

Pencemaran Tanah oleh Logam Berat di Kotagede, Yogyakarta

Hana Riska Nabila^{1*} dan Wawan Budianta¹

¹Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia; e-mail: hana.riska.nabila@gmail.com

ABSTRAK

Keberadaan industri kerajinan perak di Kotagede, Yogyakarta yang sudah berlangsung lama, menghasilkan limbah cair yang diduga telah mencemari tanah di lokasi industri dan sekitarnya. Penelitian ini dilakukan untuk menginvestigasi kandungan logam berat dalam tanah, yaitu Cu dan Pb, serta faktor penyebarannya di lokasi kerajinan perak dan sekitarnya di Kotagede, Yogyakarta. Sampel tanah diambil di lokasi penelitian, yang merupakan daerah kerajinan perak dan sekitarnya. Sebanyak 35 titik sampling diambil pada kedalaman 5 cm, 15 cm, dan 25 cm. Analisis ukuran butir, pH, kandungan organik, kandungan Cu dan Pb, dilakukan pada 105 sampel yang telah diambil serta dihitung pula untuk nilai indeks geoakumulasi. Analisis dilakukan dengan menyajikan dalam peta sebaran kandungan Cu dan Pb yang dilakukan secara spasial, maupun secara vertikal menurut kedalaman sampel, yang bertujuan untuk menganalisis penyebaran secara lateral dan vertikal. Hasil penelitian menunjukkan kandungan Cu dan Pb di dalam sampel tanah yang diambil, telah melebihi nilai latar belakang (background) namun masih berada di bawah baku mutu rujukan. Penyebaran Cu dan Pb pada tanah di lokasi penelitian dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu faktor alamiah yaitu ukuran butir, pH serta kandungan organik dalam tanah. Sedangkan faktor manusia yang diduga berpengaruh adalah faktor kegiatan industri kerajinan perak yang menghasilkan limbah cair. Untuk faktor lainnya seperti arah aliran air permukaan dan morfologi, diduga kurang berpengaruh terhadap penyebaran Cu dan Pb pada tanah di lokasi penelitian.

Kata kunci: Pencemaran, Tanah, Logam berat, Kotagede, Yogyakarta

ABSTRACT

The presence of silver industries in Kotagede, Yogyakarta has existed since a long time ago and generated wastewater that contaminated the soil surrounding the areas. The study aimed to investigate the Cu and Pb concentrations in the soil in the soil in the study area and the influenced factor of the distribution. The soil samples were obtained from the study area containing 35 sampling points in 5 cm, 15 cm, and 25 cm depth. The grain size analysis, organic content pH, and Cu and Pb concentration were analyzed for 105 soil samples and also calculated for the geoaccumulation index. The analysis was done by showing the distribution map of Cu and Pb concentration spatially, and also for the vertical distribution map. The result of the study showed that the Cu and Pb concentrations exceed the background value but under the soil quality standard. The distribution of Cu and Pb in the soil in the study area was influenced by two factors, natural factors including soil grain size, pH, and organic content. On the other hand, the second factor was the human factor including silver industry activity generated wastewater. Other factors such as the flow of water runoff in the surface soil and morphological condition did not significantly effect the distribution of Cu and Pb in the soil in the study area.

Keywords: Contamination, Soil, Heavy metals, Kotagede, Yogyakarta

Citation: Nabila, H. R., dan Budianta, W. (2025). Pencemaran Tanah oleh Logam Berat di Kotagede, Yogyakarta. Jurnal Ilmu Lingkungan, 23(1), 166-174, doi:10.14710/jil.23.1.166-174

1. PENDAHULUAN

Peningkatan industri dapat memberikan dampak positif sekaligus negatif bagi lingkungan, salah satunya adalah pencemaran tanah oleh logam berat (de Carlo, I., 2012). Dampak tersebut bermula dari dibuangnya limbah cair yang mengandung logam berat pada tanah di permukaan, kemudian terserap oleh lapisan tanah yang berada di bawahnya, khususnya pada tanah yang memiliki sifat untuk mendukung hadir dan terakumulasinya logam berat,

seperti pH tanah asam, ukuran butir tanah halus, banyaknya kandungan organik, dan lain-lain (Hasegawa dkk, 2016). Tanah merupakan komponen penting yang berhubungan langsung dengan manusia dan makhluk hidup lainnya. Tanah yang tercemar logam berat di kawasan industri umumnya berasal dari limbah cair hasil kegiatan produksi yang dilakukan. Keberadaan logam berat dalam tanah juga dapat dipengaruhi oleh material induk tanah tersebut

berasal, karena tanah merupakan hasil dari pelapukan batuan (Alloway, 2013); (Tomczyk dkk, 2023).

Kecamatan Kotagede dan sekitarnya merupakan daerah sentra industri kerajinan perak dan pelapis logam yang sedang berkembang. Proses produksi kerajinan tersebut menghasilkan limbah cair yang mengandung beberapa unsur logam berat dan ada yang konsentrasinya telah melebihi baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri menurut Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta tahun 2010, seperti tembaga (Cu), perak (Ag), kromium (Cr), seng (Zn), dan nikel (Ni) (Sekarwati dkk, 2015; de Carlo, I., 2012; Giyatmi dkk, 2008). Penelitian tentang pencemaran tanah oleh timbal di Kota Yogyakarta sudah pernah dilakukan, dimana secara umum daerah industri yang sekaligus menjadi daerah perkotaan menjadi tempat akumulasi konsentrasi timbal (Pb) yang tinggi, kontaminannya diduga berasal dari kendaraan bermotor melalui pengendapan di atmosfer (Budianta, 2012). Namun demikian, penelitian oencemaran tanah oleh logam berat terutama di daerah Kecamatan Kotagede, dimana merupakan pusat kerajinan perak berlokasi, belum pernah dilakukan.

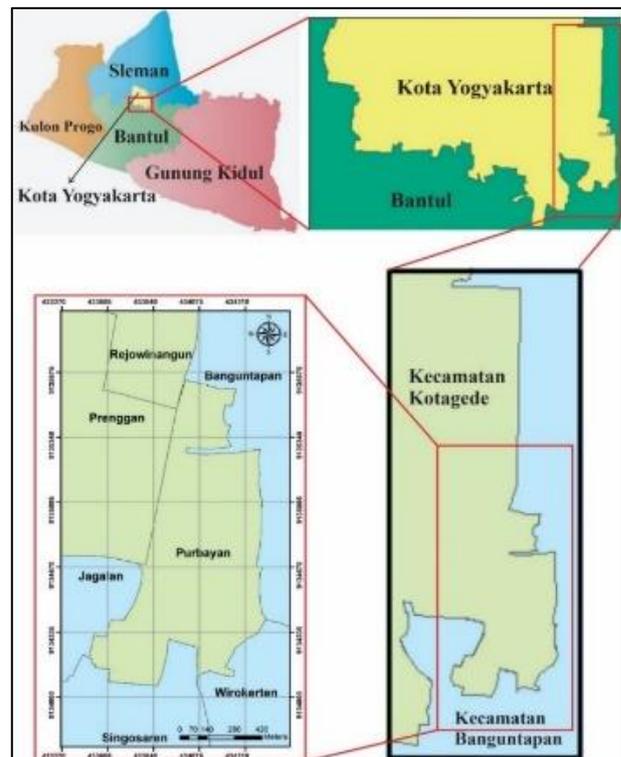
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis seberapa jauh konsentrasi logam berat serta mengetahui faktor geologi dan antropogenik yang menyebabkan penyebaran unsur di dalam tanah pada lokasi penelitian. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan bagi yang membutuhkan dalam upaya peningkatan kesehatan lingkungan hidup.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian meliputi daerah industri kerajinan perak dan pelapis logam lainnya yang berada di Kecamatan Kotagede dan sekitarnya seperti ditunjukkan pada Gambar 1, yang disajikan berdasarkan Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) 2022.

Penentuan titik pengambilan sampel tanah dilakukan menggunakan metode gridding, yaitu lokasi penelitian dibagi menjadi 35 grid, kemudian dilakukan pengambilan sampel pada setiap gridnya dengan 3 kedalaman, yaitu pada kedalaman 5 cm, 10 cm, dan 15 cm. Kemudian dilakukan pengambilan sampel tanah menggunakan bor tangan dan bantuan linggis. Hasilnya diperoleh sampel tanah berjumlah 105 yang selanjutnya dilakukan analisis sifat fisik dan kimia tanah. Sifat fisik tanah yang dianalisis yaitu ukuran butir tanah yang terbatas pada kedalaman 5 cm (lapisan tanah paling atas). Lapisan tanah paling atas difokuskan untuk diayak karena lapisan tersebut merupakan yang paling pertama menerima sumber kontaminan limbah cair. Penentuan ukuran butir tanah mengacu pada klasifikasi Unified Soil

Classification System (USCS) (ASTM D2487-06). Sifat kimia tanah yang dianalisis yaitu pH yang diukur menggunakan soil tester dan kandungan organik dianalisis menggunakan TOC (Total Organic Carbon) analyser. Sedangkan untuk analisis konsentrasi Pb dan Cu pada sampel tanah di lokasi penelitian dilakukan menggunakan ICP-AES. Pb dan Cu dipilih sebagai indikator pencemaran dalam penelitian karena merupakan logam berat yang umum dijumpai pada limbah pengolahan industri logam. Hasil tersebut dibandingkan dengan nilai rata-rata konsentrasi alami logam berat dalam tanah/nilai background (Tabel 1) dan nilai baku mutu logam berat dalam tanah menurut soil remediation intervention values Dutch Environmental Standard (Tabel 2). Negara Indonesia belum memiliki nilai baku mutu untuk kualitas tanah. Nilai rata-rata (nilai background) konsentrasi logam berat mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Wulaningsih, 2009 terkait nilai logam berat dari material piroklastik berupa pasir hasil erupsi Gunung Merapi. Sampel dari penelitian tersebut diambil pada Jalur Sungai Gendol yang merupakan jalur aliran material piroklastik setelah erupsi tahun 2006 dan pada lokasi penambangan terbesar di Gunung Merapi, tepatnya di Sungai Putih.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian
Sumber: *Pinterest Google* dan Peta RBI, 2022

Tabel 1. Nilai *Background* (mg/kg)

Cu	Pb
35	11,6

Sumber: Wulaningsih, 2009

Tabel 2. Nilai Baku Mutu (mg/kg)

Material \ Unsur	Cu	Pb
Tanah/Sedimen	190	530

Sumber: Dutch Environmental Standard, 2000

Tabel 3. Kelas I_{geo} dan Kualitas Tanah

Nilai	Kelas I _{geo}	Kualitas Tanah
$I_{geo} \leq 0$	0	Tidak tercemar
$0 < I_{geo} < 1$	1	Tidak tercemar hingga tercemar sedang
$1 < I_{geo} < 2$	2	Tercemar sedang
$2 < I_{geo} < 3$	3	Tercemar sedang hingga tercemar tinggi
$3 < I_{geo} < 4$	4	Tercemar tinggi
$4 < I_{geo} < 5$	5	Tercemar tinggi hingga tercemar sangat tinggi
$I_{geo} \geq 5$	6	Tercemar sangat tinggi

Sumber: Muller, 1979

Kemudian dilakukan analisis penyebaran logam berat menggunakan analisis spasial berupa metode interpolasi kriging dan overlay. Hasil dari metode ini berupa peta konsentrasi logam berat yang digunakan untuk melihat penyebaran secara horizontal dan vertikal. Peta tersebut kemudian dilakukan overlapping dengan lokasi industri kerajinan perak atau pelapisan logam di area penelitian. Hasil overlay menjadi salah satu pertimbangan untuk analisis penyebaran logam berat di dalam tanah sekitar industri kerajinan perak. Terakhir, dilakukan analisis tingkat kontaminasi logam berat menggunakan Indeks geoakumulasi (I_{geo}). Nilai I_{geo} dapat dihitung sebagaimana tertera pada rumus 1. Hasil perhitungan I_{geo} dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan kualitasnya (Tabel 3).

$$I_{geo} = \log_2 [C_n / (1,5 \times B_n)] \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- I_{geo} = Indeks geoakumulasi
- C_n = Konsentrasi logam berat pada tanah
- B_n = Konsentrasi referensi (nilai background) logam berat (Wulaningsih, 2009)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Geologi Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian tersusun oleh endapan merapi kuartar yang tersusun dari campuran endapan lahar dan endapan sungai (endapan fluvial-vulkanik) yang ditandai oleh munculnya lapisan kerikil berpasir di antara lapisan pasir kasar. (Wilopo dkk, 2021). Hendrayana & Maulana (2018) juga melakukan pemetaan pada cekungan air tanah Yogyakarta-Sleman dan daerah penelitian memiliki litologi tanah liat pasiran lempungan (Gambar 2).

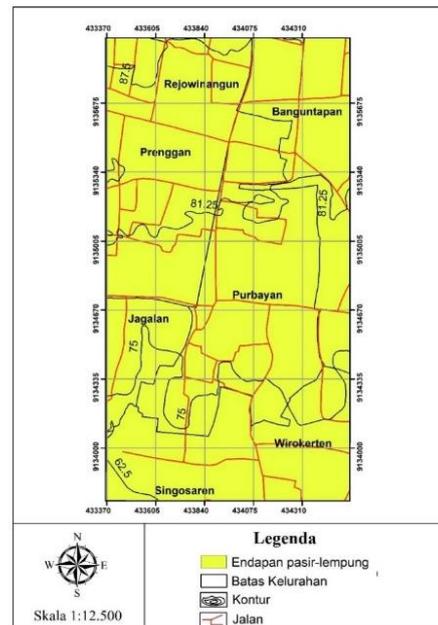
3.2. Morfologi Lokasi Penelitian

Tempat kerajinan perak/industri pelapis logam serta spot pembuangan limbah dominan terletak di Kelurahan Purbayan yang berada pada ketinggian 81,25 mdpl – 87,5 mdpl. Selain itu, tempat kerajinan dan spot pembuangan limbah juga dapat ditemukan di Kelurahan Jagalan yang berada pada ketinggian 75 mdpl – 81,25 mdpl. Peta morfologi (Gambar 3) dibuat berdasarkan morfometri/nilai ketinggian suatu tempat yang bertujuan untuk melihat arah aliran run off. Bagian utara lokasi penelitian terletak lebih tinggi

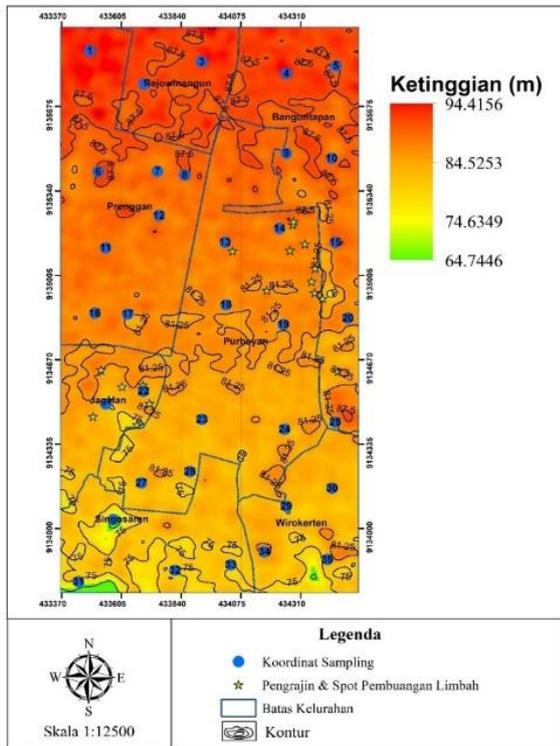
dibandingkan bagian selatan dan nilai ketinggian menunjukkan trend yang menurun dari arah utara menuju selatan lokasi penelitian. Artinya, semakin ke arah selatan, maka semakin rendah nilai ketinggian di tempat tersebut dan arah aliran run off diinterpretasi yaitu dari utara menuju selatan (Nabila, 2022).

3.3. Ukuran Butir Tanah Lokasi Penelitian

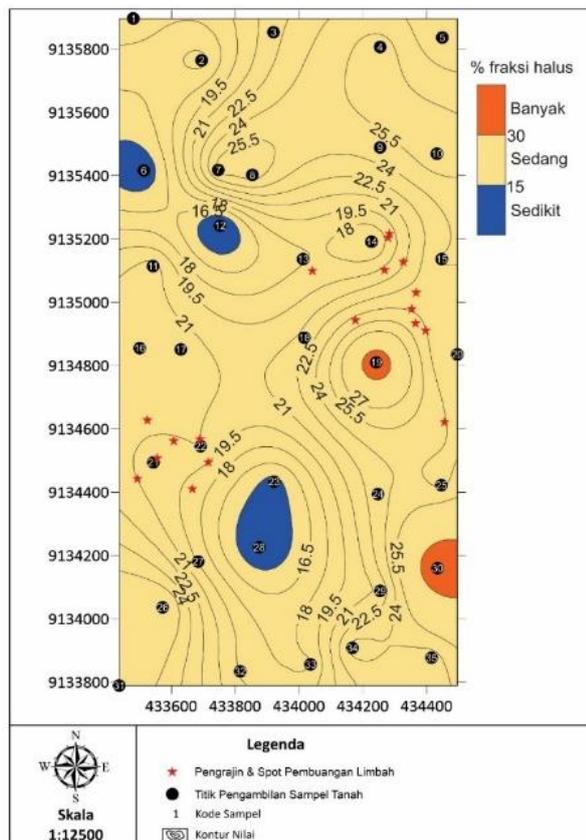
Lokasi penelitian tersusun atas tiga satuan ukuran butir tanah, yaitu tanah berbutir kasar dengan fraksi halus sedikit, tanah berbutir kasar dengan fraksi halus sedang, dan tanah berbutir kasar dengan fraksi halus banyak. Hampir seluruh wilayah lokasi penelitian (29 STA) memiliki konsentrasi fraksi halus sedang, 2 STA memiliki konsentrasi fraksi halus banyak, serta 4 STA memiliki konsentrasi fraksi halus sedikit. Untuk memudahkan analisis hubungan antara ukuran butir tanah dengan penyebaran konsentrasi logam berat, peta distribusi ukuran butir tanah dibuat berdasarkan jumlah persentase fraksi halusnya saja. Peta distribusi ukuran butir tanah dapat dilihat pada Gambar 4 (Nabila, 2022).



Gambar 2. Peta Geologi
 Sumber: Modifikasi dari Wilopo dkk, 2021 dan Hendrayana & Maulana, 2018



Gambar 3. Peta Morfologi
Sumber: Nabila, 2022



Gambar 4. Peta Distribusi Ukuran Butir Tanah
Sumber: Nabila, 2022

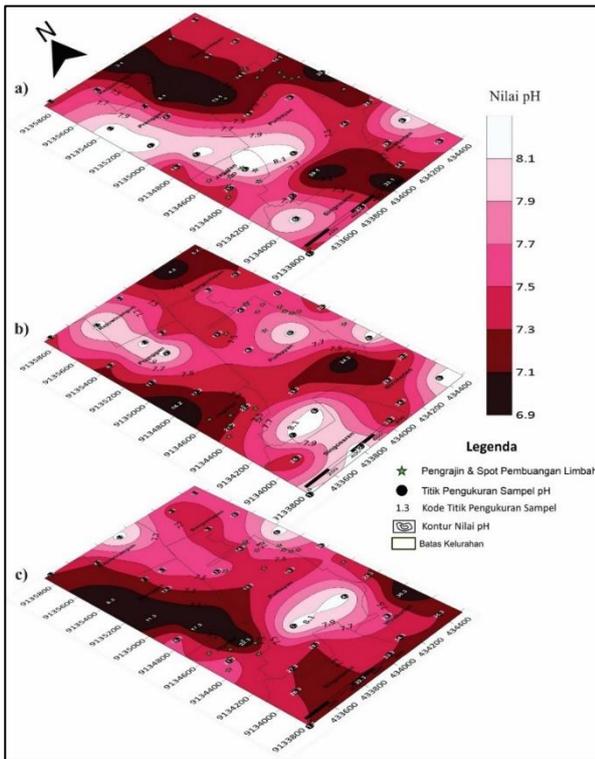
3.4. Nilai pH dan Kandungan Organik Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian memiliki nilai pH yang berkisar antara 6,9 – 8,2 satuan pH, yang mana hasil tersebut termasuk dalam kelompok asam lemah hingga basa kuat (Gambar 5). Pada kedalaman tanah bagian atas (5 cm), daerah yang memiliki nilai pH rendah (asam – netral) berasosiasi dengan tempat kerajinan yang berada di sebelah timur dan di bagian selatan (kode sampel 28.1 dan 33.1) lokasi penelitian. Tempat kerajinan yang berada di sebelah barat menunjukkan nilai pH tinggi (netral – basa). Tanah pada kedalaman 15 cm (tengah) menunjukkan hasil yang berbeda dengan sebelumnya. Tempat kerajinan yang berada di timur menunjukkan nilai pH yang tinggi, sedangkan yang berada di barat menunjukkan hasil dengan nilai pH yang lebih rendah. Untuk tanah di kedalaman paling bawah (25 cm), asosiasi tempat kerajinan dan nilai pH menunjukkan hasil yang serupa dengan tanah bagian tengah. Hal ini dikarenakan pH mempunyai peranan yang penting sebagai faktor penentu mobilitas logam berat dalam tanah (Kicińska, dkk, 2022).

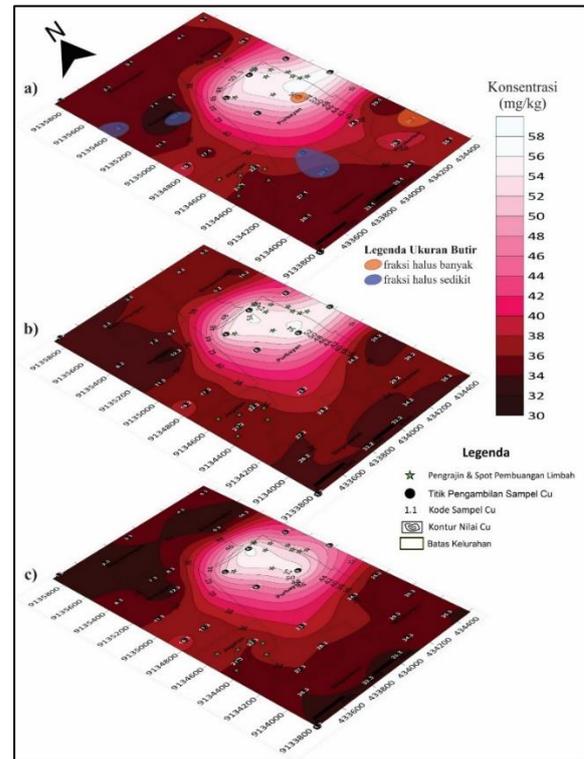
Lokasi penelitian memiliki kandungan organik berkisar 2% – 5%. Pada lapisan tanah paling atas, tempat kerajinan dan STA yang berada di sekitarnya menunjukkan nilai kandungan organik yang lebih banyak dibandingkan dengan daerah yang jauh dari tempat kerajinan dan spot pembuangan limbah. Hal tersebut dapat dilihat pada peta distribusi kandungan organik yang menunjukkan dominansi warna putih (terang) di bagian tengah lokasi penelitian (Gambar 6). Pada lapisan tanah bagian tengah (kedalaman 15 cm), tempat kerajinan yang berada di sebelah timur lokasi penelitian masih menunjukkan hasil yang banyak yaitu sekitar 4%. Kemudian untuk tanah di lapisan paling bawah, karakteristiknya mirip dengan lapisan tanah bagian tengah. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan organik akan berpengaruh terhadap penjerapan logam berat dalam tanah seperti yang disampaikan oleh penelitian lain (Balabane and, Van Oort, 2002).

3.5. Konsentrasi Cu pada Tanah di Lokasi Penelitian

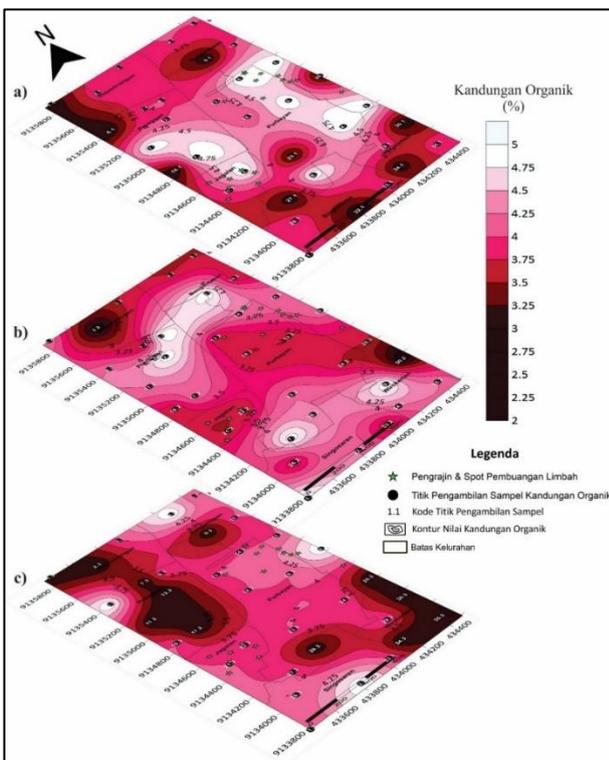
Nilai tertinggi konsentrasi Cu pada tanah bagian atas, tengah, dan bawah berturut-turut adalah 57 mg/kg, 54 mg/kg, dan 55 mg/kg. Sedangkan nilai terendahnya 31 mg/kg, 31 mg/kg, dan 30 mg/kg. Konsentrasi Cu pada tiga kedalaman tanah menunjukkan hasil yang mirip, ditandai dengan konsentrasi logam yang tinggi yang berasosiasi atau berada dekat tempat kerajinan dan spot pembuangan limbah yang terletak di bagian timur lokasi penelitian. Peta persebaran konsentrasi Cu dapat dilihat pada Gambar 7 (Nabila, 2022).



Gambar 5. a) Peta Sebaran Nilai pH Lapisan Tanah Atas (5 cm); b) Peta Sebaran Nilai pH Lapisan Tanah Tengah (15 cm); c) Peta Sebaran Nilai pH Lapisan Tanah Bawah (25 cm)
 Sumber: Nabila, 2022



Gambar 7. a) Peta Sebaran Konsentrasi Cu Lapisan Tanah Atas (5 cm); b) Lapisan Tanah Tengah (15 cm); c) Lapisan Tanah Bawah (25 cm)
 Sumber: Nabila, 2022



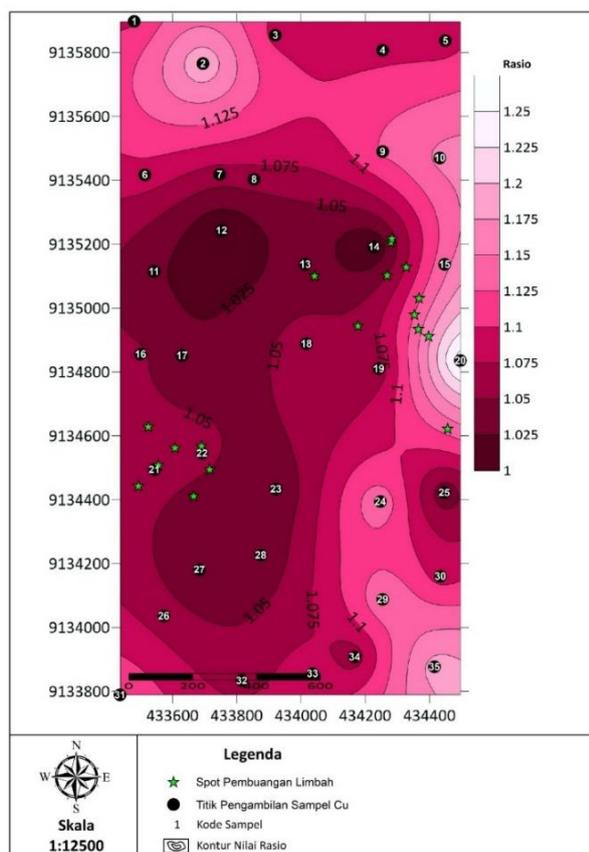
Gambar 6. a) Peta Sebaran Kandungan Organik Lapisan Tanah Atas (5 cm); b) Lapisan Tanah Tengah (15 cm); c) Lapisan Tanah Bawah (25 cm)
 Sumber: Nabila, 2022

Cu pada lapisan tanah bagian atas menunjukkan nilai yang lebih tinggi di sekitar tempat kerajinan dan spot pembuangan limbah bagian timur lokasi penelitian, tepatnya di sekitar STA 19 dan 20. Hal tersebut menunjukkan bahwa limbah cair hasil aktivitas industri kerajinan memengaruhi akumulasi logam Cu di dalam tanah. Selain itu, ukuran butir pada STA 19 yang memiliki banyak fraksi halus juga dapat memengaruhi kehadiran logam berat. Semakin halus ukuran butir pada suatu sampel tanah, maka semakin kuat tanah tersebut untuk menyerap dan mengikat unsur logam. Ukuran butir yang halus juga memiliki kaitan dengan kehadiran material organik dan hal tersebut dapat dibuktikan pada tanah lapisan atas ini. Kandungan organik di sekitar STA 19 menunjukkan hasil yang banyak juga sehingga konsentrasi Cu pun juga lebih mudah terserap dan terikat pada tanah dengan sifat seperti ini. pH yang bersifat asam lemah juga terukur pada tempat ini. Dengan demikian, hubungan sifat tanah dengan kehadiran logam berat yang telah dijabarkan pada dasar teori sebelumnya berbanding lurus pada lapisan ini (Nabila, 2022).

Berbeda dengan daerah kerajinan yang berada di sebelah timur, konsentrasi Cu pada kerajinan bagian barat lokasi penelitian (STA 21 dan 22) nilainya menunjukkan hasil yang relatif rendah meskipun sama-sama dekat dengan aktivitas industri. Jika ditinjau dari kandungan organiknya, daerah ini memang memiliki nilai yang relatif besar. Akan tetapi, jika dilihat dari ukuran butir tanah setelah dianalisis, persentase fraksi halus pada daerah ini tergolong sedang, tidak

sebanyak pada STA 19 dan hasil pengukuran pH tanah juga menunjukkan sifat netral – basa lemah. Kedua hal tersebut dapat menjadi salah satu faktor yang menyebabkan akumulasi logam Cu rendah pada daerah ini. Perbedaan jenis pelapisan logam yang dilakukan pada kedua tempat juga dapat menjadi faktor eksternal yang menyebabkan tidak tingginya konsentrasi Cu di daerah kerajinan bagian barat. Pengaruh morfologi tidak menyebabkan terakumulasinya logam berat pada daerah yang lebih rendah/daerah selatan lokasi penelitian karena persebaran konsentrasi Cu tidak menunjukkan hasil yang lebih tinggi seiring dengan penurunan ketinggian.

Cu pada lapisan tanah bagian tengah menunjukkan hasil yang mirip dengan lapisan tanah bagian atas. Hal ini juga didukung oleh kandungan organik yang banyak dan pH yang tergolong netral – basa lemah. Nilai Cu pada lapisan tengah lebih rendah daripada lapisan atas pada daerah dekat kegiatan industri kerajinan ini. Hal tersebut sangat mungkin terjadi karena lapisan tanah bagian ataslah yang pertama kali terkena kontaminasi limbah cair yang mengandung logam berat, sehingga akumulasi lebih banyak terjadi. Cu pada lapisan tanah bagian bawah menunjukkan hasil yang mirip dengan dua lapisan di atasnya, yaitu konsentrasi yang berada di sekitar kerajinan di sebelah timur lebih besar dibandingkan dengan daerah kerajinan di sebelah baratnya (Nabila, 2022).



Gambar 8. Peta Rasio Konsentrasi Cu pada Tanah Lapisan Atas (5 cm) dan Bawah (25 cm)
Sumber: Nabila, 2022

Jika dilihat perubahan secara vertikal dari lapisan paling atas ke lapisan paling bawah, nilai Cu mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kedalaman. Hal ini mungkin terjadi karena lapisan paling atas adalah lapisan yang secara langsung berasosiasi dengan kegiatan industri kerajinan perak dan lapisan yang pertama kali terkena limbah cair hasil kegiatan industri. pH tanah yang secara keseluruhan bersifat netral – basa lemah menyebabkan mobilisasi vertikal logam berat cenderung lambat. Oleh karena itu, terjadi penurunan konsentrasi seiring dengan bertambahnya kedalaman dan akumulasi Cu yang paling banyak ditemukan ada pada lapisan paling atas dibandingkan dengan lapisan tanah di bawahnya. Penurunan kadar Cu seiring dengan bertambahnya kedalaman juga direpresentasikan melalui peta rasio nilai Cu (Gambar 8) yang menunjukkan nilai >1 . Adanya penurunan konsentrasi logam berat seiring dengan kedalaman tanah konsisten dengan hasil penelitian lain (Zhang dan Wang, 2020).

3.6. Konsentrasi Pb pada Tanah di Lokasi Penelitian

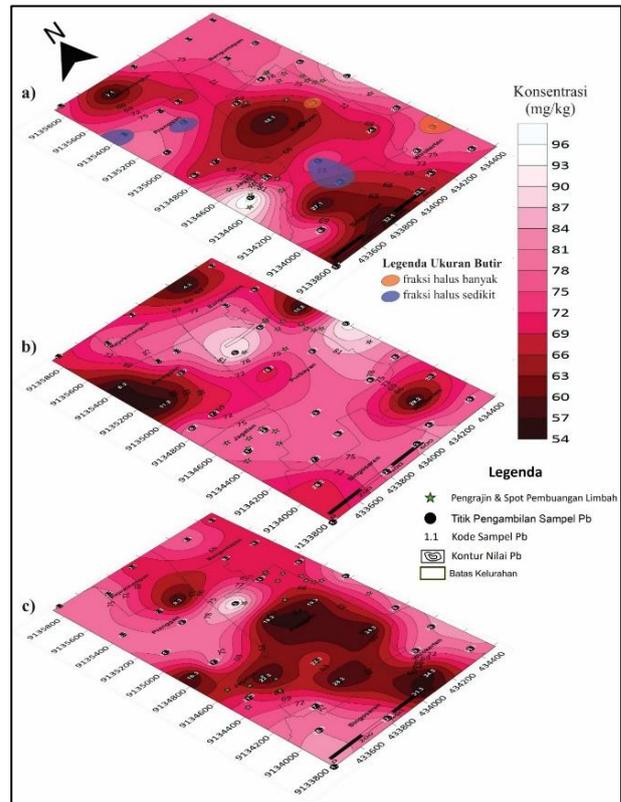
Pada lapisan tanah paling atas, konsentrasi Pb paling tinggi sebesar 98 mg/kg dan yang paling rendah yaitu 56 mg/kg. Nilai tersebut ada yang berasosiasi atau berada di sekitar tempat kerajinan dan spot pembuangan limbah di bagian barat dan timur lokasi penelitian, ada juga yang jauh dari aktivitas industri kerajinan. Pada lapisan tanah bagian tengah, nilai konsentrasi Pb yang paling tinggi sebesar 89 mg/kg. Tingginya konsentrasi ini berada di sekitar tempat kerajinan dan spot pembuangan limbah, baik di bagian timur maupun barat. Pada lapisan tanah bagian bawah, konsentrasi Pb yang paling tinggi sebesar 89 mg/kg. Nilai yang tinggi juga terlihat tersebar seiring dengan penurunan ketinggian pada tanah lapisan ini. Maksudnya, terdapat kesamaan nilai konsentrasi Pb seiring dengan penurunan ketinggian yang berarah utara-selatan. Peta persebaran konsentrasi Pb dapat dilihat pada Gambar 9 (Nabila, 2022).

Pb pada lapisan tanah bagian atas menunjukkan hasil yang relatif tinggi di sekitar tempat kerajinan dan spot pembuangan limbah, terutama pada bagian barat lokasi penelitian dengan STA 21 dan bagian timur dengan STA 20. Hal ini dapat disebabkan oleh faktor antropogenik berupa aktivitas dari kegiatan industri kerajinan itu sendiri berupa masuknya limbah cair ke dalam tanah. Konsentrasi Pb yang tinggi ini juga didukung oleh ukuran butir tanah dengan persentase fraksi halus mencapai 20% dan kandungan organik yang relatif banyak. pH yang terukur pada daerah tersebut juga menunjukkan nilai yang relatif rendah atau bersifat asam lemah – netral dibandingkan dengan sekitarnya. Hal tersebut dapat mendukung keberadaan logam berat pada kedua tempat tersebut. Akumulasi Pb yang tinggi juga ditunjukkan pada daerah yang jauh dari aktivitas kerajinan, kemungkinan sumbernya berasal dari

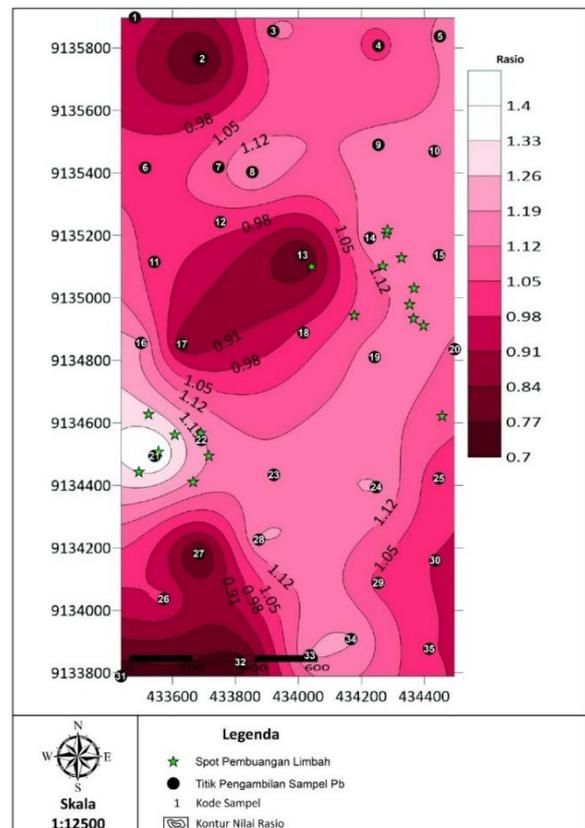
emisi kendaraan bermotor melalui pengendapan di atmosfer dan keberaannya yang dekat dengan jalan raya utama (Budianta, 2012).

Pb pada lapisan tanah bagian tengah menunjukkan hasil yang mirip dengan tanah bagian atas. Kemiripan ini dilihat dari akumulasi logam berat yang cenderung besar pada daerah di sekitar kerajinan dan spot pembuangan limbah, baik pada sisi barat maupun sisi timur lokasi penelitian. Jika ditinjau dari kandungan organik di lapisan tengah ini, daerah kerajinan di sebelah timur memiliki konsentrasi yang lebih besar daripada daerah kerajinan yang berada di sisi barat. pH yang terukur pada kedua daerah kerajinan ini tergolong netral - basa lemah. Nilai Pb yang besar (ditandai dengan warna putih/terang) pada lapisan ini juga ditemui pada tempat yang cenderung jauh dari daerah industri. Hal tersebut bisa mengindikasikan bahwa adanya pengaruh aktivitas industri pada masa lampau yang sekarang sudah tidak beroperasi lagi atau sumber kontaminan lain yang tidak diketahui. Pb pada lapisan bawah menunjukkan hasil yang sedikit berbeda daripada kedua lapisan di atasnya. Daerah di sekitar kerajinan pada bagian barat maupun timur menunjukkan hasil yang rendah daripada sekitarnya, kecuali pada STA 13.3. STA tersebut memiliki konsentrasi Pb yang tinggi diinterpretasikan karena dekat dengan sumber antropogenik/aktivitas industri dan pengaruh mobilisasi vertikal. Akan tetapi, terdapat beberapa daerah yang jauh dari aktivitas industri menunjukkan konsentrasi Pb yang relatif tinggi (ditunjukkan oleh warna putih/terang). Hal tersebut dapat mengindikasikan bahwa adanya sumber lain yang tidak diketahui maupun pengaruh aktivitas industri pada masa lampau yang sudah ditinggalkan (abandoned) dan sekarang tidak beroperasi lagi (Li, F., dkk, 2008).

Jika dilihat perubahan secara vertikal, konsentrasi Pb ini tidak sepenuhnya mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kedalaman saat pengambilan sampel. Hal ini dapat dilihat dari peta rasio konsentrasi Pb yang menunjukkan nilai <1 (Gambar 10). Hal tersebut dapat terjadi karena aktivitas industri jangka panjang serta sumber kontaminan lain pada masa lampau yang menyebabkan akumulasi logam lebih banyak di lapisan tanah paling bawah. Adanya pengaruh industri yang pada masa lampau terhadap kontaminasi tanah pada masa sekarang ini sesuai dengan hasil penelitian lain (George dkk, 2023).



Gambar 9. a) Peta Sebaran Konsentrasi Pb Lapisan Tanah Atas (5 cm); b) Peta Sebaran Konsentrasi Pb Lapisan Tanah Tengah (15 cm); c) Peta Sebaran Konsentrasi Pb Lapisan Tanah Bawah (25 cm)



Gambar 10. Peta Rasio Konsentrasi Pb pada Tanah Lapisan Atas (5 cm) dan Bawah (25 cm)

Tabel 4. Hasil Perhitungan Nilai Indeks Geoakumulasi

Kode sampel	Lapisan atas		Lapisan tengah		Lapisan bawah	
	Pb	Cu	Pb	Cu	Pb	Cu
1	2,11	-0,63	1,95	-0,71	2,16	-0,76
2	1,69	-0,54	2,13	-0,63	2,13	-0,81
3	2,13	-0,54	1,99	-0,63	1,95	-0,67
4	2,16	-0,58	1,69	-0,58	2,13	-0,71
5	2,13	-0,50	1,95	-0,54	1,95	-0,63
6	2,16	-0,54	1,69	-0,67	2,13	-0,67
7	2,13	-0,63	2,13	-0,63	1,99	-0,71
8	1,95	-0,63	2,16	-0,63	1,69	-0,71
9	2,13	-0,58	2,13	-0,58	1,95	-0,76
10	2,13	-0,50	1,99	-0,63	1,95	-0,71
11	2,16	-0,58	1,69	-0,63	2,13	-0,63
12	2,13	-0,76	1,95	-0,76	2,11	-0,76
13	1,95	-0,01	2,34	-0,01	2,35	-0,07
14	2,18	0,07	2,20	0,04	1,95	0,07
15	2,16	-0,13	1,69	-0,29	1,97	-0,32
16	1,95	-0,43	2,16	-0,50	1,69	-0,50
17	1,95	-0,58	1,99	-0,63	2,16	-0,63
18	1,69	-0,13	1,95	-0,16	1,69	-0,22
19	1,95	0,09	2,16	0,04	1,74	0,01
20	2,34	0,12	2,35	0,04	2,18	-0,22
21	2,49	-0,54	2,13	-0,58	1,99	-0,63
22	1,95	-0,54	2,16	-0,58	1,69	-0,63
23	2,13	-0,43	2,13	-0,43	1,95	-0,47
24	1,95	-0,43	2,16	-0,58	1,69	-0,63
25	2,13	-0,63	2,13	-0,71	2,13	-0,67
26	2,16	-0,63	1,95	-0,63	2,16	-0,71
27	1,69	-0,58	2,13	-0,63	2,13	-0,63
28	1,95	-0,58	2,16	-0,54	1,69	-0,63
29	2,16	-0,43	1,69	-0,63	2,13	-0,63
30	2,13	-0,50	1,95	-0,58	2,16	-0,63
31	1,69	-0,54	1,95	-0,63	2,16	-0,71
32	1,69	-0,63	2,13	-0,63	2,13	-0,71
33	1,95	-0,63	2,16	-0,71	1,69	-0,76
34	1,95	-0,54	2,16	-0,63	1,69	-0,63
35	2,13	-0,47	2,13	-0,63	2,15	-0,71

3.7. Nilai Indeks Geoakumulasi (Igeo) Lokasi Penelitian

Nilai Igeo konsentrasi logam Cu dan Pb pada tanah disajikan pada Tabel 4. Secara umum, pada ketiga lapisan yang diteliti menunjukkan nilai Igeo yang sangat rendah (bernilai negatif) dan tergolong dalam kualitas tanah tidak tercemar, merujuk klasifikasi Muller 1969. Namun demikian, ada beberapa nilai Igeo untuk Cu yang bernilai positif antara 0 sampai dengan 1, atau menunjukkan pencemaran ringan pada lokasi yang dekat dengan aktivitas industri kerajinan (sampel 19 dan 20). Sedangkan untuk Pb, secara umum nilai Igeo menunjukkan nilai positif dengan kisaran 1 sampai dengan 2 menurut klasifikasi Muller 1969, yang menunjukkan bahwa telah terjadi pencemaran dengan tingkat sedang, baik di lapisan atas, tengah maupun bawah. Untuk lapisan atas, diduga berasal dari emisi kendaraan bermotor merujuk dari penelitian lain (Budianta 2012).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian terkait kondisi tanah terhadap konsentrasi logam berat di daerah industri kerajinan perak, dapat disimpulkan konsentrasi Cu dan Pb dalam tanah di daerah industri kerajinan perak Kotagede dan sekitarnya telah mengalami peningkatan yang ditandai dengan nilainya sudah berada di atas rata-rata nilai

background. Akan tetapi, konsentrasi Cu dan Pb masih berada di bawah baku mutu/nilai intervensi yang ditetapkan oleh Dutch Environmental Standard. Tanah pada daerah penelitian masih aman bila dimanfaatkan dalam jumlah tertentu. Akan tetapi, aktivitas industri kerajinan yang terus berkembang ini semakin lama akan menyebabkan akumulasi logam berat yang lebih banyak lagi di dalam tanah, sehingga jumlahnya akan terus meningkat dan tidak menutup kemungkinan akan melebihi nilai baku mutu. Oleh karena itu, dibutuhkan treatment khusus pada limbah sebelum dibuang untuk mencegah akumulasi yang semakin besar.

Faktor yang menyebabkan penyebaran unsur Cu dan Pb dalam tanah di daerah industri kerajinan perak diduga karena dua hal, yaitu faktor alami (geologi) dan antropogenik. Faktor alami (geologi) adalah sifat fisik dan kimia tanah berupa ukuran butir, pH, dan kandungan organik. Sedangkan faktor antropogeniknya adalah aktivitas industri kerajinan yang membuang limbah cair (mengandung logam berat) ke dalam tanah. Faktor geologi berupa morfologi (arah aliran run off) secara umum tidak memengaruhi penyebaran dan akumulasi logam berat secara horizontal karena sifat immobile yang mendominasi pada setiap unsur. Penyebaran masing-masing unsur juga dikontrol oleh faktor yang berbeda-beda, artinya tidak ditemukannya sifat

general yang memengaruhi penyebaran logam berat di dalam tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B. J. (2013). *Heavy Metals in Soils Trace Metals and Metalloids in Soils and Their Bioavailability* (Third Edition). New York: Springer Science & Business Media.
- ASTM D2487-06. Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purpose (Unified Soil Classification System).
- Balabane, M., & Van Oort, F. (2002). Metal enrichment of particulate organic matter in arable soils with low metal contamination. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(10), 1513-1516.
- Budianta, W. (2012). Lead Contamination in Soil of Yogyakarta City, Indonesia. *J. SE Asian Appl. Geol*, v. 4, p. 90-98.
- de Carlo, I. (2012). Pengaruh Limbah Cair Industri Pelapis Logam Terhadap Konsentrasi Cu, Zn, CN, Ni, Ag, dan SO₄ dalam Air Tanah Bebas di Desa Banguntapan, Bantul. *Dinamika Kerajinan dan Batik*, v. 32, p. 59-63.
- Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment. (2000). Circular on Target Values and Intervention Values for Soil Remediation. Belanda: Ministerie van Volkshuisvesting, p1-51.
- George, A., Venugopal, A., & Vashisht, A. K. (2023). Heavy metal contamination in soil and groundwater around industrial areas of Kollam District, Kerala, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(2), 265.
- Giyatmi, Kamal, Z., dan Melati, D. (2008) Penurunan Kadar Cu, Cr, dan Ag, dalam Limbah Cair Industri Perak di Kotagede Setelah Diadsorpsi dengan Tanah Liat dari Daerah Godean, dalam Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta, p. 99-106.
- Hasegawa, H., Rahman, I. M. M., dan Rahman, M.A. (2016). *Environmental Remediation Technologies for Metal-Contaminated Soils*. Jepang: Springer.
- Hendrayana, H., dan Maulana, F.Y. (2018). Zonation of Groundwater Pollution Risk at Yogyakarta-Sleman Groundwater Basin, Special Region of Yogyakarta.
- Kicińska, A., Pomykała, R., & Izquierdo-Diaz, M. (2022). Changes in soil pH and mobility of heavy metals in contaminated soils. *European Journal of Soil Science*, 73(1), e13203.
- Li, F., Fan, Z., Xiao, P., Oh, K., Ma, X., dan Hou, W. (2008). Distribution of Heavy Metal in Soils of an Old and Large Industrial Zone in Northeast China. Springer-Verlag.
- Muller G, 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2: 108-118.
- Nabila, H. R. (2022) Pencemaran Tanah oleh Logam Berat pada daerah Industri Kerajinan Perak di Kotagede, Kota Yogyakarta, Skripsi, Departemen Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada
- Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kesehatan Industri, Pelayanan Kesehatan, dan Jasa Pariwisata.
- Rahardjo, W. Sukandarrumidi, dan Rosidi H.M.D. (1995). *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Ren, H. M., Liu, J. S., Yu, J. B., & Zhang, X. L. (2006) Distribution of lead in urban soil and its potential risk in Shenyang City. China: *Chinese Geographical Science*, 16(2), 127-132.
- Sekarwati, N., Murachman, B., dan Sunarto. (2015). Dampak Logam Berat Cu (Tembaga) dan Ag (Perak) Pada Limbah Cair Industri Perak Terhadap Kualitas Air Sumur dan Kesehatan Masyarakat serta Upaya Pengendaliannya di Kotagede Yogyakarta. *Surakarta: Jurnal EKOSAINS Vol. VII No.1*, p. 64-76.
- Wilopo, W., Putra, D.P.E., dan Hendrayana, H. (2021). Impact of Precipitation, Land Use Change Urban Wastewater on Groundwater Level Fluctuation in the Yogyakarta-Sleman Groundwater Basin, Indonesia. *Springer Environ Monit Assess*.
- Wulaningsih, T. (2009). Karakteristik Abu Vulkanik Gunung Merapi dan Pengaruhnya terhadap Kesehatan Masyarakat di Kabupaten Sleman, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Skripsi, Universitas Gadjah Mada (tidak dipublikasikan).
- Zaw Aye, S.A., Hendrayana, H., Eka Putra, D.P., dan Sato, T. (2016). Determination of Lead Contamination in Urban Soil, Yogyakarta City, Indonesia. *Applied Mechanics and Materials*, v. 842, p. 473-477, doi:10.4028/www.scientific.net/amm.842.473.
- Zhang, Q., & Wang, C. (2020). Natural and human factors affect the distribution of soil heavy metal pollution: a review. *Water, air, & soil pollution*, 231, 1-13.
- Tomczyk, P., Wdowczyk, A., Wiatkowska, B., & Szymańska-Pulikowska, A. (2023). Assessment of heavy metal contamination of agricultural soils in Poland using contamination indicators. *Ecological Indicators*, 156, 111161.