat pada Sungai Andong yang diakibatkan oleh adanya kegiatan pertambangan emas tradisional. Sampel air sungai diperoleh sebanyak sebelas sampel yang diambil secara sistematis dari hulu ke hilir Sungai Andong. Satu sampel batuan urat kuarsa juga diambil untuk diukur konsentrasi logam berat. Pengukuran logam berat pada semua sampel dilakukan dengan ICP AES. Hasil pengukuran logam berat pada sampel air sungai kemudian diplot ke dalam grafik untuk melihat pola konsentrasi dari hulu ke hilir. Analisis statistik korelasi juga dilakukan untuk melihat hubungan antar unsur logam berat yang diteliti. Hasil analisis logam berat pada urat kuarsa menunjukkan bahwa telah terjadi akumulasi logam berat pada zona mineralisasi akibat kehadiran mineral pirit, spalerit dan galena. Hasil dari analisis grafik menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat dalam air sungai bervariasi antara daerah hulu dengan hilir sungai dimana secara umum daerah hulu memiliki kandungan logam berat yang lebih besar daripada daerah hilir. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa adanya korelasi untuk As-Pb, Cu-Hg, Cu-Zn serta Hg-Zn, sedangkan unsur-unsur yang memiliki hubungan kuat adalah As-Hg, dimana menunjukkan sumber yang identik, saling ketergantungan, dan perilaku yang serupa selama proses transportasi. Distribusi logam berat dalam air sungai dari hulu ke hilir di lokasi penelitian dipengaruhi oleh faktor alamiah (geogenik) dan kegiatan manusia (antropogenik).

Kata kunci: pencemaran, air sungai, logam berat, tambang emas tradisional

ABSTRACT

Heavy metal contamination in the aquatic environment, especially in the river caused by mining activity, was commonly found worldwide. The research location is located in Jatiroto, Wonogiri, Central Java. It aims to investigate heavy metal contamination in the Andong River in the study area caused by artisanal gold mining activity. Eleven water samples were obtained systematically in the Andong river from upstream to downstream. One sample of quartz vein was also obtained from the study area to measure its heavy metal concentration. ICP AES measured heavy metal concentration in the samples. The result of heavy metal concentration in the river water sample was then plotted into the graph to investigate the concentration heavy metal pattern from the upstream to downstream. Correlation statistical analysis was also conducted to analyze the correlation between each heavy metal parameter investigated in this study. The result of heavy metal concentration in the quartz vein shows heavy metal accumulation in the mineralization zone due to pyrite, sphalerite, and galena mineral. The result of the plotted heavy metal data of the river water sample in the graph shows that, generally, the concentration decreased from upstream to downstream, which is the higher concentration of heavy metal found upstream due to mining activity. The correlation analysis result showed a very strong correlation between As-Pb, Cu-Hg, Cu-Zn, and Hg-Zn, and a strong correlation between As-Hg. This correlation is interpreted that the correlated heavy metals are identical with similar sources, and also the similar behavior during the transportation process in the river. The study concluded that natural factors and anthropogenic factors, such as mining activity influenced the heavy metals distribution in the river in the study area.

Keywords : contamination, river water, heavy metals, artisanal mining

PENDAHULUAN

Aktivitas tambang emas tradisional atau sering disebut sebagai *artisanal mining*, banyak dijumpai di negara-negara berkembang, termasuk Indonesia [1]. Aktivitas pertambangan emas tradisional tersebut umumnya berlokasi di dekat daerah aliran sungai (DAS) karena kegiatan pengolahan emas memerlukan air [2]. Selain itu, pembuangan limbah hasil pemrosesan emas ini juga dibuang ke daerah aliran sungai sehingga sungai terkontaminasi oleh limbah hasil pemrosesan emas yang mengandung unsur-unsur kimia toksik, termasuk unsur-unsur logam berat. Pencemaran air permukaan menjadi perhatian karena memiliki visibilitas tinggi dan air permukaan digunakan secara luas untuk menunjang kehidupan makhluk hidup [3, 4, 5].

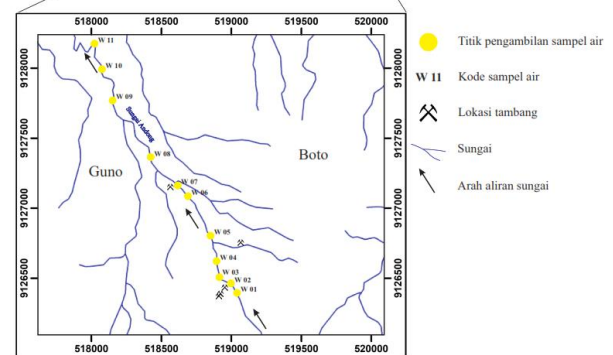
Penambangan dan pengolahan emas secara tradisional di daerah Gunung Mas, Jatiroto, Wonogiri, Jawa Tengah sudah berlangsung sejak lebih dari 50 tahun yang lalu [5]. Penambangan ini merupakan pekerjaan sampingan yang dilakukan oleh warga pada waktu-waktu tertentu, umumnya dilakukan pada musim kemarau. Hasil penelitian terdahulu menunjukkan keterdapatannya pencemaran lingkungan [6], serta tanaman [7, 8, 9] oleh logam berat di sekitar daerah penelitian. Daerah penelitian berada pada perbukitan yang dekat dengan aliran Sungai Andong serta pemukiman warga.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kandungan dan penyebaran logam berat dalam air Sungai Andong pada daerah aliran sungai dan menganalisis faktor-faktor yang menyebabkannya. Penelitian mengenai pencemaran logam berat di sungai akibat pertambangan emas tradisional, khususnya di Sungai Andong di Jatiroto, Kabupaten Wonogiri belum pernah dilakukan.

METODE PENELITIAN

Secara umum, kondisi morfologi daerah penelitian yaitu berupa perbukitan dengan ketinggian 275-788 meter di atas permukaan laut (mdpl). Lokasi penambangan emas berada di daerah perbukitan dan terdapat di sekitar daerah aliran Sungai Andong serta pemukiman. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Sebanyak 20 sampel air sungai diambil di sepanjang daerah aliran sungai dekat lokasi tambang dari hulu hingga hilir pada suatu daerah aliran sungai di daerah penelitian (Gambar 1). Prosedur pengambilan, pengawetan, dan penyimpanan sampel air sungai mengacu pada SNI 6989.57 Tahun 2008 tentang prosedur pengambilan sampel air dan air limbah. Pengambilan sampel air sungai dilakukan menggunakan botol sampel berbahan *Poli Tetra Fluoro Etilen* (PTFE).



Gambar 1. Lokasi penelitian dan pengambilan sampel [10]

Sebanyak ± 100 ml air sungai diambil dan dimasukkan ke dalam botol plastik kemudian disaring dengan filter $0,45 \mu\text{m}$ dengan tujuan untuk menyaring koloid ataupun mikroorganisme dalam air karena pengujian laboratorium dilakukan untuk menentukan unsur logam terlarut dalam sampel air. Pengambilan sampel air sungai dilakukan dengan menghindari bagian sungai yang menggenang (tidak mengalir). Kemudian sampel air yang diambil diawetkan dengan cara pemberian larutan asam nitrat (HNO_3) 1% sampai pH air berubah menjadi asam (< 2). Penambahan asam nitrat ini dilakukan untuk mencegah presipitasi logam pada sampel.

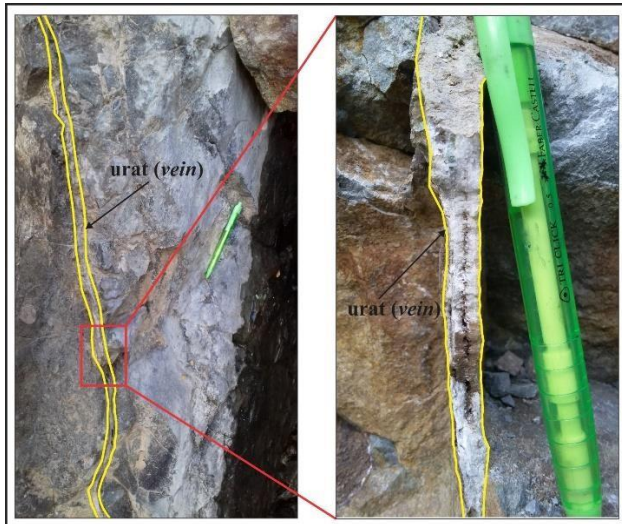
Selain air sungai, pengambilan sampel sebanyak satu sampel juga dilakukan pada urat (vein) yang memotong lava andesit. Data logam berat yang diambil dari urat akan digunakan untuk mengetahui kandungan logam berat dalam batuan teralterasi dan pembawa mineralisasi yang berada di daerah penelitian.

Analisis logam berat pada sampel batuan dan air diukur dengan menggunakan ICP-AES (*Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geologi dan Mineralisasi Daerah Penelitian

Geologi daerah penelitian secara umum tersusun oleh lava andesit di mana di beberapa lokasi dijumpai pula urat kuarsa yang hadir pada lava andesit ini serta kenampakan mineral pirit dan kalkopirit. Selain itu, dijumpai pula mineral magnetit yang berlapis dengan urat kuarsa. Mineral-mineral hasil mineralisasi tersebut hadir bersamaan dengan urat kuarsa yang memotong lava andesit (Gambar 2).



Gambar 2. Urat kuarsa yang mengisi kekar pada lava andesit [10]

Lava andesit ini merupakan bagian dari Formasi Nglangran diperkirakan berumur Miosen Awal menurut peneliti terdahulu [11]. Pada saat penelitian dilakukan, kegiatan pertambangan emas, baik proses penambangan emas tradisional maupun proses pengolahan bijih emas sudah tidak aktif lagi dilakukan oleh warga sekitar. Akan tetapi, masih dijumpai lubang gali horizontal bekas aktivitas penambangan emas di mana lubang gali seperti terowongan tersebut memiliki lebar sekitar 1,5 meter (Gambar 3).



Gambar 3. Terowongan tambang yang memotong lava andesit pada (a) di lokasi W1; (b) lokasi W9 [10]

Terowongan tambang tersebut berada pada ketinggian sekitar 400 mdpl hingga 600 mdpl, yaitu pada lereng gunung yang merupakan daerah hutan dan umumnya berlokasi di dekat daerah aliran sungai. Terowongan tambang emas tradisional yang telah tidak aktif tersebut dijumpai memotong batuan lava andesit yang telah teralterasi, baik yang masih teralterasi lemah hingga sudah teralterasi kuat. Hasil analisis konsentrasi logam berat pada sampel satu sampel urat batuan di lokasi penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 2 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis konsentrasi logam berat dalam sampel urat batuan [10]

Logam	mg/kg
As	89,5
Cd	10,5
Cu	45,3
Hg	0,1
Pb	18,9
Zn	67,5

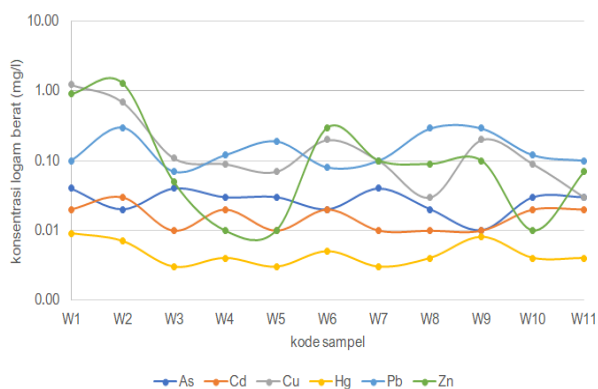
Hasil pengukuran seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa terdapat kehadiran logam berat pada sampel urat batuan, dimana secara teori kehadiran logam tersebut berasosiasi dengan mineral yang umum terdapat pada pertambangan dan menjadi sumber alami logam berat yaitu pirit (FeS_2), galena (PbS), kalkopirit ($CuFeS_2$), sfalerit (ZnS), dan arsenopirit ($FeAsS$).

Tabel 2. Konsentrasi logam berat pada sampel air sungai di lokasi penelitian [10]

Kode Sampel	Konsentrasi Logam Berat dalam Air Sungai (ppm)					
	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn
W1	0,02	0,03	0,70	0,007	0,30	1,30
W2	0,04	0,01	0,11	0,003	0,07	0,05
W3	0,03	0,02	0,09	0,004	0,12	0,01
W4	0,03	0,01	0,07	0,003	0,19	0,01
W5	0,02	0,02	0,20	0,005	0,08	0,30
W6	0,04	0,01	0,10	0,003	0,10	0,10
W7	0,02	0,01	0,03	0,004	0,29	0,09
W8	0,03	0,02	0,09	0,004	0,12	0,01
W9	0,01	0,01	0,20	0,008	0,29	0,10
W10	0,03	0,02	0,09	0,004	0,12	0,01
W11	0,03	0,02	0,03	0,004	0,10	0,07
Rata-rata	0,026	0,015	0,025	0,005	0,15	0,25

Konsentrasi Logam Berat Pada Sampel Air Sungai

Hasil konsentrasi logam berat pada sampel air sungai yang diambil dari hulu ke hilir, seperti ditunjukkan pada Gambar 1, dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil pengukuran tersebut kemudian di plot ke dalam grafik yang menunjukkan variasi konsentrasi logam berat pada sampel air sungai yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pola konsentrasi logam berat pada sampel dari hulu ke hilir [10]

Gambar 4 menunjukkan bahwa secara umum konsentrasi logam berat tertinggi terdapat pada sampel air W 01 dan W 02 dan menurun menuju ke arah hilir. Hal ini diduga karena pada lokasi di hulu, terdapat lokasi penambangan emas yang berupa terowongan horizontal pada batuan lava andesit. Urat kuarsa yang tersingkap di sekitar lokasi tersebut dimungkinkan dapat membawa logam berat sebagai unsur jejak dalam mineral bijih maupun mineral lain yang berasosiasi dengan mineralisasi emas.

Urat tersebut tersingkap memotong batuan dasar sungai sehingga ketika aliran sungai mengerosi urat tersebut, logam berat dapat terdifusi dalam air sungai. Proses penambangan emas tradisional yang membuat batuan dasar tersingkap juga dapat menjadi sumber logam berat dalam air sungai. Aliran permukaan yang mengerosi batuan dasar serta urat yang terdapat pada batuan dasar tersebut kemudian masuk ke dalam lembah sungai di dekatnya.

Topografi di sekitar tambang emas yang relatif curam dapat menjadi faktor yang meningkatkan laju erosi dan laju air permukaan. Namun demikian, ada beberapa anomali untuk pola penyebaran beberapa logam berat dari hulu ke hilir, seperti pada unsur Hg, Pb dan Zn, dimana pada daerah hilir ada kenaikan konsentrasi di dalam sampel yang diambil. Hal ini diduga karena dipengaruhi oleh aliran permukaan yang telah melalui daerah penambangan dan pengolahan emas (yang sudah tidak aktif) di dekatnya, lalu Hg terlarut bersama dengan air permukaan tersebut menuju sungai terdekat.

Secara umum, penurunan konsentrasi logam berat dari hulu ke hilir disebabkan karena proses pengenceran air

sungai Selain itu, kandungan logam dalam air sungai juga dapat berkurang akibat proses penghilangan fisik seperti sorpsi dan presipitasi logam ke permukaan sedimen atau mineral lempung, maupun oleh penyerapan biologis oleh tumbuhan [12].

Analisis Statistik

Rangkuman data hasil penelitian dan hasil pengolahan statistik dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai modus dan median As, Hg, dan Pb menunjukkan nilai yang sama dimana mengindikasikan keterdapatn variabilitas yang tinggi pada unsur tersebut. Simpangan baku semua unsur logam berat dalam air sungai menunjukkan nilai yang relatif kecil. Hal tersebut menunjukkan bahwa sampel-sampel pada unsur-unsur tersebut telah mewakili populasi air sungai di daerah penelitian. Nilai *skewness* dan *kurtosis* yang relatif besar pada semua unsur yang mengindikasikan bahwa kemungkinan data tidak terdistribusi secara normal. Kemudian, nilai kandungan rata-rata yang diperoleh dibandingkan dengan standar baku mutu untuk menilai kelayakan air sungai sebagai sumber air baku menurut peraturan yang berlaku, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 3. Hasil analisis statistik data penelitian [10]

Komponen	Logam (ppm)					
	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn
Maksimum	0,04	0,03	1,24	0,009	0,30	1,30
Minimum	0,01	0,01	0,03	0,003	0,07	0,01
Rata-rata	0,0265	0,0157	0,02522	0,00496	0,1552	0,2487
Median	0,03	0,02	0,11	0,004	0,12	0,08
Modus	0,03	0,01	0,09	0,004	0,12	0,01
Standar deviasi	0,00885	0,00590	0,30145	0,001770	0,07519	0,37129
Skewness	0,933	0,454	-0,508	0,925	1,897	2,295
Kurtosis	-0,206	-0,616	5,087	-0,159	-0,402	2,718

Tabel 4. Nilai konsentrasi logam berat dalam air sungai dengan standar baku mutu [10]

	Kelas	Parameter dalam mg/L (ppm)					
		As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn
Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001	I	0,05	0,01	0,02	0,001	0,03	0,05
	II	1	0,01	0,02	0,002	0,03	0,05
	III	1	0,01	0,02	0,002	0,03	0,05
	IV	1	0,01	0,2	0,005	1	2
Permenkes Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017	-	0,05	0,005	-	0,001	0,05	15
Rata-rata	-	0,026	0,016	0,025	0,0049	0,155	0,248

Hasil pembandingan dengan standar baku mutu menunjukkan hampir semua unsur melebihi standar baku

mutu peruntukan kelas I, II, dan III. Unsur yang tidak melebihi semua baku mutu yaitu hanya As. Kandungan rata-rata unsur logam berat dalam air sungai kemudian juga dibandingkan dengan konsentrasi logam dalam air tawar dan air sungai menurut penelitian lain (Tabel 5). Tabel 5 menunjukkan bahwa secara umum konsentrasi As pada penelitian ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian lain.

Tabel 5. Perbandingan konsentrasi logam beberapa logam dalam air tawar dan sungai [10]

Deskripsi	unsur (dalam mg/kg)					
	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn
Konsentrasi terlarut dalam air tawar [12]	0,05*	0,002	0,01	0-0,002*	0,02	0,02
Konsentrasi tingkat alami dalam air tawar [13]	0,002	0,00007	0,0018	0,00001	0,0002	0,01
Konsentrasi dalam sungai [14]	0,002	0,00001	0,007	0,00007	0,001	0,02
Rata-rata hasil penelitian	0,026	0,016	0,025	0,0049	0,155	0,248

Uji korelasi dilakukan untuk melihat hubungan antar unsur logam berat yang diteliti di lokasi penelitian. Uji korelasi dilakukan dengan uji korelasi non-parameterik Spearman yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan konsentrasi logam beberapa logam dalam air tawar dan sungai [10]

Unsur	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn
As	1	0,23	-0,208	-0,468*	-0,607**	-0,226
Cd		1	0,005	0,167	0,037	0,037
Cu			1	0,773**	0,092	0,737**
Hg				1	0,325	0,674**
Pb					1	0,050
Zn						1

*korelasi signifikan pada $p < 0,01$ (2-tailed)

**korelasi signifikan pada $p < 0,05$ (2-tailed)

Tabel 6 menunjukkan bahwa logam yang memiliki hubungan sangat kuat adalah As-Pb, Cu-Hg, Cu-Zn, serta Hg-Zn, sedangkan unsur-unsur yang memiliki hubungan kuat adalah As-Hg. Kuatnya korelasi antar logam berat dapat mengindikasikan bahwa logam berat tersebut diduga berasal dari sumber yang sama, adanya saling ketergantungan dan perilaku yang serupa selama proses transportasi. Meskipun korelasi signifikan di antara logam berat tidak selalu mengindikasikan kesamaan sumber di antara kedua logam, tetapi beberapa informasi mengenai sumber dan *pathway* (jalur

transportasi) logam berat dapat disimpulkan dari uji korelasi [13].

Logam berat yang terkorelasi berhubungan dengan komposisi mineral penyusun batuan daerah penelitian, yaitu mineral kalkopirit, magnetit, sfalerit, pirit. Mineral-mineral tersebut mengandung unsur Cu, As, Hg, Pb, dan Zn sebagai konstituen mayor, minor, maupun jejak. Akan tetapi, terdapat pula korelasi yang bertanda negatif antara As-Hg dan As-Pb. Hal ini dapat dijadikan indikasi bahwa adanya perbedaan sumber pencemar logam berat ataupun faktor yang mempengaruhi keberadaan logam berat tersebut dalam air sungai di daerah penelitian berbeda [10].

KESIMPULAN

Konsentrasi logam berat dalam air sungai di daerah penelitian dari hulu ke hilir bervariasi dimana daerah hulu memiliki konsentrasi logam berat yang lebih besar jika dibandingkan dengan daerah hilir. Konsentrasi dan penyebaran logam berat dalam air sungai dipengaruhi oleh faktor alamiah (geogenik) dan kegiatan manusia (antropogenik). Penyebaran dan sumber utama Cu dan Zn lebih dipengaruhi oleh faktor geogenik, sedangkan As, dan Pb dipengaruhi oleh aktivitas tambang. Penyebaran dan sumber utama Hg dipengaruhi oleh aktivitas tambang dan pengolahan emas tradisional di tahun-tahun sebelumnya. Penyebaran dan sumber Cd sama kuat dipengaruhi oleh kegiatan manusia dan dari faktor geogenik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia atas dukungan dana penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Aspinall, C. (2001), *Small-scale Mining in Indonesia, International Institute for Environment and Development, Mining Minerals and Sustainable Development Report*, Jakarta.

[2] Gabrielyan, A.V., Shahnazaryan, G.A., dan Minasyan, S.H. (2018), ‘Distribution and Identification of Sources of Heavy Metals in the Voghji River Basin Impacted by Mining Activities (Armenia)’, *Journal of Chemistry, vol. 2018*, Article ID 7172426, 9 p.

[3] Hemond, H.F. dan Fechner-Levy, E.J. (1999), *Chemical Fate and Transport in the Environment*, 2nd edn, Academic Press, London.

[4] Liu, Y., Wang, P., Gojenko, B., Yu, J., Wei, L., Luo, D., & Xiao, T. (2021). A review of water pollution arising from agriculture and mining activities in Central Asia: Facts,



- causes and effects. *Environmental Pollution*, 291, 118209.
- [5] Darko, H. F., Karikari, A. Y., Duah, A. A., Akurugu, B. A., Mante, V., & Teye, F. O. (2023). Effect of small-scale illegal mining on surface water and sediment quality in Ghana. *International Journal of River Basin Management*, 21(3), 375-386.
- [6] Nurcholis, M., Yudiantoro, D.F., dan Haryanto, D. (2016), Studi Lingkungan Tambang Emas Rakyat di Gunung Mas Kabupaten Wonogiri, *Prosiding Seminar Nasional Tahun Ke-2 Call For Papers dan Pameran Hasil Penelitian dan Pengabdian Kemenristekdikti RI*, Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
- [7] Nurcholis, M., Yudiantoro, D.F., Haryanto, D., dan Mirzam, A. (2017), 'Heavy Metals Distribution in the Artisanal Gold Mining Area in Wonogiri', *Indonesian Journal of Geography*, Vol. 49, No. 2, pp.133-144.
- [8] Yudiantoro, D.F., Nurcholis, M., Sayudi, D.S., Abdurrachman, M., Haty, I.P., Pambudi, W., Suproborini, A. (2017), 'Mercury Distribution in the Processing of Jatiroto Gold Mine Wonogiri Central Java Indonesia', *Proceeding of 2nd International Conference of Transdisciplinary Research on Environmental Problems in Southeast Asia (TREPSEA)*, Vol. 71, pp. 1-7.
- [9] Suproborini, A., Sunarto, Wiryanto, Yudiantoro, D.F., Nurcholis, M., Sayudi, D.S., dan Abdurrachman, M. (2017), 'Keanekaragaman Tanaman Buah dan Kandungan Merkuri Kawasan Penambangan Emas Rakyat Dusun Mesu, Desa Boto, Jatiroto, Wonogiri, Jawa Tengah', *EnviroScientiae*, Vol. 13, pp. 24-32
- [10] Haritsah, L, (2019), *Kajian Kandungan Logam Berat Dalam Air Sungai Pada Lokasi Penambangan Emas Tradisional Dan Skala Kecil Di Desa Boto Dan Sekitarnya, Kecamatan Jatiroto, Kabupaten Wonogiri, Provinsi Jawa Tengah*, Skripsi, Deprtemen Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada (tidak dipublikasikan).
- [11] Sampurno and Samodra, H.1997, *Peta Geologi Lembar Ponorogo*, Jawa Skala 1:100.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- [12] Appleton, J. D., Williams, T. M., Orbea, H., & Carrasco, M. (2001). Fluvial contamination associated with artisanal gold mining in the Ponce Enriquez, Portovelo-Zaruma and Nambija areas, Ecuador. *Water, Air, and Soil Pollution*, 131, 19-39.
- [13] Zhang, Z., Lu, Y., Li, H., Tu, Y., Liu B., dan Yang, Z. (2018), 'Assessment of heavy metal contamination, distribution and source identification in the sediments from the Zijiang River, China', *Science of the Total Environment* 645 (2018), Elsevier B.V., pp. 235-243.