

REMEDIASI TANAH TERCEMAR TIMBAL DAN KADMIUM MENGGUNAKAN FLY ASH DAN BAHAN ORGANIK

Remediation of Lead and Cadmium Contaminated Soil Using Fly Ash and Organic Materials

Ina Febria Ginting^{1)*}, Darmawan²⁾, Lilik Tri Indriyati²⁾

¹⁾ Program Studi Ilmu Tanah, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, IPB University, Jl. Raya Dramaga Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat, Indonesia.

²⁾ Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, IPB University, Jl. Raya Dramaga Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat, Indonesia.

ABSTRACT

Agricultural soils that are close to industrial areas are prone to be polluted by lead (Pb) and cadmium (Cd) caused by industrial waste. Soil remediation is a method to clean the soil from pollutant materials. Utilizing fly ash and organic matter is a way to reduce levels of Pb and Cd pollution in the soil. This research was conducted to study the effect of ameliorants on reducing the availability of Pb and Cd in soil. The greenhouse experiment was carried out using a randomized block design with the application of 3 types of ameliorants, namely fly ash, chicken manure, and cow manure. The experimental design was prepared with 2 dose levels, namely C: control; F1: 450g; F2: 600g; A1: 75g; A2: 105g; S1: 105g; S2: 135g; FAS1: 450 g+75 g+105 g; FAS2: 600g+105g+135g. Each treatment was repeated 3 times to obtain 27 experimental units. The experimental results showed that the effect of the treatment of fly ash, chicken manure, and cow manure significantly increased soil pH, KB, C-organic, and exchangeable bases as well as reduced levels of availability of Pb and Cd compared to controls. The use of single fly ash (F1 and F2) reduces the availability of Pb in the soil, while the available Cd decreased in the application of a combination of fly ash with chicken and cow manure (FAS1 and FAS2). The application of fly ash alone was able to reduce the availability of Pb and Cd which was higher than of chicken manure and cow manure alone. However, the provision of fly ash has not been able to increase the growth of kale plants.

Keywords: Cd, fly ash, chicken manure, cow manure, Pb, remediation

ABSTRAK

Tanah lahan pertanian yang berada dekat dengan kawasan industri rentan tercemar oleh timbal (Pb) dan cadmium (Cd), disebabkan oleh limbah industri tersebut. Remediasi tanah merupakan Upaya yang dilakukan untuk membersihkan tanah dari bahan-bahan pencemar. Pemanfaatan *fly ash* dan bahan organik merupakan salah satu cara untuk mengurangi kadar pencemaran Pb dan Cd dalam tanah. Penelitian dilakukan untuk mempelajari pengaruh dari amelioran untuk menurunkan kadar ketersediaan Pb dan Cd pada tanah. Percobaan rumah kaca dilakukan dengan rancangan acak kelompok dengan perlakuan aplikasi 3 jenis amelioran, yaitu *fly ash*, pupuk kandang ayam dan pupuk kandang sapi. Rancangan percobaan disusun masing-masing dengan 2 taraf dosis, yaitu C: kontrol; F1: 450 g; F2: 600 g; A1: 75 g; A2: 105 g; S1: 105 g; S2: 135 g; FAS1: 450 g+75 g+105 g; FAS2: 600 g+105 g+135 g. Setiap perlakuan diulang sebanyak 3 kali sehingga diperoleh 27 satuan percobaan. Hasil percobaan menunjukkan pengaruh pemberian perlakuan *fly ash*, pupuk kandang ayam dan pupuk kandang sapi secara nyata meningkatkan pH, KB, C-organik, dan basa tanah serta menurunkan kadar ketersediaan Pb dan Cd dibandingkan dengan kontrol. Penggunaan *fly ash* tunggal (F1 dan F2) menurunkan kadar ketersediaan Pb pada tanah, sedangkan Cd tersedia menurun pada pemberian aplikasi kombinasi *fly ash* dengan pupuk kandang ayam dan sapi (FAS1 dan FAS2). Pemberian *fly ash* saja mampu menurunkan kadar ketersediaan Pb dan Cd yang lebih tinggi dibandingkan dengan pemberian kotoran ayam dan kotoran sapi saja. Namun, pemberian *fly ash* belum mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman kangkung.

Kata kunci: Cd, *fly ash*, pupuk kandang ayam, pupuk kandang sapi, Pb, remediasi

PENDAHULUAN

Terdapat tiga jenis logam berat dengan kategori beracun dan tidak bermanfaat bagi kehidupan, dua diantaranya adalah timbal (Pb) dan cadmium (Cd) (Sandeep *et al.*, 2019). Keracunan Pb dapat mengakibatkan gangguan sirkulasi darah dalam otak sehingga pada orang dewasa dapat memicu kanker sedangkan pada anak di bawah umur berdampak pada penurunan IQ. Selain itu, kandungan Cd dalam tubuh manusia dapat menyebabkan penyakit *Itai-itai* seperti yang pernah terjadi di Jepang akibat beras yang

dikonsumsi mengandung Cd (Mudgal *et al.*, 2010; Arao *et al.*, 2010; Mohammadi *et al.*, 2020).

Pencemaran Pb dan Cd pada tanah dapat menjadi awal mula penyebab masuknya kedua unsur tersebut ke dalam tubuh manusia. Ketersediaan Pb dan Cd pada larutan tanah dalam jumlah yang tinggi, mudah diserap oleh akar tanaman yang selanjutnya disebarkan ke seluruh bagian tubuh tanaman (Khanam *et al.*, 2020). Dalam rangka pemulihan tanah tercemar Pb dan Cd, teknologi remediasi tanah perlu dilakukan. Remediasi tanah merupakan sebuah praktik seni yang menunjukkan hubungan antara tanah,

*) Penulis Korespondensi: Telp. +62800000000; Email. inafebriaginting94@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.29244/jitl.26.2.61-65>

tanaman, dan agen-agen penyebab pencemaran tanah untuk membersihkan tanah dari kontaminan maupun polutan tanah (Tinajero, 2023; Lombi *et al.*, 1998).

Penambahan amelioran seperti *fly ash* dan pupuk kandang dapat menjadi alternatif untuk mengurangi ketersediaan Pb dan Cd pada tanah. *Fly ash* merupakan sisa pembakaran batu bara dari pembangkit listrik. Secara kimia, *fly ash* memiliki sifat yang berbeda-beda berdasarkan sifat bahan asal batubara yang digunakan. *Fly ash* memiliki sifat mampu menaikkan pH tanah karena secara alami memiliki pH tinggi mencapai 13,25 (Shaheen *et al.*, 2014; Ahmaruzzaman, 2010). Pemberian *fly ash* ke dalam tanah sebanyak 5% mampu menaikkan pH tanah dari 4,7 hingga 7,7 (Matsi dan Keramidas 1999).

Selain itu, perbaikan sifat tanah yang tercemar logam berat dapat dilakukan dengan penambahan pupuk kandang. Liu *et al.* (2009) menjelaskan bahwa pemberian kompos kotoran ayam meningkatkan pH tanah 0,5-1,2 unit, menurunkan kelarutan Cd di dalam tanah hingga 0,16 ppm, dan serapan Cd oleh biji 33-61,4% dan batang 56,3-89,1%. Di samping itu, pemakaian pupuk kandang sapi juga menunjukkan penurunan ketersediaan Pb dan Cd di dalam tanah (Wang *et al.* 2013). Pupuk kandang sapi sebagai penyumbang c-organik dan peningkat KTK tanah mampu meningkatkan penyerapan Pb oleh tanah (Baghaie *et al.* 2011). Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh *fly ash*, pupuk kandang ayam dan sapi terhadap karakteristik tanah dan ketersediaan Pb dan Cd pada tanah tercemar.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah Aluvial, $Pb(NO_3)_2$, $(CdSO_4)_3 \cdot 8H_2O$, DTPA, HNO_3 , $HClO_4$, Akuades, *fly ash*, pupuk kandang ayam dan sapi, benih kangkung dan bahan kimia lainnya untuk keperluan analisis tanah. Alat yang digunakan untuk kebutuhan penelitian di rumah kaca adalah ayakan berukuran 5 mm, terpal, pot berdiameter 30 cm, timbangan, plastik bening, mistar dan sekop. Sedangkan, untuk kebutuhan laboratorium adalah pH meter, neraca analitik, mortar, gelas ukur, erlenmeyer, tabung reaksi, pipet ukur, oven, *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Stirrer*, kertas saring, dan alat tulis.

Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli 2022-November 2022 di rumah kaca Kebun Pendidikan Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB di Cikabayan. Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Kimia Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan Fakultas Pertanian IPB. Sampel tanah Aluvial diambil dari lahan perkebunan sayur intensif di Kecamatan Neglasari, Kota Tangerang, Banten. Sedangkan *fly ash* diambil dari PLTU Suralaya, Merak, Banten.

Rancangan Percobaan

Perlakuan disusun dalam rancangan acak kelompok (RAK) dengan faktor tunggal, yaitu dosis *fly ash* (F1= 450g dan F2= 600g), pupuk kandang ayam (A1=75g dan

A2=105g), pupuk kandang sapi (S1= 105g dan S2=135g), kombinasi *fly ash*, pupuk kandang ayam dan sapi (FAS1= 450g+75g+105g dan FAS2= 600g+105g+135g). Setiap perlakuan diulang sebanyak 3 kali sehingga diperoleh 27 satuan pot percobaan. Bobot tanah yang digunakan adalah 3 Kg bobot kering mutlak (BKM). Dosis *fly ash* mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Hu *et al.* (2021). Selanjutnya, hasil percobaan dianalisis ragam dengan tingkat kepercayaan 95%. Perlakuan yang menunjukkan pengaruh nyata, diuji lanjut menggunakan uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) untuk mengetahui perbedaan pengaruh antar perlakuan.

Pelaksanaan Percobaan

Pencemaran Tanah dengan Pb dan Cd

Bahan tanah Aluvial diambil dari kedalaman 0-20 cm. Selanjutnya tanah dikeringudarkan, dihaluskan, dan diayak sehingga lolos saringan 5 mm. Seratus gram tanah yang telah lolos ayak dimasukkan ke dalam wadah plastik, lalu ditambahkan 2,745g $Pb(NO_3)_2$ dan 0,784g $(CdSO_4)_3 \cdot 8H_2O$ dan diaduk hingga tercampur rata. Setelah itu, ditambahkan tanah sedikit demi sedikit dan diaduk hingga bobot tanah mencapai 3 kg (Darmawan dan Wada 1999). Tanah yang telah dicampur dengan logam berat dimasukkan ke dalam pot berdiameter 30 cm dan ditutup menggunakan plastik yang telah diberi lubang-lubang halus. Kelembaban tanah dipertahankan menggunakan air bebas ion.

Penambahan Fly Ash dan Pupuk Kandang serta Penanaman Benih Kangkung

Tanah yang telah tercemar Pb dan Cd dikeluarkan dari dalam pot percobaan, kemudian dicampurkan dengan *fly ash*, pupuk kandang ayam dan pupuk kandang sapi sesuai dengan perlakuan. Pada hari ke-14, benih kangkung ditanam sebanyak 20 butir pada setiap pot. Tanaman disiram setiap pagi dan sore dengan air bebas ion. Kangkung diberi pupuk NPK dengan dosis 5 ton/ ha pada saat memasuki usia satu minggu setelah tanam (MST). Pengamatan tanaman dilakukan seminggu sekali hingga minggu keempat atau pada saat tanaman berusia 28 hari setelah tanam (HST) terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun.

Analisis Laboratorium dan Data

Analisis laboratorium dilakukan terhadap karakteristik tanah Aluvial pada saat sebelum diberi perlakuan (Tabel 1) dan pada saat setelah diberi perlakuan.

Tabel 1 Hasil Analisis Tanah Sebelum Perlakuan

Parameter	Satuan	Nilai	Kriteria*
pH (H ₂ O)	-	4.92	Masam
KTK	cmol(+)/Kg	38.17	Tinggi
Mg-dd	cmol(+)/Kg	2.12	Tinggi
Ca-dd	cmol(+)/Kg	18.91	Tinggi
Na-dd	cmol(+)/Kg	0.43	Sedang
K-dd	cmol(+)/Kg	0.51	Sedang
KB	%	57.56	Sedang
	% pasir	24.10	
Tekstur	% liat	40.01	Klei
	% debu	35.89	
Mineral Klei	-	-	Kaolinit ¹
C-organik	%	1.26	Rendah

Pb total	ppm	31.07	Rendah
Cd total	ppm	00.35	Rendah

*: Eviati dan Sulaeman (2009)

1: Hasil analisis XRD Laboratorium Balai Penelitian Tanah

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh remediasi tanah tercemar Pb dan Cd terhadap pH, C-organik, KTK dan KB

Penambahan F2 dan FAS2 nyata paling tinggi meningkatkan pH tanah, yaitu 7.22 dan 7.19. Kenaikan nilai pH ini dikarenakan *fly ash* yang digunakan pada penelitian ini termasuk ke dalam *fly ash* kategori basa dengan pH 10.9. Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ahmad *et al.* (2021) bahwa pemberian *fly ash* dengan dosis 50%, meningkatkan pH tanah dari 6.8 menjadi 8.5. Kenaikan pH diduga karena kandungan utama *fly ash* seperti Ca, Mg, Na, dan K terlepas ke dalam tanah (Fernández-Jiménez dan Palomo 2003).

Tabel 2 Pengaruh remediasi tanah tercemar Pb dan Cd terhadap pH, KB, KTK, dan C-organik

Perlakuan	pH	KB	KTK	C-organik
		%	cmol(+)/Kg	%
C	4.73 a	98.69 ab	24.40 ab	1.30 bc
F1	6.98 c	127.85 abc	24.00 ab	1.06 ab
F2	7.22 d	153.69 c	22.40 a	0.79 a
A1	5.19 b	96.94 a	27.47 b	1.35 bcd
A2	5.23 b	108.85 ab	24.26 ab	1.94 e
S1	5.09 b	114.89 ab	27.60 b	1.86 e
S2	5.17 b	134.27 bc	24.53 ab	1.80 de
FAS1	7.00 c	147.47 c	22.40 a	1.64 cde
FAS2	7.19 d	186.93 d	20.93 a	2.12 e

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata dengan uji Duncan pada taraf 5%. C: kontrol; F1: *fly ash* 450 g; F2: 600 g; A1: pupuk kandang ayam 75 g; A2: pupuk kandang ayam 105 g; S1: pupuk kandang sapi 105 g; S2: pupuk kandang sapi 135 g; FAS1: 450g+75g+105g; FAS2: 600g+105g+135g.

Perlakuan FAS2 nyata meningkatkan KB tanah, yaitu 186.93% dibandingkan pada kontrol (C), F1, F2, A1, A2, S1, S2, dan FAS1 (Tabel 3). Kejenuhan basa didefinisikan sebagai persentase perbandingan antara jumlah kation dan total kapasitas tukar kation-nya. Jumlah kation akan meningkat seiring dengan bertambahnya nilai pH dikarenakan jumlah ion H⁺ menurun dalam larutan tanah (Gaspar dan Laboski 2016). Kenaikan KB akan meningkat seiring dengan meningkatnya nilai pH tanah (Kabala dan Labaz 2018).

Kenaikan kandungan C-organik paling tinggi dipengaruhi oleh perlakuan FAS2, yaitu 2.12%. Hal ini sesuai dengan yang disampaikan oleh Ram dan Mastro (2014) bahwa pemanfaatan *fly ash* dicampur dengan bahan organik sebagai bahan pembenah tanah memberikan pengaruh lebih baik terhadap kenaikan C-organik pada tanah.

Nilai KTK tertinggi diperoleh dari perlakuan S1, yaitu 27.6 cmol(+)/Kg dibandingkan dengan kontrol dan perlakuan lainnya. Secara umum, KTK dipengaruhi oleh tinggi rendahnya kandungan bahan organik di dalam tanah (Astera 2018). Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Tawanda *et al.* 2019) bahwa aplikasi pupuk

kandang sapi mampu meningkatkan KTK tanah yang semula 1.98 cmol(+)/Kg menjadi 3.57 cmol(+)/Kg.

Pengaruh Remediasi Tanah Tercemar Pb Dan Cd terhadap Basa Dapat Ditukar

Pemberian pupuk kandang sapi tunggal S1 dan S2 nyata paling tinggi menaikkan kadar Na_{dd}, yaitu 7.89 cmol(+)/Kg dan 8.76 cmol(+)/Kg dibandingkan dengan kontrol dan perlakuan pupuk kandang ayam tunggal berbagai level dosis dan kombinasi *fly ash* dengan pupuk kandang ayam dan sapi berbagai level dosis. Pemberian kombinasi FAS2 menunjukkan hasil yang berbeda nyata dengan kontrol, S1, S2, FAS1, tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan A1 dan A2 terhadap K dapat ditukar (K_{dd}). Perlakuan FAS2 tersebut menaikkan K_{dd} paling tinggi, yaitu 2.73 cmol(+)/Kg.

Pemberian perlakuan FAS2 memberikan hasil yang berbeda nyata terhadap peningkatan Mg_{dd} dibanding dengan kontrol dan perlakuan lainnya, yaitu 6.58 cmol(+)/Kg. Pengaruh F2 menunjukkan hasil yang berbeda nyata terhadap Ca_{dd} dibandingkan dengan kontrol, A1, A2, S1, dan S2, tetapi tidak berbeda nyata dengan F1, FAS1, dan FAS2.

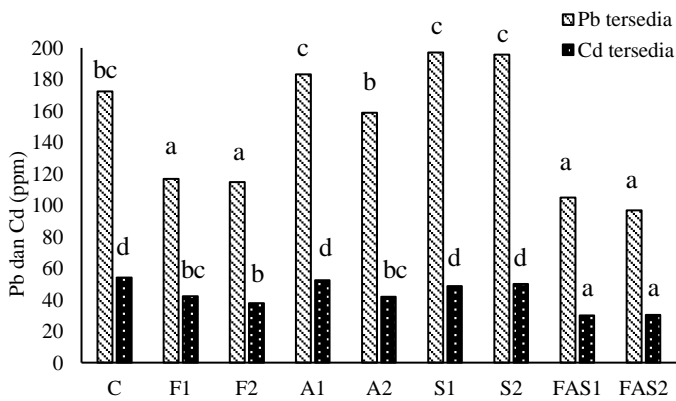
Tabel 3. Pengaruh remediasi tanah tercemar Pb dan Cd terhadap basa dapat ditukar.

Perlakuan	Na _{dd}	K _{dd}	Mg _{dd}	Ca _{dd}
	cmol(+)/Kg			
C	0,94 a	0,90 a	2,69 a	19,53 ab
F1	0,95 a	0,99 a	5,28 b	23,31 bc
F2	1,72 ab	0,97 a	5,84 b	25,61 c
A1	1,36 ab	2,10 bcd	3,29 a	19,63 ab
A2	3,16 bc	2,32 cd	3,19 a	17,24 a
S1	7,89 e	1,14 a	2,95 a	19,69 ab
S2	8,76 e	1,55 ab	2,63 a	19,39 ab
FAS1	3,73 c	1,93 bc	5,13 b	21,99 abc
FAS2	5,51 d	2,73 d	6,58 c	24,20 bc

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata dengan uji Duncan pada taraf 5%. C: kontrol; F1: *fly ash* 450 g; F2: 600 g; A1: pupuk kandang ayam 75 g; A2: pupuk kandang ayam 105 g; S1: pupuk kandang sapi 105 g; S2: pupuk kandang sapi 135 g; FAS1: 450g+75g+105g; FAS2: 600g+105g+135g.

Pengaruh Remediasi Menggunakan Amelioran terhadap Pb dan Cd Tersedia

Pemberian F1 dan F2 menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan FAS1 dan FAS2 dalam menurunkan konsentrasi Pb tersedia, tetapi berbeda nyata dengan kontrol, A1, A2, S1 dan S2 (Gambar 1). Pada perlakuan FAS1 dan FAS2 nyata menurunkan konsentrasi Cd tersedia dibandingkan F1, F2, A1 dan A2, S1, S2 serta kontrol.



Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata dengan uji Duncan pada taraf 5%. C: kontrol; F 1: *fly ash* 450 g; F2: 600 g; A1: pupuk kandang ayam 75 g; A2: pupuk kandang ayam 105 g; S1: pupuk kandang sapi 105 g; S2: pupuk kandang sapi 135 g; FAS1: 450g+75g+105g; FAS2: 600g+105g+135g.

Gambar 1. Pengaruh remediasi terhadap Pb dan Cd tersedia

Secara umum, Pb dan Cd sulit untuk dihilangkan dari dalam tanah karena mobilitasnya yang rendah dan dapat bertahan dalam waktu yang lama (Xu *et al.*, 2021; Gul *et al.*, 2019). Namun yang menjadi masalah adalah bila Pb dan Cd berada dalam bentuk yang tersedia. Salah satu cara untuk menurunkan kadar ketersediaan Pb dan Cd adalah dengan meningkatkan kemampuan tanah untuk menyerap unsur-unsur tersebut (Sudadi *et al.* 2018). Pada penelitian ini, perlakuan *fly ash*, baik tunggal maupun yang dikombinasikan dengan pupuk kandang ayam dan sapi, meningkatkan pH paling tinggi sekaligus menurunkan ketersediaan Pb dan Cd paling banyak dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa, pada saat kenaikan pH, Pb maupun Cd berikatan dengan senyawa hidroksida sehingga kelarutannya dalam tanah menurun. Jumlah OH⁻ yang meningkat menyebabkan terjadinya ikatan antara Cd²⁺ dan OH⁻ membentuk Cd(OH)₂ yang mengendap pada tanah (Xu *et al.* 2021). Pengendapan senyawa inilah yang menyebabkan mobilitas Pb dan Cd menurun (West 1993). Pada penelitian ini, penambahan pupuk kandang ayam dan sapi saja, kurang efektif dalam menurunkan konsentrasi Pb dan Cd tersedia. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Kumpiene *et al.* (2007), penambahan *fly ash* saja lebih efektif menurunkan kelarutan logam dibandingkan dengan penambahan bahan organik saja.

Pengaruh Remediasi Tanah Tercemar Pb dan Cd terhadap Pertumbuhan Tanaman Kangkung

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa amelioran berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan tanaman kangkung (Tabel 4). Pada usia 4 MST, tinggi tanaman pada perlakuan A2 dan S2 tidak berbeda nyata, tetapi berbeda dengan kontrol dan perlakuan lainnya. Selain itu, tinggi tanaman pada perlakuan A2 lebih tinggi dibandingkan dengan A1 dan S2 memiliki tinggi tanaman yang lebih tinggi dibanding dengan S1. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah dosis pupuk kandang, maka pertumbuhan tinggi tanaman kangkung semakin tinggi.

Pertumbuhan tinggi tanaman paling tinggi dipengaruhi oleh perlakuan penambahan pupuk kandang ayam dan pupuk kandang sapi, sedangkan perlakuan terendah dipengaruhi oleh pemberian perlakuan *fly ash* tunggal maupun yang dikombinasikan dengan pupuk kandang ayam dan sapi. Hal ini mengindikasikan bahwa *fly ash* belum mampu meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman kangkung.

Peningkatan dosis *fly ash* baik tunggal maupun yang dikombinasikan dengan pupuk kandang ayam dan sapi menurunkan jumlah daun kangkung. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian dosis *fly ash* dalam jumlah yang lebih rendah memiliki pertumbuhan yang lebih baik.

Tabel 4. Pengaruh remediasi tanah tercemar Pb dan Cd terhadap pertumbuhan tanaman kangkung pada usia 28 HST

Perlakuan	Tinggi tanaman	Jumlah daun	Bobot basah	Bobot kering
	(cm)	(helai)	(g)	(g)
C	26.10 c	11 cd	16.23 ab	1.96 b
F1	9.90 ab	6 ab	1.00 a	0.14 a
F2	6.00 a	3 a	0.56 a	0.10 a
A1	30.26 cd	12 d	39.70 cd	4.10 c
A2	34.36 d	15 d	43.90 d	4.10 c
S1	30.56 cd	14 d	27.43 bc	2.76 bc
S2	32.83 d	14 d	32.53 cd	3.40 bc
FAS1	13.26 b	8 bc	2.43 a	0.32 a
FAS2	8.66 ab	4 a	0.80 a	0.12 a

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata dengan uji Duncan pada taraf 5%. C: kontrol; F1: *fly ash* 450 g; F2: 600 g; A1: pupuk kandang ayam 75 g; A2: pupuk kandang ayam 105 g; S1: pupuk kandang sapi 105 g; S2: pupuk kandang sapi 135 g; FAS1: 450g+75g+105g; FAS2: 600g+105g+135g.

Perlakuan A2 nyata paling tinggi meningkatkan bobot basah berangkasan tanaman kangkung dan perlakuan paling rendah adalah penambahan F2. Penambahan A2 tidak berbeda nyata dengan A1 dan S2, tetapi berbeda nyata dengan S1. Hal ini menunjukkan bahwa pupuk kandang ayam lebih baik dalam meningkatkan bobot basah berangkasan tanaman kangkung pada tanah yang tercemar Pb dan Cd. Pada perlakuan pupuk kandang ayam dan sapi dengan jumlah dosis yang sama, yaitu A2 (105g) dan S1 (105g) menunjukkan bahwa bobot basah berangkasan nyata lebih tinggi pada perlakuan A2. Hal ini menjelaskan bahwa pemanfaatan pupuk kandang ayam lebih efektif dalam meningkatkan bobot berangkasan tanaman kangkung dibandingkan dengan pupuk kandang sapi.

Selanjutnya, semakin tinggi penambahan jumlah dosis *fly ash* yang diberikan, baik secara tunggal maupun yang dikombinasikan dengan pupuk kandang ayam dan sapi, semakin menurunkan bobot basah pada tanaman kangkung. Hal ini menunjukkan bahwa dosis *fly ash* yang digunakan pada penelitian ini belum mampu meningkatkan bobot basah berangkasan tanaman kangkung.

Pengaruh aplikasi *fly ash* baik secara tunggal maupun yang dikombinasikan dengan pupuk kandang ayam dan sapi memberikan hasil tidak berbeda nyata terhadap bobot kering berangkasan kangkung. Selain itu, perlakuan pemberian *fly ash* berbagai dosis memberikan hasil bobot kering berangkasan lebih rendah dibandingkan dengan kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa pada penelitian ini,

dosis *fly ash* tidak mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman kangkung.

Secara umum, penambahan bahan organik mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman kangkung, sedangkan *fly ash* baik tunggal maupun yang dikombinasikan dengan pupuk kandang ayam belum mampu meningkatkan pertumbuhan. Secara perhitungan statistik, penambahan *fly ash* yang dikombinasikan dengan pupuk kandang ayam dan sapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan *fly ash* saja. Namun, bila dibandingkan, kombinasi *fly ash* dengan kedua pupuk kandang menunjukkan hasil yang lebih tinggi daripada perlakuan *fly ash* saja terhadap pertumbuhan tanaman kangkung.

SIMPULAN

Pemberian *fly ash*, pupuk kandang ayam dan sapi mampu meningkatkan pH, KB, C-organik, dan basa-basa tanah serta menurunkan kadar ketersediaan Pb dan Cd. Pemberian *fly ash* saja mampu menurunkan kadar ketersediaan Pb. Pemberian kombinasi *fly ash* dengan pupuk kandang ayam dan pupuk kandang sapi adalah perlakuan terbaik untuk menurunkan kadar Pb dan Cd tersedia. Namun, dalam penelitian ini aplikasi *fly ash*, baik tunggal maupun yang dikombinasikan dengan pupuk kandang ayam dan sapi, belum mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman kangkung.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, G., A.A. Khan and H.I. Mohamed. 2021. Impact of the low and high concentrations of fly ash amended soil on growth, physiological response, and yield of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch. Ex Poiret L.). *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 28(14): 17068–17083.
- Ahmaruzzaman, M. 2010. A review on the utilization of fly ash. *Prog. Energy Combust. Sci.*, 36(3): 327–363.
- Arao, T., S. Ishikawa, M. Murakami, K. Abe, Y. Maejima and T. Makino. 2010. *Heavy metal contamination of agricultural soil and countermeasures in Japan*. Volume ke-8.
- Astera, M. 2018. Cation Exchange Capacity in Soils, Simplified. Di dalam: *The Ideal Soil: A Handbook for the New Agriculture v2.0*. Vol. 2. hlm. 11.
- Baghaie, A., A.H. Khoshgofarmanesh, M. Afyuni and R. Schulin. 2011. The role of organic and inorganic fractions of cow manure and biosolids on lead sorption. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 57(1): 11–18.
- Darmawan and S.I. Wada. 1999. Kinetics of speciation of copper, lead, and zinc loaded to soils that differ in cation exchanger composition at low moisture content. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 30(17–18): 2363–2375.
- Eviati dan Sulaeman. 2009. *Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Ed ke-2 Prasetyo BH, Santoso D, W LR, editor. Bogor.
- Fernández-Jiménez, A. and A. Palomo. 2003. Characterisation of fly ashes. Potential reactivity as alkaline cements. *Fuel.*, 82(18): 2259–2265.
- Gaspar, A.P. and C.A.M. Laboski. 2016. Base Saturation: What Is It? Should I Be Concerned? Does It Affect My Fertility Program?. *Proc. of the 2016 Wisconsin Crop Management Conference*, 55: 55–62.
- Gul, I., M. Manzoor, I. Hashmi, M.F. Bhatti, J. Kallerhoff and M. Arshad. 2019. Plant uptake and leaching potential upon application of amendments in soils spiked with heavy metals (Cd and Pb). *J. Environ. Manage*, 249(February).
- Kabała, C. and B. Łabaz. 2018. Relationships between soil pH and base saturation - Conclusions for Polish and international soil classifications. *Soil Sci. Annu.*, 69(4): 206–214.
- Khanam, R., A. Kumar, A.K. Nayak, M. Shahid, R. Tripathi, S. Vijayakumar, D. Bhaduri, U. Kumar, S. Mohanty and P. Panneerselvam. 2020. Metal(loid)s (As, Hg, Se, Pb and Cd) in paddy soil: Bioavailability and potential risk to human health. *Sci. Total Environ.*, 699: 134330.
- Kumpiene, J., A. Lagerkvist and C. Maurice. 2007. Stabilization of Pb- and Cu-contaminated soil using coal fly ash and peat. *Environ. Pollut.*, 145(1): 365–373.
- Liu, L., H. Chen, P. Cai, W. Liang and Q. Huang. 2009. Immobilization and phytotoxicity of Cd in contaminated soil amended with chicken manure compost. *J. Hazard. Mater.*, 163(2–3): 563–567.
- Matsi, T. and V.Z. Keramidias. 1999. Fly ash application on two acid soils and its effect on soil salinity, pH, B, P and on ryegrass growth and composition. *Environ. Pollut.*, 104(1): 107–112.
- Mohammadi, A.A., A. Zarei, M. Esmaeilzadeh, M. Taghavi, M. Yousefi, Z. Yousefi, F. Sedighi and S. Javan. 2020. Assessment of Heavy Metal Pollution and Human Health Risks Assessment in Soils Around an Industrial Zone in Neyshabur, Iran. *Biol. Trace Elem. Res.*, 195(1): 343–352..
- Mudgal, V., N. Madaan, A. Mudgal, R.B. Singh and S. Mishra. 2010. Effect of toxic metals on human health. *Open Nutraceuticals J.*, 3(1): 94–99.
- Ram, L.C. and R.E. Mastro. 2014. Fly ash for soil amelioration: A review on the influence of ash blending with inorganic and organic amendments. *Earth-Science Rev.*, 128(October): 52–74.
- Sandeep, G., K.R. Vijayalatha and T. Anitha. 2019. Heavy metals and its impact in vegetable crops. ~ 1612 ~ *Int. J. Chem. Stud.*, 7(1): 1612–1621.
- Shaheen, S.M., P.S. Hooda and C.D. Tsadilas. 2014. Opportunities and challenges in the use of coal fly ash for soil improvements - A review. *J. Environ. Manage.*, 145: 249–267.
- Sudadi, U., S. Sabiham, A. Sutandi dan M.S. Saeni. 2018. Inaktivasi In Situ Pencemaran Kadmium dan plumbum pada Tanah Pertanian Menggunakan

- Amelioran dan Pupuk pada Dosis Rasional untuk Budidaya Tanaman [Disertasi]. IPB University. Bogor.
- Tawanda, M., A.T. Kugedera and L.K. Kokerai. 2019. Role of cattle manure and inorganic fertilizers in improving maize productivity in semi-arid areas of zimbabwe. *Octa J. Environ. Res.*, 7(3): 122–129.
- Tinajero, M.P. 2023. *Becoming Soil : Five Contemporary Cases in Eco Materialism (On Art , Fermentation, and Soil Remediation)* [Disertasi]. The Institute for Doctoral Studies in the Visual Art. Portland.
- Wang, F.Y., Z.Y. Shi, X.F. Xu, X.G. Wang, Y.J. Li. 2013. Contribution of AM inoculation and cattle manure to lead and cadmium phytoremediation by tobacco plants. *Environ. Sci. Process. Impacts*, 15(4): 794–801.
- West, S.S. 1993. pH influence on selectivity and retention of heavy metals in some clay soils. *Can. Geotech. J.*, 30: 821-833.
- Xu, D., P. Ji, L. Wang, X. Zhao, X. Hu, X. Huang, H. Zhao and F. Liu. 2021. Effect of modified fly ash on environmental safety of two soils contaminated with cadmium and lead. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 215: 112175.
-