

Pengaruh Kompos Bekas Manggot dalam Remediasi Timbal pada Sempel Tanah TPA Piyungan

Hira Awali Nurmalinda^{1*}, Adib Suyanto², Sri Puji Ganefati³, Sugianto⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Kesehatan Lingkungan, Poltekkes Kemenkes Yogyakarta, Daerah Istimewa
Yogyakarta, Indonesia
hiraawali10@gmail.com

ABSTRAK

Degradasi lahan dapat disebabkan oleh pencemaran lingkungan dari logam berat dan Tempat Pemrosesan Akhir berpotensi tercemar logam berat khususnya timbal (Pb) dari sampah. Timbal (Pb) bahkan pada konsentrasi rendah berbahaya bagi kesehatan, sehingga upaya remediasi menjadi sangat penting. *Stabilisasi* dengan menggunakan kompos sebagai bahan pembenah tanah merupakan salah satu teknik remediasi. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh berbagai komposisi kompos bekas maggot dalam remediasi timbal pada tanah TPA Piyungan. Penelitian menggunakan metode kuantitatif dengan desain *Quasi Experiment Pre Test–Post Test With Control Group*. Kelompok perlakuan sebanyak 4 kelompok dengan perbandingan kompos bekas manggot (A=40%, B=50%, C=60%, Kontrol=0%). Remediasi dilakukan selama 30 hari. Hasil penelitian menunjukkan kelompok perlakuan A terjadi penurunan timbal sebesar 46,19%, pada kelompok perlakuan B dan C terdapat peningkatan timbal (Pb) sebesar 74,40% dan 92,49%. Namun, Kelompok kontrol terdapat penurunan timbal sebesar 11,22%. Maka, kompos bekas manggot 40% paling berpengaruh dalam remediasi timbal (Pb). Peningkatan kadar timbal pada beberapa perlakuan dipengaruhi oleh pengambilan sampel tanah fluktuasi pH, suhu, dan kelembapan.

Kata kunci : Remediasi; stabilisasi; kompos; bekas manggot; timbal (Pb)

ABSTRACT

Land degradation can be caused by environmental pollution from heavy metals, and final processing sites have the potential to be contaminated with heavy metals, particularly lead (Pb) from waste. Lead (Pb), even at low concentrations, is hazardous to health, making remediation efforts very important. Stabilization using compost as a soil amendment is one of the remediation techniques. This study aims to determine the effect of various compositions of used maggot compost on lead remediation in soil from the Piyungan landfill. The study used a quantitative method with a Quasi-Experimental Pre Test–Post Test With Control Group design. There were 4 treatment groups with ratios of used maggot compost (A=40%, B=50%, C=60%, Control=0%). Remediation was carried out for 30 days. The results showed that in treatment group A, there was a decrease in lead of 46.19%, while in treatment groups B and C, there was an increase in lead (Pb) of 74.40% and 92.49%, respectively. However, the control group experienced a lead decrease of 11.22%. The concentration of 40% composted maggot residue had the most significant effect on lead (Pb) remediation. The increase in lead levels in some treatments was influenced by soil sample collection, pH fluctuations, temperature, and humidity.

Keywords : Remediation; stabilization; compost; used maggot; lead (Pb)

1. PENDAHULUAN

Tanah merupakan salah satu komponen lingkungan yang sangat penting dalam menopang kehidupan tanaman, mikroorganisme, dan organisme lainnya. Kualitas tanah yang baik ditandai oleh keseimbangan sifat fisik, kimia, dan biologis yang mampu mendukung pertumbuhan tanaman serta aktivitas organisme tanah secara optimal (Mautuka et al., 2022; (Saragih et al., 2025)). Sifat fisik tanah berkaitan dengan tekstur dan kemampuan tanah dalam menyimpan air, sedangkan sifat kimia tanah ditentukan oleh pH, kandungan unsur hara, dan berbagai senyawa kimia yang terkandung di dalamnya. Sementara itu, sifat biologis tanah ditunjukkan oleh keberadaan dan aktivitas mikroorganisme yang berperan dalam menjaga kesuburan dan fungsi ekosistem tanah (Malesi et al., 2023; (Saragih et al., 2025; (Bintoro & Widjajanto, 2017).

Kualitas tanah dapat mengalami penurunan akibat berbagai faktor, seperti deforestasi, bencana alam, aktivitas pertanian yang tidak berkelanjutan, serta pencemaran yang berasal dari limbah domestik maupun industri. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya degradasi lahan yang berdampak pada menurunnya produktivitas dan fungsi ekologis tanah (Rahmah & Sudewi, 2022) Organisasi Pangan dan Pertanian Dunia (FAO) melaporkan bahwa lebih dari 33% lahan di dunia telah mengalami degradasi dengan penurunan produktivitas berkisar antara 25–40% (FAO, 2021). Di Indonesia, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan mencatat luas lahan terdegradasi akibat deforestasi mencapai sekitar 104 ribu hektar pada periode 2021–2022, menunjukkan bahwa upaya pemulihan lahan belum sepenuhnya mampu mengatasi permasalahan degradasi yang terus terjadi.

Salah satu bentuk degradasi lahan secara kimia adalah pencemaran logam berat akibat akumulasi zat berbahaya di dalam tanah. Pencemaran ini umumnya berasal dari aktivitas industri, pertambangan, maupun penumpukan sampah rumah tangga yang tidak dikelola dengan baik (Wulandari & Astiko, 2025). Salah satu logam berat yang sering ditemukan pada lahan pertanian, kawasan industri, maupun

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) adalah timbal (Pb) (Tiwow & Rampe, 2022) Timbal merupakan logam berat yang bersifat toksik, persisten, sulit terurai secara alami, dan dapat terakumulasi dalam tanah maupun rantai makanan dalam jangka waktu yang lama. Sumber timbal pada timbunan sampah umumnya berasal dari limbah anorganik seperti baterai bekas, aki, cat berbasis timbal, serta limbah elektronik lainnya yang termasuk dalam kategori limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3).

Paparan timbal (Pb) dapat menimbulkan dampak serius terhadap kesehatan manusia. Timbal diketahui mampu memengaruhi hampir seluruh sistem organ tubuh, termasuk sistem saraf, ginjal, reproduksi, dan hematologi. Pada bayi dan anak-anak, paparan Pb dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan, menurunkan kecerdasan, serta menyebabkan gangguan perilaku. Sementara pada orang dewasa, paparan kronis dapat meningkatkan risiko anemia, hipertensi, gangguan fungsi ginjal, dan penurunan fungsi kognitif (Putra et al., 2023; Ardillah, 2016). Oleh karena itu, keberadaan timbal dalam tanah perlu mendapatkan perhatian khusus mengingat potensinya untuk berpindah ke tanaman, air tanah, maupun manusia melalui berbagai jalur paparan.

Beberapa penelitian menunjukkan adanya pencemaran timbal pada berbagai lokasi TPA di Indonesia. Penelitian di TPA Antang Makassar menemukan kadar Pb sebesar 4,303 ppm pada kedalaman 0–80 cm (Tiwow & Rampe, 2022), sedangkan di TPA Batu Layang ditemukan kadar Pb melebihi 30 ppm pada kedalaman 20 cm (Anjelina & Fitrianiingsih, 2021). Penelitian lain di sekitar TPA Putri Cembo juga melaporkan kandungan timbal yang telah melampaui nilai latar belakang alami tanah sebesar 54,3 mg/kg. Di TPA Piyungan sendiri, studi pendahuluan menunjukkan kadar timbal sebesar 6,80 ppm (Zulfa et al., 2025), sementara penelitian Muyassar dan Budianta (2021) menemukan kadar Pb pada zona interface mencapai 31,2 ppm (Muyassar & Budianta, 2021). Meskipun nilai tersebut masih berada di bawah baku mutu tanah sebesar 300 mg/kg berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, keberadaan timbal tetap berpotensi terakumulasi dalam jangka panjang dan

menimbulkan risiko pencemaran lingkungan serta gangguan kesehatan masyarakat.

Upaya pemulihan lahan tercemar logam berat dapat dilakukan melalui proses remediasi, yaitu kegiatan pembersihan atau pengurangan konsentrasi bahan pencemar dalam media lingkungan sehingga risiko terhadap manusia dan lingkungan dapat diminimalkan (Multazam, 2024) (Indah & Ratnawati, 2019). Remediasi dapat dilakukan secara in-situ maupun ex-situ dengan memanfaatkan berbagai agen remediasi, seperti tanaman, mikroorganisme, biochar, dan bahan pembenah tanah berupa kompos (Nurcahyani et al., 2024) Hisyam et al., 2024). Salah satu bahan yang berpotensi digunakan sebagai agen remediasi adalah kompos frass larva Black Soldier Fly (BSF) atau yang dikenal sebagai kasgot. Kasgot mengandung bahan organik, unsur hara, dan gugus fungsi yang mampu meningkatkan pH tanah serta mengikat ion logam berat sehingga mengurangi ketersediaan hayatinya (bioavailability).

Penelitian Nurindriana dan Wicaksono (2022) menunjukkan bahwa penggunaan kasgot mampu memberikan efisiensi remediasi tanah tercemar hingga 55,12% pada konsentrasi 50%. Temuan tersebut menunjukkan bahwa kompos bekas manggot memiliki potensi sebagai bahan pembenah tanah sekaligus agen remediasi yang ramah lingkungan (Nurindriana & Wicaksono, 2022). Namun demikian, penelitian mengenai pemanfaatan kompos bekas maggot untuk remediasi logam berat timbal (Pb), khususnya pada tanah TPA, masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian terdahulu lebih banyak berfokus pada penggunaan biochar, kompos konvensional, atau fitoremediasi sehingga informasi mengenai efektivitas kasgot dalam menurunkan kadar timbal (Pb) masih belum banyak tersedia.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan kompos bekas maggot (kasgot) terhadap penurunan kadar logam berat timbal (Pb) pada sampel tanah TPA Piyungan, Kabupaten Bantul. Penelitian dilakukan menggunakan metode stabilisasi/solidifikasi dengan memanfaatkan kasgot sebagai bahan pembenah tanah yang diharapkan mampu mereduksi kontaminan secara fisik dan kimia

serta menjadi alternatif remediasi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan (Anrozi & Trihadiningrum, 2017)

2. METODE PENELITIAN

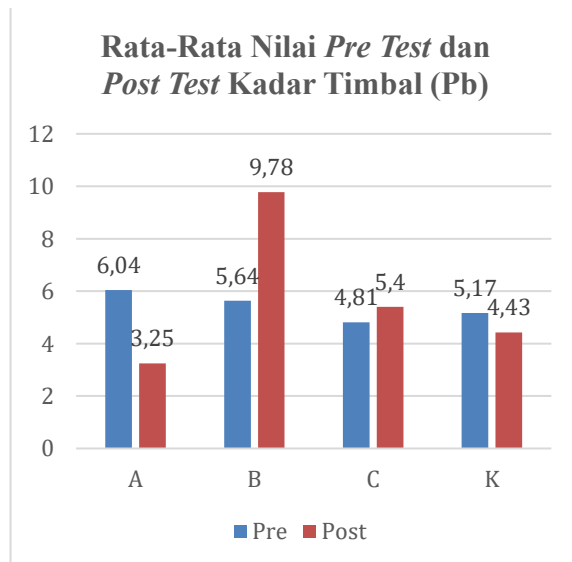
Jenis penelitian ini adalah *Quasi Eksperimen* dengan desain yang digunakan *Pre Test - Post Test Only With Control Group Design* yang hasilnya dapat digambarkan sebagai berikut (Hastjarjo, 2019). Populasi dan sampel dalam penelitian ini adalah tanah TPA Piyungan terkontaminasi logam berat timbal (Pb) yang diambil menggunakan teknik sampling *purposive sampling* (Sugiyono, 2020). Pemilihan titik sampel dilakukan secara sengaja berdasarkan tanah yang terkena air lindi dari sampah di zona aktif dan zona pasif TPA Piyungan (KLHK, 2023). Dalam penelitian masing-masing perlakuan dilakukan pengulangan 6 kali. Sehingga total sampel yaitu 24 sampel masing-masing *pre test* dan *post test* yang dibagi menjadi 4 kelompok perlakuan yaitu : kelompok perlakuan A dengan komposisi 40% kompos bekas manggot dan 60% sampel tanah. Kelompok perlakuan B dengan komposisi 50% kompos bekas manggot dan 50% sampel tanah, kelompok perlakuan C dengan komposisi 60% kompos bekas manggot dan 40% sampel tanah dan kelompok perlakuan Kontrol dengan komposisi 100% sampel tanah.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Rekayasa Potekkes Kemenkes Yogyakarta pada tanggal 11 Februari sd 13 Maret 2026. Data yang digunakan merupakan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dari pemeriksaan secara langsung pH, suhu, kelembaban, dan melalui uji laboratorium di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Masyarakat Yogyakarta untuk kandungan timbal (Pb) pada tanah. Sedangkan, data sekunder diperoleh melalui jurnal, buku, peraturan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan serta peraturan lainnya yang berhubungan dengan penelitian ini. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *polybag* 24 buah, plastik, cetok, sekop, timbangan, sarung tangan, alat tulis, *soil tester*, wadah sampel, kertas label, sepatu bot, tali, penggaris, sampel tanah TPA Piyungan,

kompos bekas manggota dan air.

3. HASIL

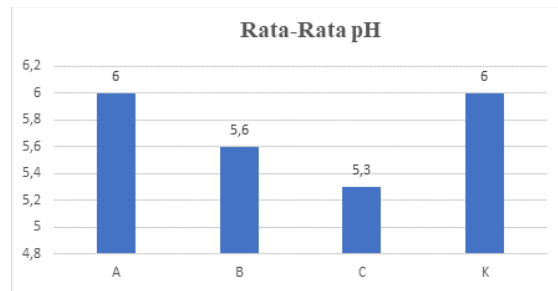
Hasil Remediasi Timbal (Pb) dalam Sempel Tanah TPA Piyungan.



Gambar 1. Hasil Rata-Rata *Pre Test* dan *Post Test* Kadar Timbal (Pb)

Berdasarkan Gambar 1, kelompok perlakuan A dapat menurunkan kadar timbal (Pb) 46,19 % dari 6,04 mg/Kg menjadi 3,25 mg/Kg, pada kelompok perlakuan B dan C terdapat peningkatan timbal (Pb) sebesar 74,40% dari 5,64 mg/Kg menjadi 9,78% dan 92,49% dari 4,81 mg/Kg menjadi 5,4 mg/Kg. Namun, Kelompok kontrol terdapat penurunan timbal sebesar 11,22% dari 5,17 mg/Kg menjadi 4,43 mg/Kg.

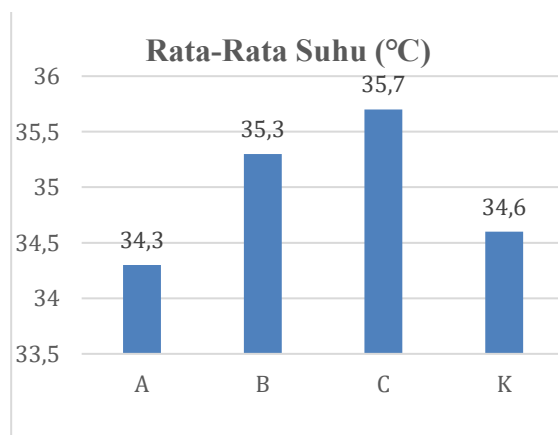
Hasil Pengukuran pH Selama Remediasi



Gambar 2. Rata - Rata pH pada Kelompok Perlakuan A, B, C dan Kontrol

Berdasarkan Gambar 1, kelompok perlakuan B dan C memiliki pH yang lebih asam 5,6 dan 5,3 sedangkan kelompok perlakuan A dan Kontrol memiliki pH 6.

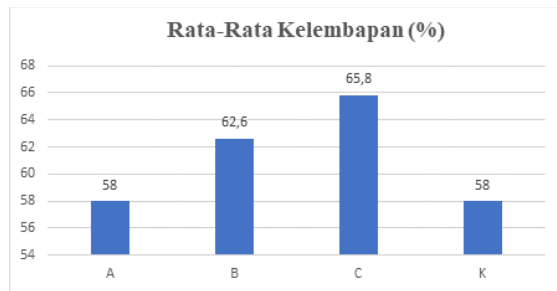
Hasil Pengukuran Suhu (°C) Selama Remediasi



Gambar 3. Rata - Rata suhu (°C) pada Kelompok Perlakuan A, B, C dan Kontrol

Berdasarkan Gambar 3, kelompok perlakuan yang memiliki suhu yang relatif tinggi adalah kelompok perlakuan B dan C sekitar 35,3°C dan 35,7°C. Kelompok yang memiliki suhu relatif rendah adalah kelompok perlakuan A dan Kontrol.

Hasil Pengukuran Kelembapan (%) Selama Remediasi



Gambar 4. Rata - Rata Kelembapan (%) pada Kelompok Perlakuan A, B, C dan Kontrol

Berdasarkan Gambar 4, kelompok perlakuan yang memiliki kelembapan yang relatif tinggi adalah kelompok perlakuan B dan C sekitar 62,6% dan 65,8%. Kelompok yang memiliki suhu relatif sedang adalah kelompok perlakuan A dan Kontrol

Hasil Uji Normalitas Menggunakan Uji Saphiro Wilk

Tabel 1. Hasil Uji Normalitas

Variabel	Sig	Keterangan
Kelompok A	0,004	Tidak Normal
Kelompok B	0,281	Normal
Kelompok C	0,006	Tidak Normal
Kelompok kontrol	0,028	Tidak Normal

Berdasarkan Tabel 1, Hasil uji normalitas menunjukkan data tidak terdistribusi dengan normal karena tidak memenuhi syarat nilai *Asymp.Sig (2-tailed)* >0,05. Maka, dilanjutkan dengan uji non-parametrik yaitu Uji Wilcoxon Signed Ranks Test.

Hasil Uji Wilcoxon Signed Ranks Test

Tabel 2. Hasil Uji Wilcoxon Signed Ranks Test

	Post-Pre	
Z	-1.029 ^b	Keterangan
<i>Asymp.Sig (2-tailed)</i>	0,304	Tidak Signifikan

Berdasarkan Tabel 2, Hasil Uji Wilcoxon

Signed Ranks Test menunjukkan *Asymp.Sig (2-tailed)* >0,05 maka tidak pengaruh yang signifikan sebelum dan sesudah perlakuan. Namun, karena ingin apakah pengaruh signifikan antar kelompok perlakuan dilanjutkan ke uji kruskal-wallis.

Hasil Uji Kruskal-Wallis

Tabel 3. Hasil Uji Kruskal-Wallis

	Sig	Keterangan
<i>Asymp.Sig (2-tailed)</i>	0,003	Signifikan

Berdasarkan Tabel 3, Hasil Kruskal-Wallis menunjukkan *Asymp.Sig (2-tailed)* <0,05 maka ada pengaruh signifikan antar kelompok perlakuan dan dilanjutkan uji man-whitney test.

Hasil Uji Man-Whitney Test

Tabel 4. Hasil Uji Man-Whitney Test

Perbandingan Kelompok	Sig	Keterangan
A vs B	0,015	Terdapat pengaruh signifikan
A vs C	0,004	Terdapat pengaruh signifikan
A vs K	0,146	Tidak terdapat pengaruh signifikan
B vs C	0,261	Tidak terdapat pengaruh signifikan
B vs K	0,128	Tidak terdapat pengaruh signifikan
C vs K	0,006	Terdapat pengaruh signifikan

Berdasarkan Tabel 4, Hasil Man-Whitney Test dapat dikatakan ada pengaruh signifikan

jika nilai *Asymp. Sign (2-tailed)* <0,05.

4. PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan kelompok perlakuan A dengan penambahan kompos bekas manggot 40% (800 gram) dan 60% sampel tanah (1200 gram) menunjukkan adanya penurunan kadar logam berat (Pb) dengan rata-rata penurunan sebesar 2,79 mg/Kg dan persentase sebesar 46,19%. Sejalan dengan penelitian Hassan (2023), kompos konsentrasi 40% dapat mengimobilisasi Pb melalui proses adsorpsi dan pembentukan kompleks organo-logam (Hassan et al., 2023). Kelompok perlakuan B dengan penambahan komposisi kompos bekas manggot sebesar 50% (1000 gram) dengan 50% sampel tanah didapatkan peningkatan logam berat timbal (Pb) dengan rata-rata 4,14 mg/Kg dan persentase sebesar 74,40%.

Kelompok perlakuan C dengan penambahan komposisi kompos bekas manggot sebesar 60% (1200 gram) dengan 40% sampel tanah didapatkan peningkatan logam berat timbal (Pb) dengan rata-rata 4,79 mg/Kg dan persentase sebesar 92,49%. Sedangkan Kelompok kontrol merupakan Kelompok kontrol yang tidak ada penambahan kompos bekas manggot. Pada kelompok ini terjadi penurunan timbal (Pb) dengan rata-rata 0,74 mg/Kg dan persentase sebesar 11,22%. Penurunan timbal pada tanah alami dapat disebabkan oleh mineral lempung, Fe atau Mn oksida dan bahan organik dalam tanah (Liu et al., 2022). Hal tersebut dapat memicu peningkatan proses adsorpsi timbal (Pb).

Menurut Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dengan Zat pencemar TK-C (Total Konsentrasi) peningkatan kandungan timbal (Pb) dalam beberapa perlakuan masih memenuhi standar baku mutu sebesar 300 mg/Kg. Peningkatan kandungan timbal (Pb) disebabkan dipengaruhi oleh penurunan pH, kenaikan suhu dan kelembapan serta pemberian air yang menyebabkan pH menurun. Menurut penelitian Rusdiah (2025) pH asam dibawah 6 membuat adsorpsi timbal (Pb^{2+}) melambat karena dalam pH tersebut, konsentrasi ion hidrogen (H^+) di dalam tanah sangat tinggi. Ion hidrogen (H^+) ini bersaing dengan ion logam berat timbal (Pb^{2+}) untuk berikatan pada permukaan partikel tanah atau adsorben (Rusdiah, 2025). Sedangkan pH 6-8

menyebabkan proses adsorpsi timbal (Pb^{2+}) akan meningkat dibuktikan dengan kelompok perlakuan A dan kelompok kontrol yang memiliki rata-rata paling yaitu pH 6 sedangkan kelompok perlakuan B dan C memiliki rata-rata pH 5,6 dan 5,3 sehingga terjadi peningkatan timbal (Pb) pada kelompok perlakuan tersebut (Miningsih et al., 2016).

Peningkatan suhu dan kelembapan yang tinggi juga mempengaruhi peningkatan kandungan timbal (Pb). Suhu diatas $\geq 35^\circ C$ membuat konsentrasi DOM (*Dissolved Organic Matter*) atau bahan organik terlarut dalam tanah meningkat sehingga mobilitas timbal (Pb) dalam tanah meningkat (Huang et al., 2024) dibuktikan dengan kelompok perlakuan A dan Kelompok kontrol yang memiliki rata-rata suhu 34,3 dan 34,6 sedangkan kelompok perlakuan B dan C memiliki rata-rata pH 35,3 dan 35,7 sehingga terjadi peningkatan timbal (Pb) pada kelompok perlakuan tersebut. Peneliti yang dilakukan Hardie (2021) menyebutkan bahwa kelembapan tanah dan aplikasi pembenah tanah dapat mempengaruhi stabilisasi timbal (Pb) di tanah yang tercemar. Peneliti tersebut juga menjelaskan bahwa dalam kondisi tanah jenuh air, proses mobilisasi timbal (Pb) menjadi meningkat sehingga tanah menjadi lebih toxic. Kondisi jenuh air dapat memperlambat adsorpsi timbal dan meningkatkan mobilisasi timbal karena dapat menciptakan kondisi anaerobi yang mengubah kimia tanah secara drastis, sehingga memicu proses desorpsi atau peningkatan kandungan timbal (Pb) dalam tanah (Hardie et al., 2021). Dapat dilihat pada Gambar 4, yang menunjukkan kelompok perlakuan B dan C yang memiliki kelembapan relatif tinggi sehingga mempengaruhi kadar timbal (Pb).

Berdasarkan data yang diperoleh dari uji statis menggunakan uji *wilcoxon signed ranks test* menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan dengan nilai sig 0,304 > 0,05. Namun, hasil analisis uji *kruskal wallis* diperoleh nilai sig. 0,003 < 0,05 yang artinya ada pengaruh signifikan antar kelompok perlakuan. Diperkuat dengan hasil uji *man whitney test* menunjukkan kelompok A dengan B dan C terdapat pengaruh signifikan antar kelompok perlakuan. Sedangkan kelompok A dengan Kelompok kontrol tidak terdapat pengaruh signifikan antar kelompok dengan sig 0,146 > 0,05. Sehingga, kelompok perlakuan A merupakan kelompok perlakuan yang memiliki

pengaruh paling besar dalam menurunkan kadar timbal (Pb) pada sampel tanah TPA Piyungan dibanding kelompok perlakuan lain. Hasil tersebut dapat disebabkan oleh adanya faktor penurunan pH, peningkatan suhu dan kelembapan serta kondisi ruangan laboratorium rekayasa yang digunakan sebagai lokasi penelitian tidak terlalu mendukung untuk proses remediasi. Kondisi pada saat pengambilan sampel di TPA Piyungan perlu diperhatikan karena itu juga dapat mempengaruhi dalam proses penelitian.

Faktor pendukung dalam penelitian ini yaitu : Perizinan lokasi untuk pengambilan sampel mudah dan Bahan yang digunakan untuk penelitian mudah didapat. Sedangkan keterbatasan dalam penelitian ini yaitu : Tidak dilakukan pengendalian variabel pengganggu (pH, suhu, kelembapan), proses pengambilan sampel terdapat jeda dengan pemeriksaan, prosedur pengambilan sampel tanah sampai dengan penelitian masih belum optimal.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kelompok perlakuan A dengan penambahan komposisi kompos bekas manggot sebesar 40% (800 gram) dengan 60% sampel tanah merupakan kelompok perlakuan paling banyak menurunkan kadar timbal (Pb) sebesar 46,19% dibanding dengan kelompok perlakuan B dan C yang dapat meningkatkan kadar timbal (Pb) sebesar 74,40% dan 92,49% dalam proses remediasi logam berat timbal (Pb) pada sampel tanah TPA Piyungan. Beberapa faktor yang mempengaruhi hasil penelitian adalah adanya penurunan pH, peningkatan suhu, peningkatan kelembapan dan pengambilan sampel tanah.

Seingga, perlu mengkombinasikan kompos bekas manggot dengan bahan lain seperti biocar, tanaman, dan mikroorganisme yang dapat mendukung remediasi. Mengkondisikan variabel pengganggu seperti pH pada kisaran 6-8, suhu pada $< 35^{\circ}\text{C}$ dan kelembapan $< 60\%$ dalam remediasi logam berat timbal (Pb). Sampel tanah yang diambil, segera dilakukan pengujian. Apabila pengujian tidak dilakukan langsung, perhatikan teknis penyimpanan sampelnya.

6. REFERENSI

- Anrozi, R., & Trihadiningrum, Y. (2017). Kajian Teknologi dan Mekanisme Stabilisasi/Solidifikasi untuk Pengolahan Limbah B3. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), F445–F450.
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.25134>
- Ardillah, Y. (2016). Faktor Risiko Kandungan Timbal Di Dalam Darah. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, 7(3), 150–155.
<https://doi.org/10.26553/jikm.2016.7.3.150-155>
- Bintoro, A., & Widjajanto, D. (2017). Karakteristik Fisik Tanah Pada Beberapa Penggunaan Lahan Di Desa Beka Kecamatan Marawola Kabupaten Sigi. 5, 423–430.
- FAO. (2021). *Land Degradation Neutrality*. FAO and IUCN.
<https://doi.org/10.4060/cb6131en>
- Hardie, A. G., Boostani, H. R., Najafi-Ghiri, M., & Khalili, D. (2021). The effect of soil moisture regime and biochar application on lead (Pb) stabilization in a contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111626.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111626>
- Hassan, S. H., Chafik, Y., Sena-Velez, M., Lebrun, M., Scippa, G. S., Bourgerie, S., Trupiano, D., & Morabito, D. (2023). Importance of Application Rates of Compost and Biochar on Soil Metal(Loid) Immobilization and Plant Growth. *Plants*, 12(11), 2077.
<https://doi.org/10.3390/plants12112077>
- Hastjarjo, T. D. (2019). Rancangan Eksperimen-Kuasi. *Buletin Psikologi*, 27(2), 187.
<https://doi.org/10.22146/buletinpsikologi.38619>
- Hisyam, E. S., Putri, A., Karmini, R., Serly, S., & Apriyanti, Y. (2024). Pemanfaatan Bunga Matahari Dengan Teknologi Fitoremediasi Untuk Pemulihan Lahan Bekas Tambang Timah di Bangka Belitung. *MINERAL*, 9(2), 61–66.
<https://doi.org/10.33019/mineral.v9i2.5516>
- Huang, W., Wan, Z., Zheng, D., Cao, L., Li, G., & Zhang, F. (2024). Evolution of soil

- DOM during thermal remediation below 100 °C: Concentration, spectral characteristics and complexation ability. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 18(8), 94. <https://doi.org/10.1007/s11783-024-1854-x>
- Indah, I., & Ratnawati, R. (2019). *Remidiasi Lingkungan Tercemar* (Sugito, Ed.). Adi Buana University Press. Remidiasi Lingkungan Tercemar Penulis:Dra. Indah Nurhayati, S.T., M.T.Dr. Rhenny Ratnawati, S.T., M.T.Editor:Drs. Sugito, S.T., M.T.Design Sampul:Moch. ShofwanLayout: Adi Buana University PressDiterbitkan Oleh:Adi Buana University PressUniversitas PGRI Adi Buana SurabayaJl. Ngagel Dadi III – B/37 Surabaya, 60245Telp: 031-5042804Fax: 031-5042804Website:www.unipasby.ac.idEmail:unipasby@gmail.comISBN:
- KLHK. (2023). *Laporan Akhir: Review Pra Penurunan TPA Regional Piyungan*. PT. Van Techno SAA.
- Malesi, W. O. A. W., Yusuf, M. A., Parjono, & Rupang, M. S. (2023). Kajian Sifat Kimia Tanah Sawah Pada Beberapa Lokasi Distrik Semangga. *JURNAL AGRIMENT*, 8(1), 60–64. <https://doi.org/10.51967/jurnalagriment.v8i1.2544>
- Mautuka, Z. A., Maifa, A., & Karbeka, M. (2022). Pemanfaatan Biochar Tongkol Jagung Guna Perbaikan Sifat Kimia Tanah Lahan Kering. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8, No. 1, 201–208. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5827375>
- Miningsih, N. A., Hidayatin, D. I., Wijareni, A., Isdiyanti, S. I., & Kurniasari, L. (2016). Adsorpsi Timbal (Pb) Dalam Larutan Menggunakan Adsorben Radix Alang-Alang (*Imperata Cylindrica*) Termodifikasi Asam Sitrat. *Prosiding Sains Nasional dan Teknologi*, 1(1). <https://doi.org/10.36499/psnst.v1i1.1467>
- Multazam, Z. (2024). *Remediasi Tanah Dan Lahan Terdegradasi*. HEI PUBLISHING.
- Muyassar, M., & Budianta, W. (2021). Pencemaran Logam Berat Pada Tanah Di Sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Piyungan, Bantul, Yogyakarta. *KURVATEK*, 6(1), 11–22. <https://doi.org/10.33579/krvtk.v6i1.2146>
- Nurchayani, N., Mayasari, U., & Nasution, R. A. (2024). *Bioremediasi Timbal (Pb) Menggunakan Bakteri Indigenous Dari Sungai Tercemar Limbah Cair Pertambangan Emas Martabe Batang Toru. 1, 7, 218–224.*
- Nurindriana, F. M., & Wicaksono, K. S. (2022). Pemanfaatan Biochar Dan Kompos Black Soldier Fly Pada Fitoremediasi Tanah Tercemar Timbal Dan Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Serta Hasil Tanaman Sawi (*Brassica Juncea L.*). *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 9(2), 297–309. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2022.009.2.10>
- Putra, A., Fitri, W. E., & Febria, F. A. (2023). *Toksisitas Logam Timbal Terhadap Kesehatan Dan Lingkungan: Literatur Review*. 14, 158–174.
- Rahmah, Y. P., & Sudewi, S. (2022). *Bantul Bersama Dalam Pengendalian Kerusakan*. 22(3), 4263–4279.
- Rusdiyah, F. H. (2025). Analisis Teoritis Pengaruh pH terhadap mobilitas logam berat dalam tanah. *Jurnal Maliki Interdisciplinary*, 3(Januari), 709–718.
- Saragih, S. W., Lubis, R., Hasibuan, W., Sembiring, A., Nasution, I. H., Meliala, A., & Anggraini, D. M. (2025). *Pengaruh Nilai Ph Tanah Terhadap Potensi Penggunaan Lahan Pertanian Secanggang Kabupaten Langkat*. 7, 1–8.
- Sugiyono. (2020). *Metode Penelitian Pariwisata (Kuantitatif, Kualitatif, Kombinasi, R&D)*. Penerbit Alfabet.
- Tiwow, V. A., & Rampe, M. J. (2022). *Analisis Kandungan Logam Berat Tanah TPA Antang Makassar Menggunakan Metode XRF*.
- Wulandari, F. T., & Astiko, W. (2025). *Kajian Degradasi Lahan dan Pengelolaan Lahan Berkelanjutan*. 4, 1067–1080. <https://doi.org/10.36312/jar.v4iSpecialIssue.2953>
- Zulfa, Q., Irawan, A. B., Prasetya, J. D., Utami, A., & Algary, T. A. (2025). Kajian Kandungan Logam Berat Pb dan Cd Di

Kawasan Sekitar TPA Piyungan,
Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa
Yogyakarta. *Prosiding Seminar Nasional*

*Teknik Lingkungan Kebumihan SATU
BUMI,* 6(1).
<https://doi.org/10.31315/psb.v6i1.14448>