



Stabilisasi Merkuri Pada Limbah Tambang Dengan Menggunakan Zeolit Alam

Wawan Budianta^{1*}, Arifudin Idrus², Winarto Kurniawan³,
Widyawanto Prastistho⁴

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

³Tokyo Institute of Technology, Japan

⁴Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran", Yogyakarta, Indonesia

*wbudianta@ugm.ac.id

Abstract

Mercury contamination caused by artisanal gold mining waste would become an environmental problem if there were no remediation actions. This study aimed to investigate the ability of natural zeolite obtained from Gunungkidul Yogyakarta to stabilize mercury in mining waste or tailing. Tailing samples were obtained from three locations on Kulon Progo, Wonogiri, and Banyumas, and the natural zeolite sample was obtained from Gunungkidul, Yogyakarta. The batch experimental study was conducted to test the ability of the effectiveness of natural zeolite in stabilizing mercury in tailing. The result of the study shows that the natural zeolite used in the experimental study can be used to reduce the mercury concentration in tailing. The natural zeolite's ability for stabilization varies and depends on the initial mercury concentration in tailing and the natural zeolite dose. Keywords: stabilization, mercury, tailing, zeolite

Abstrak

Pencemaran merkuri yang disebabkan oleh limbah tambang emas tradisional menjadi salah satu masalah lingkungan yang berdampak serius jika tidak dilakukan penanganan. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi kemampuan zeolit alam yang diperoleh dari Gunungkidul Yogyakarta untuk menstabilisasi merkuri yang terdapat pada limbah tambang emas tradisional atau tailing. Sampel tailing diambil dari tiga lokasi di Kulon Progo, Wonogiri dan Banyumas, sedangkan sampel zeolit alam diambil dari Gunungkidul, Yogyakarta. Percobaan batch dilakukan pada skala laboratorium untuk menguji efektifitas zeolit alam dalam menstabilisasi merkuri dalam tailing. Hasil penelitian menunjukkan bahwa zeolit alam yang digunakan dapat menurunkan konsentrasi merkuri dalam tailing. Kemampuan stabilisasi yang dimiliki oleh zeolit bervariasi tergantung pada konsentrasi awal merkuri pada tailing dan dosis zeolit alam yang ditambahkan.

Kata Kunci: stabilisasi, merkuri, tailing, zeolit

1. PENDAHULUAN

Limbah tambang dari hasil pengolahan emas pada pertambangan emas yang dikenal dengan metode almagamasi, banyak menimbulkan masalah pencemaran lingkungan karena penggunaan merkuri pada proses tersebut (Loria dkk, 2022; Esdaile dkk, 2018; Arifin dkk, 2020). Di Indonesia, salah satu lokasi pertambangan emas tradisional terletak di Kulon Progo, Wonogiri dan Banyumas (Rachman dkk 2021; Yudiantoro dkk 2017; Budianta 2021). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan zeolit alam untuk menstabilisasi merkuri pada limbah tambang atau yang dikenal dengan mana tailing. Hasil penelitian diharapkan akan

dapat memberikan informasi dan kontribusi pemanfaatan zeolit alam untuk mengurangi permasalahan lingkungan, khususnya dalam menstabilisasi merkuri yang dihasilkan pada proses almagamasi pada kegiatan pengolahan emas di pertambangan tradisional.

2. METODE PENELITIAN

Sampel limbah tambang atau tailing, diambil dari tiga lokasi penampungan atau kolam tailing di Kulon Progo, Wonogiri dan Banyumas. Sebanyak kurang lebih 2 kilogram sampel tailing diambil pada masing masing lokasi, kemudian ditempatkan dalam kontainer yang tertutup untuk dilakukan analisis konsentrasi merkuri pada sampel. Sampel

zeolit alam diambil dari Gunungkidul, Yogyakarta. Sebanyak kurang lebih 1 kilogram diperoleh dari lokasi dan akan digunakan sebagai material uji laboratorium. Karakterisasi mineralogi zeolit alam dilakukan dengan menggunakan *X-ray diffraction* (XRD) analisis. Zeolit alam yang diambil kemudian dihaluskan, diayak untuk mendapatkan ukuran butir 2 milimeter, kemudian dicuci dengan air murni dan dilakukan pengeringan dalam oven dengan temperatur 103 derajat celsius selama 12 jam. Sebanyak tiga sampel tailing seberat 100 gram yang diperoleh dari masing-masing lokasi yang dijelaskan sebelumnya, kemudian dicampur dengan zeolit alam yang sudah dihaluskan dan dikeringkan ke dalam wadah kontainer plastik sebanyak 20%, 30% dan 40% dari persen berat sampel.

Kemudian, 200 mililiter air murni ditambahkan dalam kontainer, dilakukan proses pencampuran dan dibiarkan selama satu bulan. Setelah satu bulan, 10 gram sampel dari masing-masing kontainer diambil dan dicampurkan ke dalam 20 mililiter air murni, kemudian diaduk selama 20 menit. Kemudian, sampel diambil dari kontainer dan disaring dengan menggunakan filter 0.45 um, dan filtrate yang dihasilkan diukur untuk konsentrasi merkuri.

Semua konsentrasi merkuri baik pada tailing maupun dari hasil percobaan ini dilakukan dengan menggunakan *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy* (ICP-AES). Sampel tailing yang akan dianalisis dilarutkan dalam aqua regia terlebih dahulu dengan proses pengadukan selama 24 jam, dan selanjutnya larutan yang dihasilkan disaring dengan menggunakan filter 0.45 um, kemudian diukur dengan ICP-AES. Prosedur analisis ICP-AES meliputi penggunaan larutan standar dan kalibrasi, merujuk pada prosedur yang dirilis oleh van de Wiel (2003).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi merkuri pada sampel tailing dan komposisi mineralogi sampel zeolit dapat dilihat pada Tabel 1. Secara umum, tidak ada perbedaan yang mencolok hasil konsentrasi merkuri pada tailing yang diambil pada tiga lokasi yang dimaksud, dimana konsentrasi merkuri tersebut sangat tinggi jika dibandingkan dengan konsentrasi alamiah merkuri yang terdapat pada batuan (Jonasson dan Boyle, 1972). Hal ini disebabkan karena penambahan merkuri secara masif pada waktu proses amalgamasi dilakukan. Terlihat bahwa

konsentrasi merkuri pada sampel yang diperoleh dari Banyumas, mempunyai konsentrasi merkuri paling tinggi, hal ini diduga karena umur tailing yang diperoleh lebih muda umurnya jika dibandingkan dengan dua sampel tailing dari lokasi lainnya. Adanya proses dekomposisi dan degradasi diduga berpengaruh terhadap konsentrasi merkuri seiring dengan bertambahnya waktu, sejalan dengan hasil penelitian lain (Nyenda dkk, 2021). Komposisi mineralogi zeolit alam tersusun oleh mineral zeolite jenis klinoptilolit, namun juga dijumpai jenis mordenit dalam jumlah minor. Mineal lain seperti kuarsa, plagioklas dan mineral lempung seperti skektit dan ilit juga dijumpai. Secara teori, komposisi zeolit alam akan tersusun tidak hanya mineral zeolit saja namun akan hadir bersama dengan minerap pengotor lain seperti banyak dijelaskan oleh peneliti lain (Iijima, 1980; Alshameri dkk 2019).

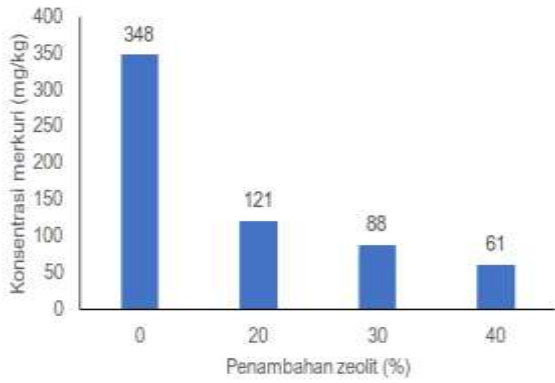
Tabel 1. Konsentrasi merkuri pada tailing dan komposisi mineralogi zeolit alam

Tailing ¹⁾	merkuri (mg/kg)
Kulon Progo	345
Wonogiri	289
Banyumas	498
Zeolit alam ²⁾	Persentase (%)
Mordenit	25
Klinoptilolit	10
Kuarsa	4
Plagioklas	3
Lempung	13

¹⁾ hasil analisis ICP-AES

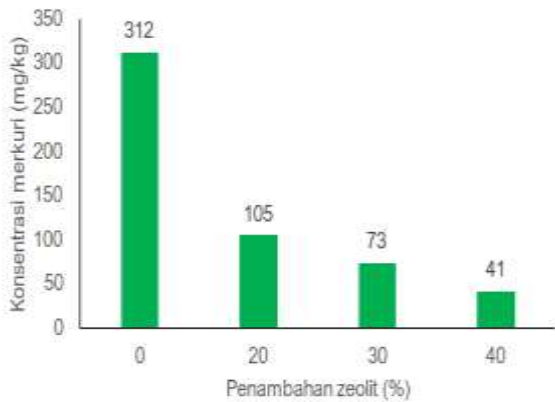
²⁾ hasil analisis XRD

Hasil percobaan laboratorium menunjukkan bahwa secara umum, terjadi penurunan konsentrasi merkuri dalam tailing setelah ditambahkan zeolit alam. Untuk tailing yang diambil dari Kulon Progo, penambahan zeolit alam sebesar 20%, 30% dan 40% akan mengurangi konsentrasi merkuri berturut turut menjadi sebesar 121, 88, dan 61 mg/kg dari konsentrasi awal sebesar 348 mg/kg seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



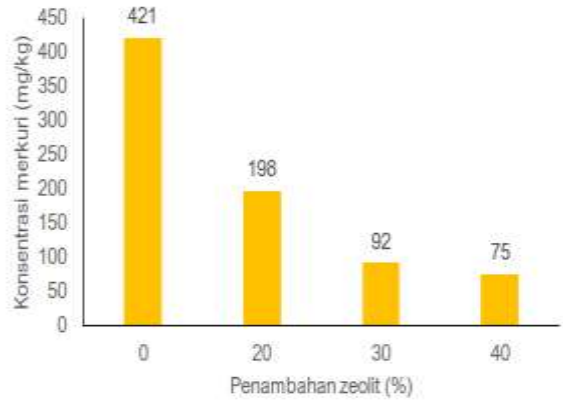
Gambar 1. Pengaruh penambahan zeolit terhadap konsentrasi merkuri pada tailing dari Kulon Progo

Demikian juga untuk sampel tailing yang diperoleh dari Wonogiri, dengan ditambahkan zeolit alam sebesar 20%, 30% dan 40% akan menurunkan konsentrasi merkuri dalam sampel berturut turut menjadi sebesar 105, 73, dan 41 mg/kg dari konsentrasi awal sebesar 312 mg/kg seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



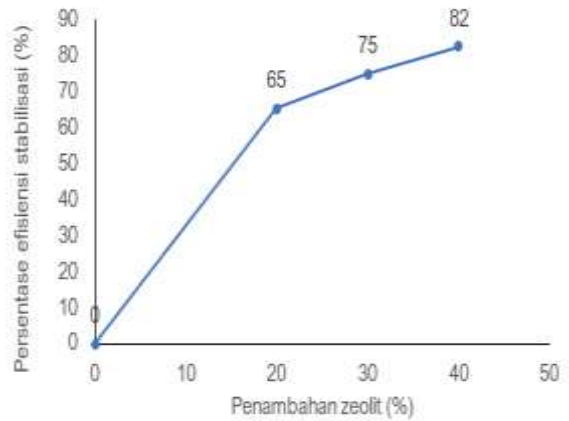
Gambar 2. Pengaruh penambahan zeolit terhadap konsentrasi merkuri pada tailing dari Wonogiri

Untuk sampel tailing yang diambil dari Banyumas, menunjukkan pola yang sama dimana dengan ditambahkan zeolit alam sebesar 20%, 30% dan 40% akan menurunkan konsentrasi merkuri dalam sampel berturut turut menjadi sebesar 198, 92 dan 75 mg/kg dari konsentrasi awal sebesar 421 mg/kg dan dapat dilihat pada Gambar 3.



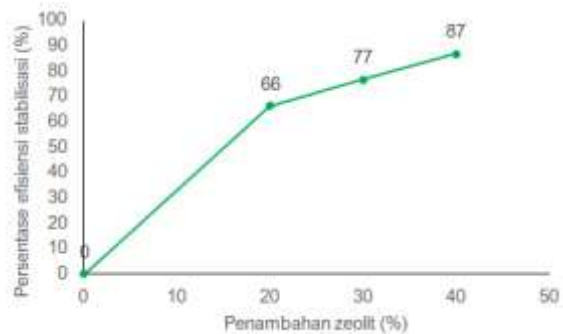
Gambar 3. Pengaruh penambahan zeolit terhadap konsentrasi merkuri pada tailing dari Banyumas

Persentase efisiensi zeolit alam dalam menstabilisasi merkuri dalam tailing ditunjukkan pada Gambar 4, 5 dan 6.



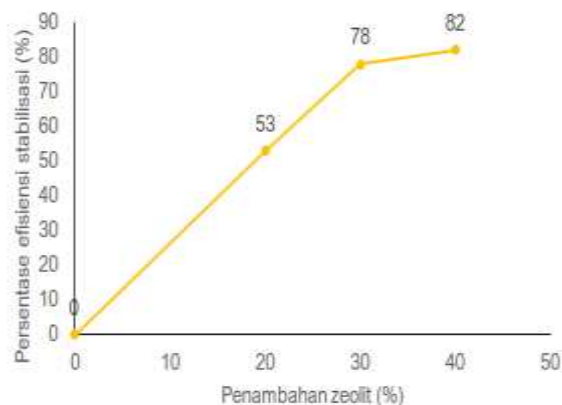
Gambar 4. Persentase efisiensi stabilisasi zeolit terhadap dosis zeolit pada tailing dari Kulon Progo

Secara umum, efisiensi stabilisasi zeolit alam mengalami peningkatan seiring dengan ditambahkan zeolit ke dalam sampel tailing.



Gambar 5. Persentasi efisiensi stabilisasi zeolit terhadap dosis zeolit pada tailing dari Wonogiri

Persentase efisiensi zeolit alam tertinggi dalam menstabilkan merkuri dalam tailing terlihat pada tailing yang diambil dari Wonogiri (Gambar 4).



Gambar 6. Persentasi efisiensi stabilisasi zeolit terhadap dosis zeolit pada tailing dari Banyumas

Hal ini menunjukkan bahwa, semakin rendah konsentrasi merkuri, maka persentase efisiensi stabilisasi zeolit alam akan meningkat, konsisten dengan hasil penelitian lain (Chojnacki dkk, 2004). Pada penelitian ini, pengaruh ini dapat ditunjukkan dari hasil percobaan pada ke-3 sampel tailing, dimana persentase efisiensi stabilisasi paling tinggi diperoleh pada sampel tailing Wonogiri (sebesar 87%) jika dibandingkan dengan dua sampel lain yaitu tailing Kulon Progo (82%) dan tailing Banyumas (82%). Hal ini diduga karena semakin tinggi konsentrasi merkuri, maka akan semakin banyak proses pertukaran ion yang harus dialami oleh mineral zeolit, dimana proses pertukaran ion ini menjadi salah satu kunci efektifitas remediasi yang dimiliki oleh mineral zeolit (Hong dkk, 2019; Tasić dkk, 2019; Morante-Carballo dkk, 2021). Adanya kandungan mineral mordenit yang cukup banyak (25%) (lihat tabel 1) dalam sampel zeolit alam yang digunakan dalam percobaan ini, memberikan kontribusi yang signifikan dalam proses pertukaran ion, karena mineral zeolit jenis mordenit mempunyai nilai kapasitas tukar kation yang tinggi jika dibandingkan dengan mineral zeolit jenis yang lain, seperti dikonfirmasi oleh peneliti lain (Gili dan Conato, 2019; Budianta dkk, 2020).

4. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan laboratorium yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa zeolit alam yang diperoleh dari Gunungkidul, Yogyakarta dapat menurunkan konsentrasi merkuri dalam limbah tambang dengan kemampuan stabilisasi yang bervariasi tergantung pada konsentrasi awal merkuri pada tailing dan dosis zeolit alam yang ditambahkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada JICA Project for AUN SEED Net yang telah memberikan dukungan dana penelitian. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tokyo Institute of Technology yang memberikan fasilitas untuk analisis sampel.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Alshameri, A., Xinghu, W., Dawood, A. S., Xin, C., Yan, C., & Assabri, A. M. (2019). Characterization of Yemeni natural zeolite (Al-Ahyuq area) and its environment applications: A review. *Journal of Ecological Engineering*, 20(4).
- Arifin, Y. I., Sakakibara, M., Takakura, S., Jahja, M., Lihawa, F., & Sera, K. (2020). Artisanal and small-scale gold mining activities and mercury exposure in Gorontalo Utara Regency, Indonesia. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 102(10), 521-542.
- Budianta, W., Andriyani, N. D., Ardiana, A., & Warmada, I. W. (2020). Adsorption of lead and cadmium from aqueous solution by Gunungkidul zeolitic tuff, Indonesia. *Environmental Earth Sciences*, 79(8), 172.
- Budianta, W. (2021). Heavy metal pollution and mobility of sediment in Tajum River caused by artisanal gold mining in Banyumas, Central Java, Indonesia. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(7), 8585-8593.
- Chojnacki, A., Chojnacka, K., Hoffmann, J., & Gorecki, H. (2004). The application of natural zeolites for mercury removal: from laboratory tests to industrial scale. *Minerals*

- Engineering, 17(7-8), 933-937.
- Esdaile, L. J., & Chalker, J. M. (2018). The mercury problem in artisanal and small-scale gold mining. *Chemistry-A European Journal*, 24(27), 6905-6916.
- Gili, M. B. Z., & Conato, M. T. (2019). Adsorption uptake of mordenite-type zeolites with varying Si/Al ratio on Zn^{2+} ions in aqueous solution. *Materials Research Express*, 6(4), 045508.
- Hong, M., Yu, L., Wang, Y., Zhang, J., Chen, Z., Dong, L & Li, R. (2019). Heavy metal adsorption with zeolites: The role of hierarchical pore architecture. *Chemical Engineering Journal*, 359, 363-372.
- Iijima, A. (1980). Geology of natural zeolites and zeolitic rocks. *Pure and Applied Chemistry*, 52(9), 2115-2130.
- Jonasson, I. R., & Boyle, R. W. (1972). Geochemistry of mercury and origins of natural contamination of the environment. *Canadian Mining and Metallurgical Bulletin*, 65(717).
- Loria, A., Ramos-Arroyo, Y. R., Rocha, D., Cruz-Jiménez, G., Razo-Soto, I., de la Torre, M. C. A., Wang, F. (2022). Widespread elevated concentrations of gaseous elemental mercury in Guanajuato, Mexico, centuries after historical silver refining by mercury amalgamation. *Science of the Total Environment*, 843, 157093.
- Morante-Carballo, F., Montalván-Burbano, N., Carrión-Mero, P., & Espinoza-Santos, N. (2021). Cation exchange of natural zeolites: Worldwide research. *Sustainability*, 13(14), 7751.
- Nyenda, T., Gwenzi, W., & Jacobs, S. M. (2021). Changes in physicochemical properties on a chronosequence of gold mine tailings. *Geoderma*, 395, 115037.
- Rachman, R. M., Ngii, E., & Sya'ban, A. R. (2021). Investigation of the spread of mercury in the land around the waste storage ponds in the Kulon Progo traditional gold mine. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 8(4), 2911.
- Tasić, Ž. Z., Bogdanović, G. D., & Antonijević, M. M. (2019). Application of natural zeolite in wastewater treatment: A review. *Journal of Mining and Metallurgy*, 55(1), 67-79.
- van de Wiel, H. J. (2003). Determination of elements by ICP-AES and ICP-MS. National Institute of Public Health and the Environment (RIVM). Bilthoven, The Netherlands, 1-19.
- Yudiantoro, D. F., Nurcholis, M., Sayudi, D. S., Abdurrachman, M., Haty, I. P., Pambudi, W., & Subroborini, A. (2017). Mercury Distribution in the Processing of Jatiroto Gold Mine Wonogiri Central Java Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 71, (1), p. 012023.