

PENCEMARAN LOGAM BERAT PADA TANAH DI SEKITAR TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA) SAMPAH PIYUNGAN, BANTUL, YOGYAKARTA

Mufid Muyassar¹, Wawan Budianta^{2*}

^{1,2}Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

*Email : wbudianta@ugm.ac.id

Abstrak

Logam berat yang berasal dari dekomposisi sampah mempunyai dampak yang buruk bagi lingkungan terutama tanah dimana pencemar akan dapat terdistribusi baik secara lateral maupun vertikal oleh aliran air. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pencemaran tanah oleh logam berat yaitu Pb, Cu, Zn dan Cd di sekitar tempat pembuangan akhir (TPA) sampah di Piyungan, Bantul, Yogyakarta. Sampel tanah diambil secara intensif sebanyak 75 sampel yang diperoleh dari 15 titik pemboran. Sampel tanah diambil dari tiga zona yakni upper slope (PU) yang berada di atas TPA, zona interface (PI) yang berhubungan langsung dengan TPA dan zona downslope (PD) yang berada di bawah TPA. Sampel tanah yang langsung berhubungan dengan TPA sampah (sampel PI) menunjukkan konsentrasi logam berat yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian upper slope (PU) maupun downslope (PD) dari area TPA sampah. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa konsentrasi Pb Cu dan Zn dalam sampel tanah masih berada kondisi normal atau alamiah. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa secara umum, konsentrasi logam berat terakumulasi pada kedalaman 25 cm dan kemudian menurun pada kedalaman 50 cm sampai 100 cm. Kondisi lapangan menunjukkan bahwa infiltrasi dari air lindi sebagai hasil dari dekomposisi sampah merupakan sumber utama pencemaran logam berat pada tanah di daerah penelitian. Secara umum, sifat fisik dan kimia tanah di daerah penelitian mempunyai potensi yang cukup baik dalam menahan migrasi logam berat ke dalam tanah, namun demikian adanya perubahan besaran infiltrasi air hujan akan dapat berpotensi memobilisasi logam berat sehingga dapat mencemari airtanah dalam jangka waktu yang lama.

Kata kunci: pencemaran, logam, tanah, sampah, tpa

Abstract

Heavy metal leaching from waste disposal sites severely impacts the environment, especially on soil distributed vertically or laterally by water flow. The study investigates soil contamination by heavy metals, namely Pb, Cu, Zn, and Cd, around the Piyungan waste disposal site in Bantul, Yogyakarta. Seventy-five (75) soil sample was obtained systematically from the 15 boreholes in the study area. The location of the borehole is located in three-zone, namely the upper slope (PU), interface (PI), and downslope (PD) zone. The upper slope and downslope were not located in the near waste disposal site, where the interface zone was located around waste disposal. The soil sample analysis result shows that the heavy metals concentration in the soil found in the PI zone was higher than PU and PD zone. The study results show that the Pb, Cu, and Zn concentration in the soil sample was in average value or natural condition. The work also indicates that heavy metals concentration was higher and accumulated in the surface soil in 0-25 cm depth and later decreased to 100 cm depth. The field situation shows that the infiltration of leachate due to waste decomposition was the primary source of heavy metals contaminant. In general, soil's physical and chemical properties in the study area have a sufficient ability to retain heavy metals migration down to the soil profile. However, the change of infiltration caused by high rainfall will affect the heavy metals' mobility, which has a potential for groundwater contamination in the extended period.

Keywords: soil, contamination, heavy, metal, waste

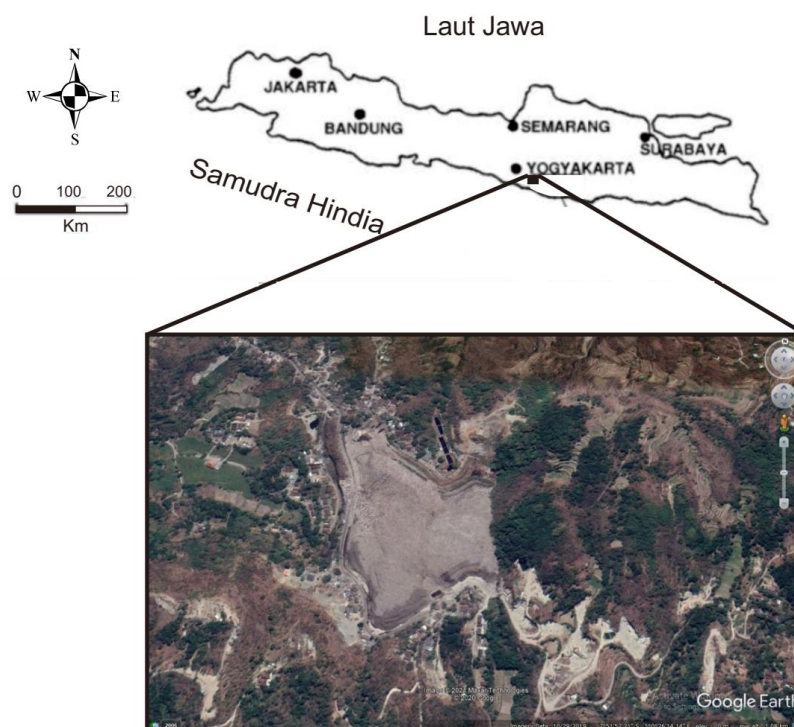
1. Pendahuluan

Salah satu teknik yang paling populer di berbagai negara dalam pengolahan limbah padat perkotaan (*municipal solid waste*) adalah dengan melakukan penimbunan atau *landfilling* [1]. Selain untuk mengurangi limbah padat di daerah perkotaan, metode *landfill* yang biasanya dibangun sebagai Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah juga dapat berdampak negatif terhadap lingkungannya [2][3]. Sampah yang dibuang ke TPA akan mengalami pembusukan, oksidasi, dekomposisi dan menghasilkan air lindi (*leachate*) [4]. Ion-ion logam yang dilepaskan dari air lindi akan terdistribusi ke

daerah sekitarnya melalui gerakan permukaan (lateral) atau bawah permukaan (vertikal) ke dalam profil tanah. Hal ini akan terjadi di sekitar TPA yang konstruksinya tersusun oleh tanpa bahan pelapis (*liner*) yang tepat atau ketika bahan pelapis rembes atau bocor [5]. Penelitian mengenai pencemaran tanah di sekitar TPA oleh logam berat di lingkungan sekitar TPA sudah banyak dilakukan dan hasilnya menunjukkan telah terjadi pencemaran logam berat dalam tanah [6][7][8].

TPA Piyungan merupakan salah satu TPA yang menerapkan sistem *controlled landfill* dalam pengelolaan sampah yang merupakan pengembangan dari sistem *open dumping* [9]. Namun, kehadiran TPA Piyungan diindikasikan memiliki dampak bagi lingkungan sekitar termasuk pencemaran terhadap tanah karena adanya konsentrasi logam berbahaya pada sampah seperti Pb, Cu, Zn dan Cd [10][11]. Semakin meningkatnya volume sampah di TPA Piyungan akan dapat mencemari tanah melalui air lindi, sehingga potensi tercemarnya tanah di wilayah sekitar TPA Piyungan semakin besar. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa secara umum, telah terjadi pencemaran air tanah oleh logam berat di sekitar TPA Piyungan [12][13][14][15][16]. Penelitian mengenai pencemaran tanah di daerah penelitian, pernah dilakukan peneliti lain tahun 2011[17], dan hasilnya menunjukkan bahwa tanah di sekitar TPA Piyungan telah mengalami pencemaran oleh logam berat namun hanya terbatas pada parameter Pb dan Zn dengan jumlah sampel yang terbatas. Seiring pertambahan volume sampah di TPA Piyungan sampai dengan saat ini, tentunya akan meningkatkan potensi pencemaran oleh logam berat. Dengan mengetahui kondisi pencemaran yang ada saat ini, instansi terkait diharapkan lebih dapat mengontrol proses pengolahan sampah untuk mengurangi tingkat pencemaran tanah oleh logam berat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi terkini mengenai konsentrasi logam berat di tanah TPA dengan parameter logam berat yang lebih luas yaitu Pb, Cu, Zn dan Cd. Lokasi penelitian terletak pada sekitar area TPA Piyungan di Dusun Ngablak, Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta yang ditunjukkan oleh Gambar 1.

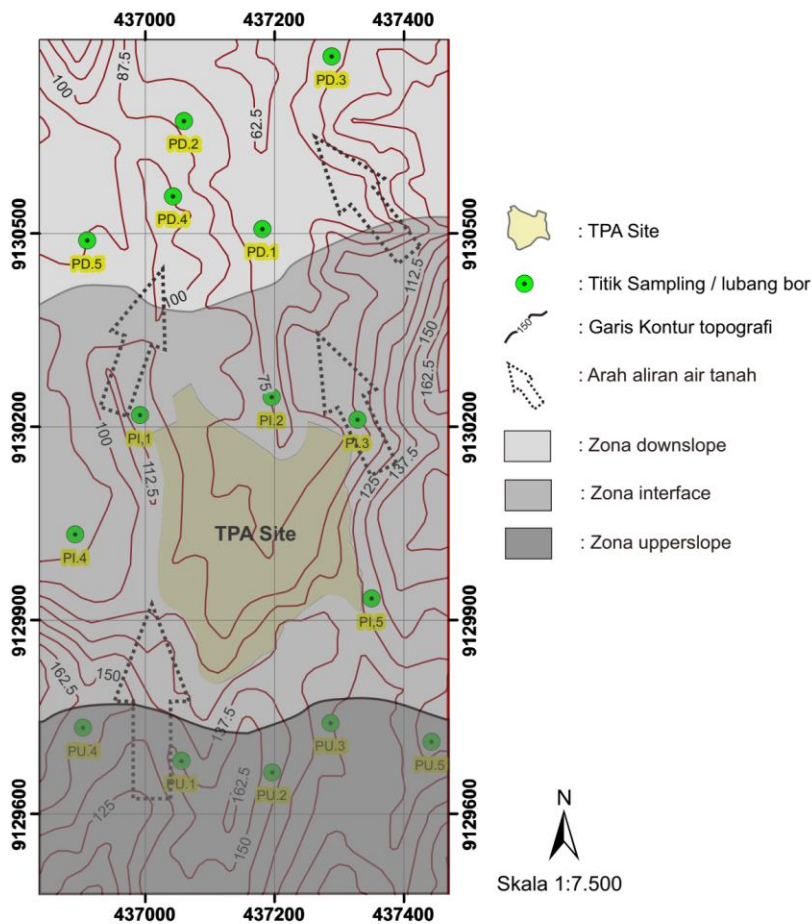


Gambar 1. Lokasi penelitian

2. Metode Penelitian

Berdasarkan kondisi morfologi, daerah penelitian dapat dibagi menjadi tiga zona, yaitu Piyungan Piyungan *Upper slope* (PU), Piyungan *Interface* (PI), dan *Downslope* (PD) seperti ditunjukkan pada gambar 2. Pembagian 3 zona tersebut berdasarkan pada elevasi dan kedudukan tiap zona terhadap posisi lokasi TPA. Piyungan *Downslope* (PD) merupakan zona yang mempunyai elevasi lebih rendah daripada TPA dan Piyungan *Upslope* (PU) merupakan zona yang mempunyai elevasi lebih tinggi daripada TPA. Sedangkan Piyungan *Interface* (PI) merupakan zona yang berada sangat dekat atau berbatasan langsung

dengan lokasi TPA (Gambar 2). Informasi arah aliran airtanah diperoleh dari peneliti sebelumnya [16] yang dapat dilihat pada Gambar 2. Arah aliran air tanah ini menjadi faktor penting untuk mengetahui arah migrasi pencemar dari sumbernya.



Gambar 2. Lokasi pengambilan sampel

Untuk analisis logam berat, pada setiap zona diambil 5 titik sampling (P_{U,I,D}-1 – P_{U,I,D}-5) yang tersebar merata (Gambar 2). Sedangkan pada setiap titik sampling, dilakukan pengeboran dan dibagi menjadi 5 interval kedalaman yaitu 0 cm (tanah permukaan), 25 cm, 50 cm, 75 cm, dan 100 cm. Sampel tanah yang diambil dari setiap interval sebanyak 0,5 kg kemudian dimasukkan ke dalam plastik sampel dan dipersiapkan untuk dilakukan analisis laboratorium, setelah sebelumnya dikeringkan dalam suhu ruangan selama kurang lebih satu minggu.

Analisis logam berat sampel tanah dilakukan dengan melakukan homogenisasi sampel tanah dengan menggunakan *agate mortar* dan *pestle*, kemudian dilakukan pengayakan untuk memperoleh sampel yang halus (<2 mm). Sampel yang diperoleh kemudian dilakukan proses disolusi dengan menggunakan microwave sebelum dilakukan analisis konsentrasi logam berat [18], dimana pengukuran dilakukan dengan menyiapkan 1.0 gram sampel tanah yang ditempatkan dalam 250-mL botol polikarbonat. Kemudian, 2.0 mL asam nitrat (HNO₃) ditambahkan, diikuti dengan 5.0 mL campuran 7:3 asam klorida dan asam fluorida (HCl-HF). Sampel kemudian dimasukkan ke dalam oven microwave dan dipanaskan pada daya 650 watt selama 15 menit. Setelah didinginkan, larutan 40 mL asam borat 1.5% (H₃BO₃) ditambahkan pada setiap botol sampel, dan kemudian dimasukkan kembali ke dalam oven dan dipanaskan kembali pada daya 650 watt selama 15 menit. Setelah didinginkan pada suhu ruangan, larutan sampel kemudian disaring dengan filter 0.45µm dan dianalisis dengan menggunakan *inductively coupled plasma emission* (ICP-AES). Semua konsentrasi hasil analisis mempunyai satuan mg/kg.

Pengambilan sampel juga dilakukan pada tiga zona morfologi (PU, PI dan PD) pada kedalaman 10 cm sebanyak 5 kg masing masing sampel, untuk dilakukan analisis fisik dan kimia, serta satu sampel dari zona PU dilakukan analisis mineralogi. Analisis ukuran butir sampel tanah dilakukan dengan metode

ayakan dan hidrometer [19] sedangkan nilai porositas (\emptyset) dan densitas (ρ_b) dihitung dari nilai berat jenis (Gs) dengan menggunakan persamaan dari peneliti lain [20]. Permeabilitas (k) sampel tanah diukur dengan metode *falling head* mengacu pada peneliti sebelumnya [21]. Analisis kandungan organik sampel tanah dilakukan dengan metode titrasi dan kolorimetri mengacu pada Walkley dan Black [22] dan pH sampel tanah diukur dengan mengacu pada Conklin [23]. Analisis mineralogi sampel tanah dilakukan dengan metode difraksi sinar X (*X-ray diffraction*) yang meliputi analisis sampel *bulk*, *air dried*, *ethelyn glycol* dan *heated 550°* [24].

3. Hasil dan Analisis

3.1 Geologi daerah penelitian

Menurut peneliti terdahulu [16] batuan penyusun di daerah TPA Piyungan dan sekitarnya adalah dari tua ke muda tersusun oleh satuan batupasir-batulempung tufan, breksi andesit, breksi batuapung dan endapan aluvial. Satuan batupasir-batulempung tufan tersingkap paling luas di daerah penelitian, dimana batupasir ini berwarna abu-abu kecoklatan, tekstur klastik, berlapis, kemas terbuka, sortasi jelek, dan ukuran butir dari pasir sedang hingga kasar. Tanah penutup dari satuan ini berupa pasir lempungan dan lempung pasiran berwarna coklat kemerahan, plastis dan lunak. Satuan breksi andesit merupakan breksi autoklastik dari aliran lava. Fragmen dan matrik dari breksi andesit ini memiliki komposisi yang sama, berwarna abu-abu kehitaman, porfiritik, bersifat masif dan keras, bentuk fragmen meruncing sampai lonjong. Tanah penutup dari breksi andesit ini berukuran lempung pasiran, berwarna coklat kemerahan, plastis dan lunak. Satuan breksi batuapung ini pada bagian atas berupa perselingan breksi batuapung dan batupasir tufan dengan dominasi breksi batuapung, dan bagian bawahnya adalah batupasir tufan. Breksi batuapung ini secara makro berwarna abu-abu, tekstur klastik, kemas terbuka, sortasi jelek, masif dan keras. Tanah penutup dari breksi batuapung ini berukuran lempung pasiran, berwarna coklat kemerahan, plastis dan lunak. Satuan endapan aluvial menempati morfologi lembah dan daratan. Satuan ini hasil pengendapan dari hasil erosi batuan dari morfologi perbukitan. Secara makro endapan aluvial ini berwarna coklat keabuan-kehitaman, ukuran butir pasir lempungan, terdapat fragmen-fragmen batuan berukuran kerikil, sortasi jelek, pada bagian bawah terdapat kenampakan pasir berlapis seperti hasil pengendapan fluvial, belum terkompaksi dan mudah diremas. Satuan ini mengisi lembah dan bukit dengan ketebalan >3 meter.

3.2 Sifat fisik dan kimia tanah

Hasil analisis sifat fisik sampel tanah di lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Distribusi ukuran butir menunjukkan nilai bahwa sampel mempunyai kandungan fraksi kasar (kerikil-pasir) dengan sekitar 40% dan kandungan fraksi halus (lanau-lempung) sebesar 60%.

Tabel 1. Parameter fisik sampel tanah

Sampel	ukuran butir (%)				parameter			
	kerikil	pasir	lanau	lempung	ρ_b (g/cm ³)	Gs (g/cm ³)	\emptyset (%)	k (m/det)
PU	1	34	48	17	1.22	2.56	45	1.2 x 10 ⁻⁸
PI	1	39	44	16	1.41	2.51	47	4.6 x 10 ⁻⁸
PD	2	27	51	20	1.32	2.54	44	8.2 x 10 ⁻⁸

ρ_b = densitas; Gs = berat jenis; \emptyset = porositas; k = permeabilitas

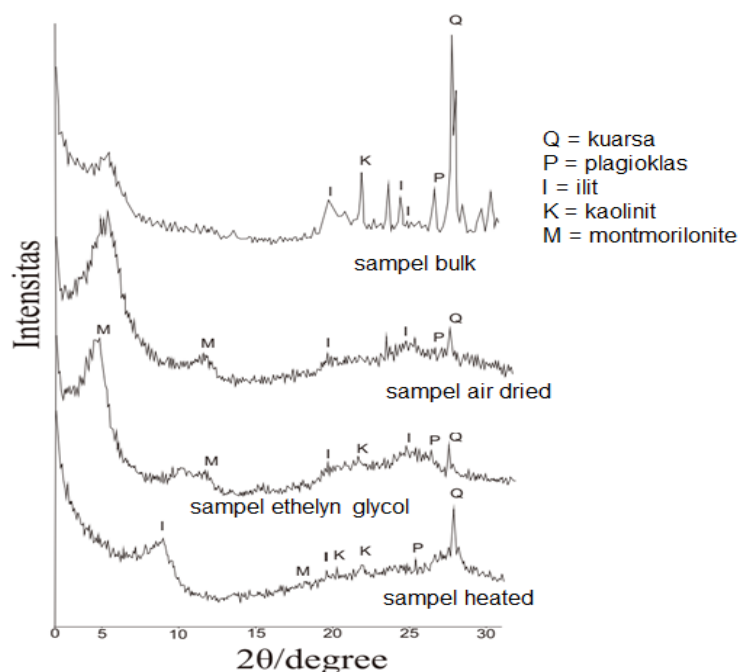
Sampel tanah juga menunjukkan adanya nilai porositas yang cukup rendah sekitar 40%. Berat jenis tanah menunjukkan nilai sekitar 2.50 g/cm³ dengan rata-rata sebesar 2.55 g/cm³. Nilai permeabilitas sampel tanah mempunyai nilai rata-rata sekitar 4.4 x 10⁻⁸ m/det yang menunjukkan nilai yang relatif kecil.

Sampel tanah yang diambil dari lokasi (sampel PU, PI dan PD) mempunyai pH yang berkisar antara 5.4 sampai dengan 6.1 (Tabel 2). Tidak ada perbedaan nilai pH yang signifikan, kecuali pada sampel PD yang menunjukkan adanya sedikit kenaikan nilai pH untuk sampel PD. Sampel tanah dari lokasi mempunyai nilai KTK berkisar antara 14.3 meq/100 gram sampai dengan 16.7 meq/100 gram (Tabel 2). Kandungan organik pada sampel berkisar antara 6.81% sampai dengan 7.21% yang menunjukkan nilai sedang menurut Metson [25]

Tabel 2. Parameter kimia sampel tanah

Parameter	Nilai
pH	
upper slope (PU)	5.4
interface (PI)	5.8
downslope (PD)	6.1
Kandungan organik (%)	
upper slope (PU)	6.81
interface (PI)	6.98
downslope (PD)	7.21
Kandungan mineral lempung ¹ (sampel PU)	I>M>K
Kapasitas tukar ion KTK (meq/100 gram)	
upper slope	14.3
interface	16.7
downslope	16.4

¹ K = kaolinit; I = ilit; M = montmorilonit

**Gambar 3.** Hasil analisis difraksi sinar X sampel PU

Kuarsa, plagioklas, kaolinit dan ilit dapat dideteksi dari difraktogram hasil analisis difraksi sinar X pada sampel tanah (sampel PU) (gambar 3). Ilit merupakan mineral lempung yang kemungkinan dominan dijumpai pada sampel, terdeteksi pada sampel *bulk* maupun sampel dengan perlakuan *air dried*, *ethelyn glycol* dan *heated 550°*. Hal ini bisa diamati dari adanya beberapa refleksi difraktogram pada nilai $2\theta = 19.6^\circ$ dan 24.9° . Mineral montmorilonite hanya hadir pada sampel dengan perlakuan *air dried*, *ethelyn glycol* dan *heated 550°* dengan nilai $2\theta = 4.8^\circ$; 11.8° dan 17.6° [26]. Mineral kaolinit hanya dijumpai pada sampel dengan perlakuan *ethelyn glycol* dan *heated 550o* dengan nilai $2\theta = 21.8o$.

3.3 Konsentrasi logam berat

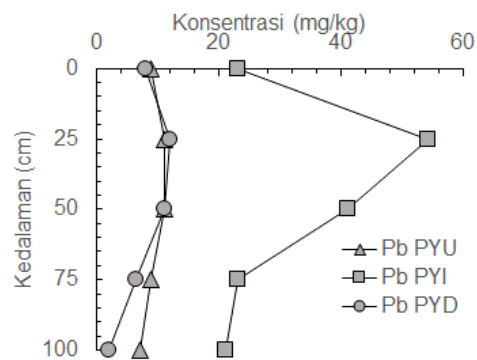
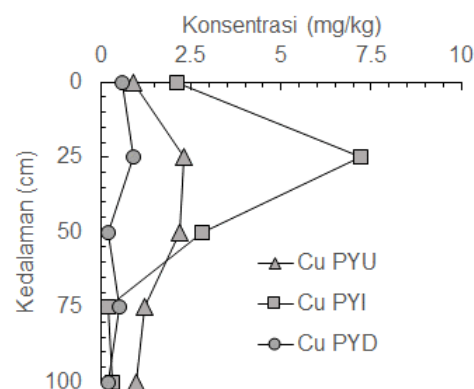
Konsentrasi logam berat dalam sampel tanah yang diambil mempunyai kontribusi yang penting dalam menilai tingkat pencemaran tanah di lokasi penelitian. Hasil pengukuran konsentrasi logam berat pada sampel serta migrasi vertikal konsentrasi logam berat dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 4 sampai 7.

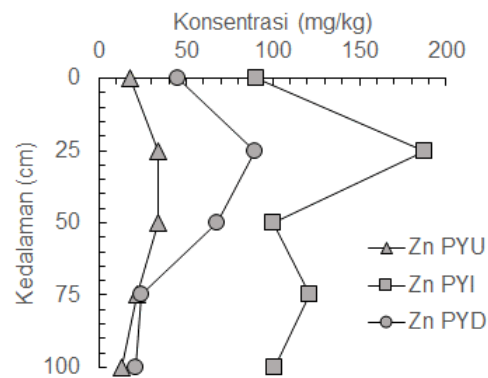
Tabel 3. Konsentrasi logam berat dalam sampel tanah

Parameter (mg/kg)	Rata-rata ± standar deviasi ¹
Pb upper slope	9.6 ± 0.52
Pb interface	31.2 ± 1.22
Pb downslope	10.7 ± 0.98
Cu upper slope	1.7 ± 0.11
Cu interface	3.4 ± 0.21
Cu downslope	1.9 ± 0.10
Zn upper slope	32.1 ± 2.1
Zn interface	101.2 ± 9.8
Zn downslope	71.2 ± 2.2
Cd upper slope	0.7 ± 0.09
Cd interface	2.7 ± 0.13
Cd downslope	0.8 ± 0.02

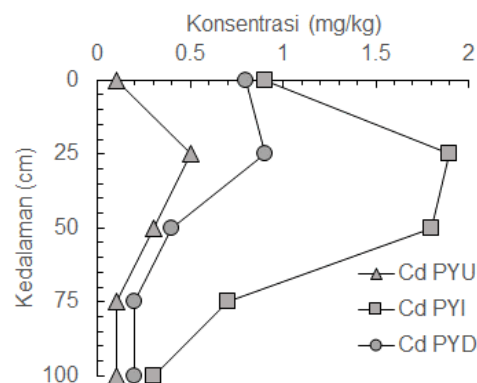
¹n = 5

Secara umum, konsentrasi Pb, Cu, Zn dan Cd mempunyai nilai yang lebih tinggi pada zona *interface* (PI), dimana konsentrasi Pb, Cu, Zn dan Cd pada zona *upper slope* (PU) dan *downslope* (PD) lebih rendah. Konsentrasi logam berat juga terlihat mengalami peningkatan atau terakumulasi pada lapisan tanah di bagian atas (0-25 cm), namun kemudian konsentrasi tersebut menurun sampai dengan kedalaman 100 cm.

**Gambar 4.** Konsentrasi Pb vs. kedalaman lapisan tanah**Gambar 5.** Konsentrasi Pb vs. kedalaman lapisan tanah



Gambar 6. Konsentrasi Pb vs. kedalaman lapisan tanah



Gambar 7. Konsentrasi Pb vs. kedalaman lapisan tanah

4. Pembahasan

Sifat fisik dan kimia tanah akan mempengaruhi nilai permeabilitas yang akan mempunyai efek yang penting dalam pergerakan pencemar di dalam tanah [27][28]. Tekstur tanah di lokasi penelitian secara umum merupakan tanah pasir lempungan dengan kandungan lempung sekitar 17%. Partikel lempung akan berperan dalam struktur tanah membentuk lapisan penghalang yang mempengaruhi karakteristik keteknikan tanah [29][30]. Karakteristik ini juga dipengaruhi oleh nilai porositas tanah dimana semakin besar porositas akan semakin besar pula kemampuan untuk menyimpan air dalam tanah. Tanah di lokasi penelitian secara umum mempunyai tekstur halus dengan kandungan lempung sekitar 40%, sehingga berkemampuan menyimpan air lebih banyak. Adanya variasi yang cukup signifikan dalam ukuran butir pada tanah di lokasi penelitian, mengindikasikan bahwa tanah di lokasi ini secara umum tidak berasal dari lapukan batuan induk saja namun juga berasal dari deposisi material lain dari aktivitas manusia [31]. Tekstur pasir lempungan pada tanah di lokasi penelitian dapat menjadi penghalang pencemar, namun curah hujan yang tinggi dapat membuat pencemar mempunyai potensi untuk infiltrasi ke dalam akuifer air tanah [32].

Nilai berat jenis yang cukup rendah kurang dari 2.60 g/cm³ menunjukkan bahwa kehadiran organik secara signifikan berpengaruh. Hal ini dikonfirmasi dengan nilai kandungan organik sampel tanah di lokasi penelitian berkisar antara 6.0-7.0% atau bernilai sedang. Hasil pengukuran permeabilitas sampel tanah di lokasi penelitian menunjukkan nilai yang kecil. Hal ini dimungkinkan karena merujuk pada hasil analisis ukuran butir yang menunjukkan bahwa fraksi berbutir halus (lanau-lempung) pada sampel mempunyai nilai >50%. Kandungan fraksi berbutir halus pada tanah secara umum akan mempengaruhi nilai permeabilitas [33]. Namun demikian, nilai permeabilitas tanah hasil pengukuran di laboratorium biasanya akan bernilai lebih rendah daripada nilai permeabilitas sesungguhnya di lapangan [34]. Nilai pH pada sampel tanah di lokasi penelitian berkisar antara 5.0 – 6.0. Nilai pH yang lebih rendah dari normal akan mempengaruhi kelarutan logam berat dalam tanah [35].

Secara umum, tanah di lokasi penelitian tersusun oleh lapukan batuan vulkanik yang belum terkonsolidasi dan mengandung kandungan organik sedang. Hal ini yang mempengaruhi nilai pH tanah di

lokasi penelitian yang bernilai mendekati normal dan diduga akan kurang berperan dalam mempengaruhi migrasi pencemar dalam tanah. Kandungan mineral lempung pada tanah di lokasi penelitian secara umum didominasi oleh mineral ilit dan juga kehadiran mineral montmorilonit secara minor. Mineral montmorilonit ini akan mempunyai efek yang cukup signifikan dalam mempengaruhi karakteristik fisik dan kimia tanah [36]. Kehadiran mineral montmorilonit dalam tanah di lokasi penelitian akan mempunyai pengaruh yang cukup signifikan dalam menghalangi migrasi pencemar di dalam tanah. Hal ini disebabkan oleh kapasitas tukar kation dan luas permukaan spesifik yang besar yang dimiliki oleh mineral montmorilonit [36], yang akan berpengaruh terhadap kemampuan penjerapan terhadap logam berat yang dihasilkan oleh sumber pencemar dalam hal ini adalah sampah dari TPA Piyungan.

Untuk menganalisis potensi resiko pencemaran logam berat dalam tanah di lokasi penelitian, yang perlu diketahui sebelumnya adalah adanya konsentrasi latar belakang (background) logam berat di dalam tanah secara umum di lokasi. Dari hasil analisis, maka konsentrasi logam berat dalam sampel tanah di zona upper slope (PU) dapat dianggap sebagai sampel background, karena diasumsikan tidak tercemar oleh kontaminan yang berasal dari sampah di TPA.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum terjadi kenaikan konsentrasi logam berat pada sampel tanah di zona interface (PI), seperti ditunjukkan pada tabel 3 dan gambar 4 sampai 7. Secara umum, konsentrasi logam berat dijumpai meningkat atau terakumulasi pada lapisan atas 0-25 cm. Hal ini diperkirakan karena pada lapisan tanah bagian atas, terakumulasi kandungan organik maupun mineral lempung yang mempunyai sifat dapat menyerap logam berat secara signifikan, dimana fenomena ini dikonfirmasi oleh beberapa penelitian lain [37] [38].

Hasil pengukuran konsentrasi logam berat menunjukkan bahwa semua logam berat baik Pb, Cu, Zn dan Cd, mempunyai kecenderungan mengalami peningkatan pada zona interface (PI), yang diduga berasal dari sampah TPA Piyungan sebagai sumber pencemar. Distribusi vertikal Pb, Cu, Zn dan Cd pada tanah di lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 4 sampai 7. Secara umum, distribusi vertikal menunjukkan adanya kenaikan konsentrasi logam berat pada kedalaman 25 cm, dan menurun seiring dengan kedalaman sampai dengan 100 cm. Adanya peningkatan konsentrasi logam berat ini diduga berasal dari limpasan air lindi yang dihasilkan oleh dekomposisi sampah di TPA. Walaupun dekomposisi sampah dari TPA mempunyai dampak yang signifikan terhadap tanah disekitarnya, namun hal yang perlu diketahui adalah adanya perbedaan perilaku tiap logam berat yang tidak sama. Hal ini dapat dilihat dari gambar 4 sampai 7, dimana Cu dan Pb terlihat lebih mudah tertahan oleh lapisan tanah dibandingkan dengan Zn dan Cd. Hal ini diduga karena Pb dan Cu mempunyai sifat kimia yang berbeda dengan Zn dan Cd, dimana Cu dan Pb mempunyai nilai elektronegativitas yang lebih tinggi dibandingkan Zn dan Cd. Adanya perbedaan nilai elektronegativitas ini akan mempengaruhi penjerapan logam berat di dalam media penjerap tanah.

Namun demikian, secara umum dari gambar 4 sampai 7, menunjukkan bahwa lapisan tanah di lokasi penelitian cukup efektif menahan pergerakan (migrasi) logam berat, hal ini terlihat adanya penurunan konsentrasi logam berat mulai kedalaman 50 cm sampai 100 cm. Adanya kandungan mineral lempung, terutama montmorilonit diduga memberikan kontribusi yang signifikan terhadap daya jerap lapisan tanah untuk menahan migrasi logam berat.

Secara umum, semua konsentrasi logam berat dalam tanah di lokasi penelitian masih berada dalam ambang kondisi normal, terutama Pb, Cu dan Zn, yang didefinisikan oleh berbagai sumber, seperti yang ditunjukkan oleh tabel 4. Untuk Cd, nilai sudah berada di atas ambang batas normal. Tingginya konsentrasi Cd ini diduga berasal dari sampah logam, yang terdapat di TPA Piyungan. Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa persentase logam, termasuk berasal dari baterai dan akumulator, dari total sampah yang diteliti di TPA Piyungan mencapai sekitar 0.5% [39]. Keberadaan logam yang lain terutama Pb, Cu dan Zn juga diperkirakan berasal dari sampah, karena jenis logam tersebut ditemukan dalam air lindi dengan konsentrasi yang melebihi ambang batas baku mutu limbah [15].

Tabel 4. Konsentrasi normal logam berat pada tanah (mg/kg)

Parameter	Alloway [40]	Bradford [41]	Wang and Wang [42]
Pb	12-20	48.5	25.5
Cu	60	28.7	23.6
Zn	102-200	149	86.1
Cd	0.01-0.2	0.36	0.13

Meskipun parameter logam berat masih berada dalam ambang normal, mobilitas logam berat pada tanah di lokasi penelitian dapat meningkat seiring dengan adanya infiltrasi air hujan dan dalam jangka panjang akan dapat mencemari lapisan akuifer airtanah.

4. Kesimpulan

Tanah di sekitar lokasi tempat pembuangan akhir (TPA) sampah Piyungan, Bantul, Yogyakarta diselidiki untuk mengetahui sejauh mana tingkat pencemaran oleh logam berat terutama Pb, Cu, Zn dan Pb. Sifat fisik dan kimia tanah dianalisis serta dilakukan pula pengukuran konsentrasi logam berat pada 75 sampel tanah untuk mengetahui bagaimana migrasi logam berat dalam tanah secara vertikal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum tanah di lokasi penelitian mempunyai tekstur pasir lempungan dengan kandungan organik sedang serta mengandung mineral lempung yang didominasi oleh mineral ilit dan ditemukan sedikit mineral montmorilinit.

Secara umum, konsentrasi logam berat terakumulasi pada lapisan atas tanah dan kondisi tanah di tempat pembuangan akhir (TPA) sampah mempunyai kapasitas yang cukup baik untuk melindungi migrasi logam berat dari sumber pencemar yang dihasilkan oleh air lindi sampah. Dikarenakan sampah di lokasi penelitian dibuang langsung tanpa adanya lapisan kedap di bawahnya (liner), semua pencemar termasuk logam berat mempunyai potensi untuk mencemari air tanah melalui lapisan tanah di atasnya. Jalur pergerakan (migrasi) pencemar melalui lapisan tanah, akan dipercepat dengan adanya infiltrasi air hujan yang tinggi yang membuat sifat logam berat menjadi lebih termobilisasi. Secara umum, tanah di zona downslope (PD) juga menunjukkan konsentrasi logam berat yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah di zona upper slope (PU), yang diduga telah terjadi migrasi logam berat ke bagian zona downslope. Hasil dari penelitian ini dapat menjadikan informasi yang penting dalam pengelolaan lingkungan di sekitar TPA Piyungan untuk melindungi air tanah di lokasi penelitian dan sekitarnya.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan kepada Departemen Teknik Geologi Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan dana penelitian. Penulis juga mengucapkan kepada *Tokyo Institute of Technology*, Jepang, atas fasilitas yang diberikan untuk analisis sampel.

Daftar Pustaka

- [1] Tchobanoglous, G., Theisen, H., dan Vigil, S., *Integrated solid waste management: Engineering principles and management Issues*, McGraw-Hill. 1993
- [2] Vaverková, M.D. Landfill Impacts on the Environment. *Geosciences*. 2019; 9 (10), 431.
- [3] Gworek, B., Dmuchowski, W., Koda, E., Marecka, M., Baczevska, A.H., Brągoszewska, P., Siczka, A., dan Osiński, P., Impact of the Municipal Solid Waste Lubna Landfill on Environmental Pollution by Heavy Metals, 2016; *Water*, 8, 470.
- [4] Fagbenro, O. K. Leachate pollution and impact to environment: Control and treatment of landfill leachate for sanitary waste disposal, IGI Global. 2016
- [5] Agamuthu, P. Heavy Metal Contamination of Soil-Derived Interstitial Water In The Coastal Regions of Selangor, Malaysia. *Malaysian Journal of Science*. 2001; 20(1), 127-134.
- [6] Bahaa-Eldin, E. A. R., Yusoff, I., Rahim, S. A., Wan Zuhairi, W. Y., dan Abdul Ghani, M. R., 2008, Heavy metal contamination of soil beneath a waste disposal site at Dengkil, Selangor, Malaysia, *Soil & Sediment Contamination*. 2008; 17(5), 449-466.
- [7] Azeez, J. O., Hassan, O. A., dan Egunjobi, P. O. Soil contamination at dumpsites: implication of soil heavy metals distribution in municipal solid waste disposal system: a case study of Abeokuta, Southwestern Nigeria, *Soil and Sediment Contamination*. 2011; 20(4), 370-386.
- [8] Liu, C., Cui, J., Jiang, G., Chen, X., Wang, L., dan Fang, C., Soil heavy metal pollution assessment near the largest landfill of China, *Soil and Sediment Contamination, An International Journal*, 2013; 22(4), 390-403.
- [9] Ariyani, S. F., Putra, H. P., Damanhuri, E., dan Sembiring, E. *Evaluation of Waste Management in Piyungan Landfill, Bantul Regency*, Yogyakarta, Indonesia. MATEC Web of Conferences, 2019; Vol. 280, p. 05018.
- [10] Lokahita, B., Samudro, G., Huboyo, H. S., Purnama, H., Hidayat, A., dan Takahashi, F. *Landfill Waste Composition From Two Landfill Sites In Indonesia*, Proceedings of the Annual Conference of Japan Society of Material Cycles and Waste Management The 29th Annual Conference of Japan Society of Material Cycles and Waste Management. 2018; p. 611
- [11] Sihombing, A. L., dan Darmawan, R. Municipal Solid Waste Characteristic and Energy Potential in Piyungan Landfill. *Applied Mechanics and Materials*. 2020; Vol. 898, pp. 58-63
- [12] Harjito, H., Suntoro, S., Gunawan, T., dan Maskuri, M., Underground Leachate Distribution Based on Electrical Resistivity in Piyungan Landfill, Bantul, Indonesian Journal of Geography. 2018; 50(1), 34-40.

- [13] Sartohadi, J., Widyastuti, M., dan Lestari, I. S., Spreading of Groundwater Contaminated by Leached in the Surrounding Area of Piyungan Landfill Bantul District, Yogyakarta Province, *Forum Geografi*, 2017; Vol. 19, No. 1, pp. 16-29
- [14] Parhusip, J. A., Harijoko, A., Putra, D. P. E., dan Suryanto, W., Assessment of leachate infiltration from Piyungan landfill using electrical resistivity 3D method, *AIP Conference Proceedings*, 2017; Vol. 1861, No. 1, p. 030008
- [15] Ramadhan, F., Prasasti D.R, F., Firizqy, F., dan Nugroho Adji, T, Pendugaan Distribusi Air Lindi dengan Geolistrik Metode ERT di TPA Piyungan, Bantul, DIY, *Majalah Geografi Indonesia*, 2019; Vol. 33 No. 1, pp. 1-8.
- [16] Parhusip, J. A., Harijoko, A., Putra, D. P. E., dan Suryanto, W, The Effect of Differences Leachate Concentration and Material Properties on Electrical Conductivity of Volcanic Deposits, Case Studies Piyungan Landfill Bantul Yogyakarta, *Journal of Applied Geology*, 2016; Vol. 1, No. 1, pp. 1-4.
- [17] Setyoningrum, H., Hadisusanto, S., & Yuniyanto, T. (2014). Kandungan Kadmium (Cd) pada Tanah dan Cacing Tanah di TPAS Piyungan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta (Cadmium (Cd) Content in Soil and Earthworms in Piyungan Controlled Landfill Municipal Waste Disposal, Bantul Yogyakarta Special District), *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 2014; Vol. 21, No. 2, pp. 149-155
- [18] Lamthothe, P.J., Fries, T.L., and Consul, J.J. Evaluation of a microwave oven system for the dissolution of geologic samples. *Analytical Chemistry*. 1986; 53, 1886–1887
- [19] American Standard for Testing Materials. Standard test method for particle size analysis of soils. ASTM D422-63; 2002
- [20] McCauley, C.A., White, D.M., Lilly, M.R., and Nyman, D.M. A comparison of hydraulic conductivities, permeabilities and infiltration rates in frozen and unfrozen soils. *Cold Regions Science and Technology*. 2002; 34, 117–125.
- [21] Head, K. H. *Manual of soil laboratory testing* (Vol. 1, No. 2). London: Pentech Press. 1980
- [22] Walkley, A. dan Black, I.A., An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 1943; (37):29-38
- [23] Conklin, A. R. *Introduction to soil chemistry: Analysis and instrumentation*. John Wiley & Sons. 2013
- [24] Poppe, L.J., Paskevich, V.F., Hathaway, J.C., and Blackwood D.S. *A Laboratory Manual for X-ray Powder Diffraction*, U.S. Geological Survey Open-File Report 01-041, CD-ROM, 2001
- [25] Metson, A.J. *Methods of Chemical Analysis for Soil Survey Samples*, Soil Bureau Bulletin 12, New Zealand. 1961
- [26] Bayliss, P., Gerry, L. G., Morse, M. E., and Smith, D. K. *Selected Powder Diffraction for Minerals*. JCPDS International Center for Diffraction Data, Swarthmore, PA. 1981
- [27] Yong, R. N., and Mulligan, C. N. *Natural attenuation of contaminants in soils*. CRC Press. 2003
- [28] Kanmani, S., and Gandhimathi, R. Assessment of heavy metal contamination in soil due to leachate migration from an open dumping site. *Applied Water Science*. 2013; 3(1), 193-205.
- [29] Bell, F. G. *Engineering properties of soils and rocks*. Elsevier. 2013
- [30] Shimobe, S., dan Spagnoli, G. Some generic trends on the basic engineering properties of fine-grained soils. *Environmental Earth Sciences*. 2019; 78(9), 1-9.
- [31] Okoronkwo, N. E., Odemelam, S. A., and Ano, O. A. Level of toxic elements in soils of abandoned waste dump site. *African Journal of Biotechnology*. 2006; 5(13), 1241–1244
- [32] Nyle, C. B., and Ray, R. N. 1999. *The Nature and Properties of Soils*, 12th ed., Prentice-Hall, Inc, NJ. 1999; pp. 743–785
- [33] Mohr, H., Draper, S., White, D. J., dan Cheng, L. The effect of permeability on the erosion threshold of fine-grained sediments. *Coastal Engineering*. 2021; 163, 103813.
- [34] Kayabali, K., dan Mollamahmutoglu, M. The influence of hazardous liquid waste on the permeability of earthen liners. *Environmental Geology*. 2000; 39(3–4), 201–210.
- [35] Elzahabi, M. dan Yong, R.N. pH influence on sorption characteristics of heavy metals in vadose zone. *Engineering Geology*. 2001; 60, 61–68.
- [36] Budianta, W. The influence of mineralogical composition on the adsorption capacity of heavy metals solution by Java natural clay, Indonesia, *ASEAN Engineering Journal*. 2021; 15(16), 64-76.
- [37] Nyangababo, J. T., and Hanya, J. The deposition of lead, cadmium, zinc and copper from motor traffic on *Brachiaria emini* and soil along a major Bombo road in Kampala city. *International Journal of Environmental Studies*. 1986; 17, 115–119.

- [38] McBride, M. B. Environmental Chemistry of Soils. Oxford University Press, New York, 1995; pp. 336–337
- [39] Simon, W.A., 2007. Pemrosesan Sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Piyungan Melalui Usaha Daur Ulang dan Pengomposan, Tesis, Bandung, Program Studi Teknologi dan Manajemen Lingkungan, Institut Teknologi Bandung (tidak dipublikasikan); 2007
- [40] Alloway, B. J. Heavy Metals in Soils. Blackie Academic and Professional, London. 1995
- [41] Bradford, G.R., Chang, A.C., Page, A.L., Bakhtar, D., Frampton, J.A., and Wright, H. Background Concentrations of Trace and Major Elements in California Soils. Special Report. Kearney Foundation of Soil Science, Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, Riverside, CA, USA. 1996
- [42] Wang, Y. and Wang, Y. G. The Soil Environmental Background Values in Shanghai, China. Environmental Science Press, Beijing; 1992

