PENGARUH KOMPOS DAN BIOCHAR TERHADAP FITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR KADMIUM DARI LUMPUR LAPINDO MENGGUNAKAN KANGKUNG DARAT

Effect of Compost and Biochar on Phytoremediation of Soil Contaminated with Cadmium from Lapindo Mud Volcano Using Water Spinach

Nina Dwi Lestari*, Ahmad Nugraha Aji

Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran no 1, Malang 65145

* Penulis korespondensi: nd_lestari@yahoo.com

Abstract

Lapindo Mudflow in Sidoarjo in 2006 brought heavy metals cadmium (Cd) that polluted the soil and environment around the affected area. Phytoremediation using water spinach (*Ipomea reptans*) is one of the alternatives to decrease the heavy metal pollution on Lapindo mud. The organic materials (compost and biochar) can also be used to reduce the contamination of heavy metals in soils. The aim of this study was to obtain the best composition of organic matter and biochar to support phytoremediation using water spinach plant in the cadmium-polluted soil. The study was conducted in a greenhouse with eight treatments consisted of four levels of organic matter application. The parameters measured were plant height, number of leaves, pH, CD content, and uptake of Cd. The results showed that there was a significant effect on the addition of compost and biochar on plant growth, Cd content, and Cd uptake. Results of the study showed that the addition of compost gave better results than that of biochar. The best treatment was on K7 (contaminated soil : compost : biochar; 1:1:1) for all parameters observed. Compared to the K0 (control) treatment, height of the plant increased up to 24%, the number of leaves increased up to 100%, the Cd content in the roots and shoots increased up to 44% and 95%, the content of the Cd in the planting media after the planting period decreased by 61%.

Keywords: *cadmium, phytoremediation, uptake*

Pendahuluan

Musibah munculnya lumpur Lapindo yang terjadi di Sidoarjo pada tahun 2006 menjadi salah satu musibah dengan kerugian besar. Areal persawahan, pemukiman penduduk dan kawasan industri ikut terkena dampak lumpur panas ini dengan volume lumpur yang besar, yaitu sekitar 5.000 m³ - 50.000 m³ per hari (Elika *et al.*, 2017). Semburan ini juga membawa logam-logam berat yang berbahaya bagi lingkungan apabila melebihi ambang batas. Lumpur Lapindo mengandung beberapa unsur logam seperti Cu (Tembaga) sebesar 20-29 ppm dan logam Pb (Timbal) 6-7 ppm (Elika *et al.*, 2017). Pada penelitian terdahulu, pengujian kandungan

kadmium (Cd) yang dilakukan pada tanah tercemar lumpur Lapindo di sekitar area Desa Renokenongo yang terletak di sisi luar tanggul lumpur Lapindo menunjukkan nilai Cd sebesar 28,84 mg/kg (Fitra *et al.*, 2013). Keberadaan kadmium yang berlebih di dalam tanah dapat berakibat buruk bagi makhluk hidup khususnya manusia. Logam berat kadmium dapat berakumulasi dalam tubuh manusia dan sangat sulit untuk dikeluarkan sehingga dapat mengganggu kinerja tubuh manusia.

Penanggulangan pencemaran logam berat yang diakibatkan dari lumpur Lapindo dapat dilakukan dengan cara fitoremediasi. Menurut Nur (2013), teknik fitoremediasi merupakan

metode pemulihan kualitas lingkungan tercemar yang ramah lingkungan dan murah. Terdapat berbagai tanaman hiperakumulator yang dapat digunakan dalam proses fitoremediasi, salah satunya adalah tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans*). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Liong, *et al.*, (2009), kangkung darat dapat mengakumulasi logam berat Cd hingga 3.318 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman kangkung darat merupakan tanaman hiperakumulator Cd.

Selain menggunakan tanaman, penggunaan bahan organik juga dapat dilakukan untuk mengurangi cemaran logam berat di tanah. Salah satu upaya tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan kompos dan biochar. Bahan organik kompos memiliki kandungan asam humat yang dapat mengkhelat unsur logam (Beesley *et al.*, 2014). Asam humat merupakan bahan yang memiliki potensi dalam memperbaiki kondisi tanah dengan kemampuannya untuk berinteraksi dengan ion logam, oksida dan hidroksida, termasuk zat pencemar lainnya (Trevisan *et al.*, 2010). Sedangkan biochar memiliki sifat yang alkalin sehingga dapat menyebabkan logam berat berubah menjadi ke bentuk tidak tersedia di dalam tanah (Khan *et al.*, 2018).

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh kompos dan biochar terhadap fitoremedias tanah tercemar cadmium menggunakan tanaman kangkung darat.

Metode Penelitian

Waktu dan tempat penelitian

Pengambilan sampel tanah dilakukan di area luar tanggul lumpur panas Lapindo pada bulan Maret 2019. Persiapan media tanam dan penanaman kangkung dilakukan di rumahkaca Sekolah Tinggi Penyuluhan Pertanian (STPP) Malang pada bulan April-Mei 2019. Analisis kandungan kadmium pada tanah dan tanaman dilakukan di Laboratorium Kimia Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang.

Rancangan penelitian

Bahan yang digunakan selama penelitian ini adalah benih tanaman kangkung darat, tanah tercemar lumpur Lapindo, pupuk kompos, biochar. Penelitian dilakukan dengan menggunakan rancangan acak lengkap.

Terdapat delapan perlakuan (Tabel 1), dan tiga kali ulangan sehingga terdapat 24 unit sampel penelitian..

Tabel 1. Perlakuan penelitian.

Kode	Perlakuan Komposisi Media Tanam
K0	Kontrol (100% tanah tercemar)
K1	Komposisi tanah tercemar dan kompos 3:1
K2	Komposisi tanah tercemar dan kompos 1:1
K3	Komposisi tanah tercemar dan kompos 1:3
K4	Komposisi tanah tercemar dan biochar 3:1
K5	Komposisi tanah tercemar dan biochar 1:1
K6	Komposisi tanah tercemar dan biochar 1:3
K7	Komposisi tanah tercemar, kompos dan biochar 1:1:1

Perlakuan dengan kode K0 merupakan kontrol dengan 100% menggunakan tanah tercemar sebagai media tanam. K1, K2, dan K3 merupakan gabungan antara tanah tercemar dan kompos sebagai media tanam dengan masing-masing komposisi yaitu 3:1, 1:1, dan 1:3. K4, K5, dan K6 merupakan gabungan antara tanah tercemar dan biochar sebagai media tanam dengan masing-masing komposisi yaitu 3:1, 1:1, dan 1:3. K7 merupakan gabungan antara ketiga bahan dengan komposisi 1:1:1.

Pelaksanaan penelitian

Pengambilan sampel tanah dilakukan di sisi luar tanggul lumpur Lapindo yang termasuk ke dalam wilayah Desa Renokenong, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo. Sampel tanah didapatkan dengan cara komposit di lima titik pada kedalaman 0-20 cm. Pengambilan sampel tanah ini selanjutnya akan digunakan untuk analisis dasar dan sebagai bahan media tanam. Persiapan media tanam dilakukan dua minggu sebelum tanam. Media penanaman yang digunakan adalah polybag dengan ukuran 25 cm × 25 cm yang berisi tanah tercemar lumpur Lapindo dan perlakuan komposisi bahan organik dengan berat total sebesar 4 kg/polybag. Polybag yang telah berisi media

tanam tersebut kemudian dидiamkan selama satu minggu sebelum dilakukan penanaman tanaman. Penanaman menggunakan benih kangkung darat varietas Bangkok. Varietas ini memiliki daun lebar, cocok ditanam di dataran rendah-menengah dan dapat dipanen pada umur 20-30 hari setelah tanam. Sebelum melakukan penanaman, benih kangkung darat terlebih dahulu disemai selama 1 minggu di media tray. Setelah bibit berumur 1 minggu, bibit dipindahkan ke polybag percobaan dengan memilih bibit yang memiliki tinggi yang seragam.

Pemanenan dilakukan saat tanaman berumur 28 HST. Pemanenan tanaman kangkung dilakukan dengan cara mencabut hingga ke akar-akarnya. Akar harus dibersihkan dengan air setelah tercabut agar tidak ada media tanam yang terikut. Kegiatan analisis dasar yang dilakukan pada tanah tercemar, biochar, dan

kompos diantaranya adalah analisis kandungan Cd, pH, N total, C-Organik, dan C/N Rasio (Tabel 2). Analisis akhir parameter yang diuji diantaranya adalah kandungan Cd pada media tanam dan pada tanaman menggunakan metode AAS. Data hasil pengamatan baik pengamatan langsung maupun hasil dari analisis laboratorium selanjutnya dianalisis. Data pH media tanam, tinggi tanaman, jumlah daun, dan kandungan kadmium (Cd) pada media tanam, akar, dan tajuk yang telah didapatkan dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) dengan taraf 5% untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh nyata dari perlakuan. Apabila terdapat pengaruh nyata dari perlakuan, maka diperlukan uji lanjutan yaitu uji DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) pada taraf 5% untuk mengetahui perbedaan diantara perlakuan. Semua uji analisis data ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi Genstat 2018.

Tabel 2. Analisis dasar.

Bahan	N total (%)	C-organik (%)	Rasio C/N	pH	Cd (mg/kg)
Tanah tercemar	0,14	1,07	7,64	5,4	8,34
Kompos	3,70	11,46	3,10	6,4	-
Biochar	0,18	9,71	53,94	7,4	-

Perhitungan akumulasi logam kadmium (Cd) dilakukan dengan menggunakan indikator *Biological Concentration Factor* (BCF) dan *Translocation Factor* (TF). Perhitungan kadmium (Cd) dilakukan dengan menggunakan rumus:

Serapan logam Cd = Konsentrasi $\times$ berat kering (akar/tajuk)

$$BCF = \frac{\text{Konsentrasi logam berat pada tanaman}}{\text{Konsentrasi logam berat pada tanah}}$$

$$TF = \frac{\text{Konsentrasi logam berat pada tajuk}}{\text{Konsentrasi logam berat pada akar}}$$

Hasil dan Pembahasan

Tinggi tanaman fitoremediator

Hasil analisis statistik dari pengukuran parameter tinggi tanaman yang dilakukan menunjukkan hasil yang berbeda nyata. Penambahan komposisi bahan organik kompos dan biochar memengaruhi hasil tinggi tanaman

pada setiap minggunya (Tabel 3). Pada 7 HST tinggi tanaman terendah dimiliki oleh perlakuan K6 yaitu 13,2 cm dan pada 14 HST tinggi tanaman terendah dimiliki oleh perlakuan K4 yaitu 21,0 cm. Pada 21 HST dan 28 HST tinggi tanaman terendah dimiliki oleh perlakuan K0 yaitu 29,5 cm dan 34,9 cm. Pada 7 HST, 14 HST, 21 HST, dan 28 HST, tinggi tanaman tertinggi dimiliki oleh perlakuan K7 yaitu 16,4 cm, 25,9 cm, 36,1 cm, dan 43,3 cm. Hasil tinggi tanaman lainnya disajikan pada Tabel 3. Pada perlakuan K1, K2, dan K3 di akhir masa tanam (28 HST), menunjukkan bahwa semakin besar komposisi kompos yang diberikan akan semakin meningkatkan tinggi tanaman kangkung darat. Perlakuan K4, K5, K6 menunjukkan bahwa tinggi tanaman dengan penambahan biochar tunggal tidak melebihi tinggi tanaman yang diberikan perlakuan kompos tunggal. Hal ini karena pada hasil analisis awal, diketahui bahwa kandungan N total pada kompos lebih tinggi dibandingkan kandungan N total pada biochar dan tanah tercemar lumpur Lapindo.

Tabel 3. Tinggi tanaman kangkung darat.

Kode	Tinggi Tanaman (cm)			
	7 HST	14 HST	21 HST	28 HST
K0	14,2 abc	21,7 ab	29,5 a	34,9 a
K1	14,9 bc	23,7 bc	33,3 abc	39,5 bc
K2	15,2 bcd	23,9 cd	33,5 bc	40,2 bcd
K3	15,5 cd	24,5 cd	34,3 bc	40,9 cd
K4	14,4 abc	21,0 a	29,6 a	36,9 ab
K5	14,0 ab	22,0 ab	30,6 ab	37,6 abc
K6	13,2 a	23,2 bc	32,9 abc	38,1 abc
K7	16,4 d	25,9 d	36,1 c	43,3 d

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil tidak berbeda nyata menurut uji DMRT taraf 5%; HST: Hari Setelah Tanam; K0 (100% Tanah tercemar); K1 (Tanah Tercemar : Kompos = 3:1); K2 (Tanah Tercemar : Kompos = 1:1); K3 (Tanah Tercemar : Kompos = 1:3); K4 (Tanah Tercemar : Biochar = 3:1); K5 (Tanah Tercemar : Biochar = 1:1); K6 (Tanah Tercemar : Biochar = 1:3); K7 (Tanah Tercemar : Kompos:Biochar = 1:1:1).

Kandungan N total pada biochar yang sebesar 0,179 dapat dikategorikan rendah berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh Pusat Penelitian Tanah (1983), sehingga penambahan biochar saja tidak akan memberikan unsur hara yang cukup bagi tanaman meskipun biochar memiliki bahan organik yang tinggi dan merupakan bahan pembenah tanah yang baik (Tambunan, *et al.*, 2014). Pada 28 HST, perlakuan K7 dengan komposisi penambahan kompos dan biochar 1:1:1, memiliki pertumbuhan tinggi tanaman yang terbaik. Hal ini disebabkan karena kompos memberikan semua unsur hara dan garam mineral yang dibutuhkan sedangkan biochar membantu menjaga tanah agar tetap lembab sehingga air dan unsur hara dapat tertahan di tanah (Santi dan Goenadi, 2010).

Jumlah daun tanaman fitoremediator

Pada 7 HST dan 21 HST, pemberian bahan organik kompos dan biochar tidak memberikan pengaruh yang nyata karena pada 2 minggu pertama jumlah daun pada tanaman kangkung darat dari keseluruhan perlakuan memiliki jumlah yang hampir seragam. Pada 21 HST jumlah daun terendah dimiliki oleh K0 yaitu sebanyak 14 helai, diikuti oleh K6 sebanyak 15 helai dan K1 sebanyak 16 helai. Pada waktu yang sama, jumlah daun tertinggi dimiliki oleh perlakuan K7 dengan jumlah daun 25 helai. Pada 28 HST, jumlah daun terendah terdapat pada perlakuan K0 dengan jumlah 23 helai dan perlakuan K6 dengan jumlah daun 27 helai, sedangkan jumlah daun tertinggi dimiliki oleh

perlakuan K7 dengan jumlah daun sebanyak 46 helai. Jumlah daun pada tanaman kangkung darat selengkapnya disajikan pada Tabel 4. Pada perlakuan K1, K2, dan K3 di akhir masa tanam (28 HST), menunjukkan bahwa semakin besar komposisi kompos yang diberikan akan meningkatkan pertumbuhan jumlah daun tanaman kangkung darat. Pada perlakuan K4, K5, K6 menunjukkan bahwa jumlah daun tanaman kangkung darat dengan penambahan biochar tunggal tidak melebihi jumlah daun tanaman kangkung darat yang diberikan perlakuan kompos tunggal. Banyaknya jumlah daun yang dihasilkan oleh tanaman berhubungan erat dengan tinggi tanaman. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Wibowo dan Sitawati (2017), jumlah daun berkaitan dengan tinggi tanaman karena semakin tinggi tanaman akan semakin banyak ruas batang yang akan menjadi tempat keluarnya daun.

Pada 28 HST, perlakuan K7 dengan komposisi penambahan kompos dan biochar 1:1:1, memiliki jumlah daun yang terbaik. Menurut pendapat Atkinson, *et al.*, (2010), penambahan kompos dan biochar menghasilkan efek sinergis positif dengan meningkatkan ketersediaan nutrisi, meningkatkan kapasitas penahanan air dan meningkatkan struktur pori tanah karena biochar sangat berpori sehingga biochar mencegah terjadinya pencucian nutrisi di tanah Sumber Misto

Tabel 4. Jumlah daun tanaman kangkung darat.

Kode	Jumlah Daun (Helai)			
	7 HST	14 HST	21 HST	28 HST
K0	7	9	14 a	23 a
K1	8	10	16 a	37 cd
K2	7	9	17 ab	39 cde
K3	7	10	21 c	44 de
K4	6	10	15 a	27 a
K5	7	9	20 bc	28 ab
K6	7	9	17 ab	35 bc
K7	7	10	25 d	46 e

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil tidak berbeda nyata menurut uji DMRT taraf 5%; HST: Hari Setelah Tanam; K0 (100% Tanah tercemar); K1 (Tanah Tercemar : Kompos = 3:1); K2 (Tanah Tercemar : Kompos = 1:1); K3 (Tanah Tercemar : Kompos = 1:3); K4 (Tanah Tercemar : Biochar = 3:1); K5 (Tanah Tercemar : Biochar = 1:1); K6 (Tanah Tercemar : Biochar = 1:3); K7 (Tanah Tercemar : Kompos:Biochar = 1:1:1).

Berat kering tanaman fitoremediator

Pengukuran berat kering pada akar dan tajuk ini dilakukan untuk mengetahui serapan logam berat kadmium yang terdapat pada akar dan tajuk tanaman fitoremediator. Menurut Handayanto, *et al.*, (2017), berat kering tanaman berpengaruh terhadap tinggi serapan logam yang diakumulasi di dalam tubuh tanaman. Berat kering akar dan tajuk tanaman kangkung darat selengkapnya disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Berat kering tanaman kangkung darat.

Kode	Akar (gram)	Tajuk (gram)
K0	0,58 a	1,24 a
K1	0,97 d	1,99 c
K2	1,09 e	2,33 d
K3	1,19 f	2,44 d
K4	0,67 b	1,35 a
K5	0,74 b	1,63 b
K6	0,84 c	1,76 bc
K7	1,35 g	2,54 d

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil tidak berbeda nyata menurut uji DMRT taraf 5%; K0 (100% Tanah tercemar); K1 (Tanah Tercemar : Kompos = 3:1); K2 (Tanah Tercemar : Kompos = 1:1); K3 (Tanah Tercemar : Kompos = 1:3); K4 (Tanah Tercemar : Biochar = 3:1); K5 (Tanah Tercemar : Biochar = 1:1); K6 (Tanah Tercemar : Biochar = 1:3); K7 (Tanah Tercemar : Kompos:Biochar = 1:1:1)

Tabel 5 menunjukkan bahwa perlakuan K7 memiliki berat kering akar dan berat kering tajuk tertinggi dengan nilai masing-masing 1,35 g dan 2,54 g. Berat kering terendah terdapat pada perlakuan K0 dengan nilai 0,58 g pada akar dan 1,24 g pada tajuk. Tabel 5 juga menunjukkan bahwa perlakuan pemberian kompos tunggal memiliki hasil berat kering yang lebih baik apabila dibandingkan dengan perlakuan pemberian biochar tunggal. Hasil tersebut dapat terjadi karena pada parameter tinggi tanaman dan jumlah daun, perlakuan dengan penambahan kompos baik secara tunggal maupun dikombinasikan dengan biochar memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan perlakuan dengan penambahan biochar tunggal. Hal ini diperkuat oleh pendapat Putra, *et al.*, (2018) yang berpendapat bahwa nilai berat kering pada tanaman bergantung kepada panjang daun dan jumlah daun.

Kadar kadmium pada media tanam

Hasil analisis logam berat kadmium (Cd) setelah ditanam mengalami penurunan apabila dibandingkan dengan nilai kadar logam berat kadmium (Cd) di awal yaitu sebesar 3,64 mg/kg (Tabel 6). Dari hasil analisis statistik yang dilakukan, diketahui bahwa penambahan bahan organik kompos dan biochar berpengaruh nyata terhadap kandungan logam berat kadmium (Cd) pada media tanam. Pada perlakuan K0 (kontrol), kandungan logam berat kadmium (Cd) pada media tanam setelah masa tanam berakhir memiliki kandungan yang paling tinggi

dibandingkan perlakuan lainnya yaitu sebesar 1,08 mg/kg. Pada perlakuan K7, kandungan logam berat kadmium (Cd) pada media tanam memiliki kandungan logam berat yang terendah dibandingkan perlakuan lainnya yaitu sebesar 0,42 mg/kg. Hasil analisis AAS yang menunjukkan kandungan logam berat pada media tanah disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Konsentrasi kadmium pada media tanam.

Kode	Konsentrasi Cd (mg/kg)
K0	1,08 e
K1	0,66 bc
K2	0,65 bc
K3	0,61 b
K4	0,91 d
K5	0,78 c
K6	0,72 bc
K7	0,42 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil tidak berbeda nyata menurut uji DMRT taraf 5%; K0 (100% Tanah tercemar); K1 (Tanah Tercemar : Kompos = 3:1); K2 (Tanah Tercemar : Kompos = 1:1); K3 (Tanah Tercemar : Kompos = 1:3); K4 (Tanah Tercemar : Biochar = 3:1); K5 (Tanah Tercemar : Biochar = 1:1); K6 (Tanah Tercemar : Biochar = 1:3); K7 (Tanah Tercemar : Kompos:Biochar = 1:1:1)

Tabel 6 menunjukkan bahwa penambahan bahan organik kompos secara tunggal (K1, K2, K3) lebih baik apabila dibandingkan dengan penambahan bahan organik biochar secara tunggal (K4, K5, K6). Kandungan asam humat pada kompos yang lebih banyak dibandingkan pada biochar menyebabkan lebih sedikitnya kandungan kadmium (Cd) pada media tanam dengan penambahan kompos dibandingkan media tanam dengan penambahan biochar. Kandungan asam-asam organik seperti asam humat pada media tanam berpengaruh terhadap ketersediaan logam berat pada media tanam. Menurut pendapat Chirakkara dan Reddy (2015), kehadiran asam-asam organik seperti asam humat dan asam fulvat pada kompos dapat mengurangi bioavailabilitas bahan-bahan pencemar tanah seperti logam berat. Pada penelitian lain, Hamzah *et al.*, (2012) mengemukakan bahwa pemberian pupuk kandang dan biochar akan berperan sebagai

sumber asam-asam organik yang mampu mengontrol kelarutan logam-logam dalam tanah. Selain itu Hamzah, *et al.*, (2012) juga berpendapat bahwa asam organik ini mengkhelat unsur logam berat yang beracun sehingga menjadi tidak berbahaya bagi tanaman. Seluruh hasil analisis kadar kadmium (Cd) pada media tanam setelah kegiatan fitoremediasi menunjukkan bahwa kandungan kadmium (Cd) masih berada dalam ambang batas karena ambang batas kandungan Cd di tanah hanya sebesar 1-7 mg/kg (Barchia, 2009).

Konsentrasi dan serapan kadmium pada akar

Konsentrasi logam berat kadmium (Cd) yang terdapat di dalam tanah dapat terserap masuk ke dalam tanaman melalui akar tanaman. Pada perlakuan K0 (kontrol), konsentrasi dan serapan logam berat kadmium (Cd) pada akar tanaman memiliki nilai yang paling rendah yaitu sebesar 0,34 mg/kg dan 0,195 µg/tanaman. Perlakuan K4 juga memiliki konsentrasi dan serapan logam berat kadmium (Cd) yang terendah yaitu sebesar 0,35 mg/kg dan 0,231 µg/tanaman karena tidak berbeda nyata dengan perlakuan K0. Pada perlakuan K7, konsentrasi dan serapan logam berat kadmium (Cd) pada akar tanaman memiliki nilai yang tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya yaitu sebesar 0,49 mg/kg dan 0,666 µg/tanaman.

Tabel 7 menunjukkan bahwa penambahan bahan organik kompos secara tunggal (K1, K2, K3) lebih baik apabila dibandingkan dengan penambahan bahan organik biochar secara tunggal (K4, K5, K6). Hal tersebut disebabkan karena kandungan asam humat pada kompos lebih banyak dibandingkan pada biochar. Kandungan asam humat pada bahan organik seperti kompos dapat membentuk ikatan dengan ion logam, kompleks logam-organik ini nantinya dapat bergerak ke zona perakaran serta masuk ke dalam akar melalui membran sel sehingga logam berat tersebut dapat terserap lebih banyak ke tanaman (Khan dan Khan, 1983). Pada akar, peningkatan konsentrasi logam berat Cd tertinggi (44%) ditemukan pada perlakuan K7. Penambahan bahan organik dengan kombinasi kompos dan biochar dapat meningkatkan penyerapan logam berat kadmium (Cd) ke bagian tanaman karena pertumbuhan tanaman ditunjang dengan baik.

Tabel 7. Konsentrasi dan serapan kadmium pada akar tanaman.

Kode	Konsentrasi Cd (mg/kg)	Serapan Cd (µg/tanaman)
K0	0,34 a	0,195 a
K1	0,40 ab	0,385 cd
K2	0,42 abc	0,459 de
K3	0,45 bc	0,536 e
K4	0,35 a	0,231 a
K5	0,37 ab	0,273 ab
K6	0,40 ab	0,339 bc
K7	0,49 c	0,666 f

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil tidak berbeda nyata menurut uji DMRT taraf 5%; K0 (100% Tanah tercemar); K1 (Tanah Tercemar : Kompos = 3:1); K2 (Tanah Tercemar : Kompos = 1:1); K3 (Tanah Tercemar : Kompos = 1:3); K4 (Tanah Tercemar : Biochar = 3:1); K5 (Tanah Tercemar : Biochar = 1:1); K6 (Tanah Tercemar : Biochar = 1:3); K7 (Tanah Tercemar : Kompos:Biochar = 1:1:1)

Konsentrasi dan serapan kadmium pada tajuk

Kandungan logam kadmium (Cd) yang sudah terserap oleh akar, selanjutnya akan disebarkan ke seluruh bagian tanaman dengan cara ditranslokasikan. Konsentrasi logam berat kadmium (Cd) yang terdapat di tajuk tanaman kangkung darat berkisar antara 0,22 mg/kg-0,43 mg/kg, sedangkan serapan logam berat kadmium (Cd) berkisar antara 0,275 µg/tanaman-1,083 µg/tanaman. Konsentrasi dan serapan logam berat kadmium (Cd) pada tajuk yang terendah terdapat pada perlakuan K0 (kontrol) dengan nilai 0,22 mg/kg dan 0,275 µg/tanaman, sedangkan konsentrasi dan serapan logam berat kadmium tertinggi terdapat pada perlakuan K7 dengan nilai 0,43 mg/kg dan 1,083 µg/tanaman. Konsentrasi logam berat kadmium yang terdapat di tajuk ini nantinya dapat digunakan untuk mengetahui nilai faktor translokasi. Kandungan logam kadmium (Cd) yang terdapat pada tajuk selengkapnya disajikan pada Tabel 8. Penambahan bahan organik kompos secara tunggal (K1, K2, K3) lebih baik apabila dibandingkan dengan penambahan bahan organik biochar secara tunggal (K4, K5, K6). Hal tersebut disebabkan karena kandungan asam humat pada kompos lebih banyak

dibandingkan pada biochar. Kandungan asam humat pada bahan organik seperti kompos dapat membentuk ikatan dengan ion logam, kompleks logam-organik ini nantinya dapat bergerak ke zona perakaran serta masuk ke dalam akar melalui membran sel sehingga logam berat tersebut dapat terserap lebih banyak ke tanaman (Khan dan Khan, 1983).

Tabel 8. Konsentrasi dan serapan kadmium pada tajuk tanaman.

Kode	Konsentrasi Cd (mg/kg)	Serapan Cd (µg/tanaman)
K0	0,22 a	0,275 a
K1	0,32 bcd	0,633 d
K2	0,34 cd	0,792 e
K3	0,37 de	0,902 e
K4	0,26 ab	0,352 ab
K5	0,27 ab	0,434 bc
K6	0,30 bc	0,525 cd
K7	0,43 e	1,083 f

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil tidak berbeda nyata menurut uji DMRT taraf 5%; K0 (100% Tanah tercemar); K1 (Tanah Tercemar : Kompos = 3:1); K2 (Tanah Tercemar : Kompos = 1:1); K3 (Tanah Tercemar : Kompos = 1:3); K4 (Tanah Tercemar : Biochar = 3:1); K5 (Tanah Tercemar : Biochar = 1:1); K6 (Tanah Tercemar : Biochar = 1:3); K7 (Tanah Tercemar : Kompos:Biochar = 1:1:1)

Pada bagian tajuk tanaman kangkung darat, peningkatan kandungan logam berat kadmium (Cd) tertinggi ditemukan pada perlakuan K7 dengan peningkatan sebanyak 95% dibandingkan logam berat kadmium (Cd) yang bisa terserap oleh perlakuan K0 (kontrol). Penambahan bahan organik dengan kombinasi kompos dan biochar dapat meningkatkan penyerapan logam berat kadmium (Cd) ke bagian tanaman karena pertumbuhan tanaman ditunjang dengan baik. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Putri, 2014) juga didapatkan bahwa penambahan bahan organik seperti kompos dan biochar pada tanah tercemar mengoptimalkan penyerapan kadar merkuri oleh jaringan tanaman (tajuk dan akar), hal tersebut diduga disebabkan kombinasi tanah dan bahan organik memberikan pengaruh terhadap perbaikan struktur tanah yang baik sehingga tanaman dengan leluasa dapat

menyerap hara yang terkandung dalam tanah dan mampu menyediakan hara untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman.

Pada Tabel 8 dapat diketahui bahwa rata-rata konsentrasi logam berat kadmium (Cd) yang ada pada tajuk tanaman kangkung darat ini bernilai lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasinya yang ada pada media tanam dan akar tanaman. Hal tersebut disebabkan karena pada umumnya kandungan Cd dalam bagian tanaman semakin berkurang jumlahnya sesuai urutan berikut: akar > batang > daun > buah > biji (Suhaeni & Wardi, 2016). Menurut Suhaeni & Wardi (2016), ambang batas kandungan logam berat kadmium (Cd) dalam bahan sayuran termasuk kangkung yang masih diperbolehkan untuk dikonsumsi yaitu sebanyak 2.00 mg/kg sehingga dapat dinyatakan bahwa kangkung darat yang diteliti masih layak untuk dikonsumsi karena berada di bawah ambang batas.

BCF dan TF

Hasil konsentrasi logam kadmium (Cd) yang terdapat di dalam akar dan tajuk tanaman kangkung darat selanjutnya dapat digunakan untuk melakukan perhitungan faktor biokonsentrasi (BCF) dan faktor translokasi (TF). Nilai BCF yang dimiliki oleh tanaman kangkung setelah dilakukan perhitungan memiliki nilai 0,38-1,17 pada akar dan 0,35-1,02 pada tajuk sedangkan nilai TF yang dimiliki tanaman kangkung darat memiliki nilai 0,97-1,14 yang disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Nilai BCF dan TF.

Kode	BCF Akar	BCF Tajuk	TF
K0	0,31	0,20	0,65
K1	0,61	0,48	0,80
K2	0,65	0,52	0,81
K3	0,74	0,61	0,82
K4	0,38	0,29	0,74
K5	0,47	0,35	0,73
K6	0,56	0,42	0,75
K7	1,17	1,02	0,88

Keterangan: K0 (100% Tanah tercemar); K1 (Tanah Tercemar : Kompos = 3:1); K2 (Tanah Tercemar : Kompos = 1:1); K3 (Tanah Tercemar : Kompos = 1:3); K4 (Tanah Tercemar : Biochar = 3:1); K5 (Tanah Tercemar : Biochar = 1:1); K6 (Tanah Tercemar : Biochar = 1:3); K7 (Tanah Tercemar : Kompos:Biochar = 1:1:1)

Tabel 9 menunjukkan bahwa biokonsentrasi lebih besar dari 1 dapat ditemukan pada akar di perlakuan K7 dan pada tajuk di perlakuan K7. Hal tersebut menunjukkan bahwa pemberian kompos dan biochar dapat meningkatkan nilai biokonsentrasi tanaman kangkung darat. Pada Tabel 11 juga dapat diketahui bahwa nilai biokonsentrasi terendah terdapat pada perlakuan K0 (Kontrol) dengan nilai 0,31 pada akar dan 0,20 pada tajuk. Selain itu, penambahan dosis kompos dan biochar juga dapat meningkatkan nilai biokonsentrasi pada kedua bagian tanaman. Nilai BCF merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan suatu tanaman dalam mengakumulasi logam berat. Semakin besar BCF, semakin kuat akumulasi logam berat di tanaman (Wang, *et al.*, 2019).

Nilai BCF pada Tabel 9 menunjukkan bahwa perlakuan komposisi media tanam dengan pemberian bahan organik kompos tunggal memiliki nilai BCF yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan dengan pemberian bahan organik biochar tunggal. Hal tersebut dapat terjadi karena kandungan bahan organik yang berbeda. Pada penelitian yang dilakukan oleh Ogundiran, *et al.*, (2018) menunjukkan bahwa penggunaan biochar menurunkan konsentrasi logam berat di tanah dan tanaman. Ogundiran, *et al.*, (2018) mengemukakan bahwa penurunan konsentrasi tersebut bisa disebabkan oleh 2 hal. Pertama, sifat biochar yang alkalin menyebabkan pH tanah menjadi meningkat sehingga memiliki efek terhadap mengendapnya logam berat di dalam tanah dan menjadi tidak tersedia bagi tanaman. Kedua, biochar mengandung bahan organik yang relatif belum terdekomposisi sehingga biochar memiliki kandungan humus seperti asam humat dan asam fulvat yang sedikit. Berbanding sebaliknya dengan penggunaan biochar, penggunaan kompos tunggal dalam campuran media tanam memiliki nilai biokonsentrasi yang lebih tinggi karena pada kompos terdapat kandungan asam fulvat yang dapat membuat akar tanaman bisa menyerap logam berat karena logam berat berubah dalam bentuk yang tersedia (Ogundiran, *et al.*, 2018). Hal ini dikuatkan oleh pendapat Walter, *et al.*, (2003) yang menyatakan bahwa bahwa konsentrasi logam berat yang tersedia pada tanaman umumnya dikendalikan oleh kandungan total logam, pH tanah, dan bahan organik.

Nilai TF berfungsi untuk mengetahui kemampuan tanaman dalam mentranslokasikan logam berat dari akar menuju ke tajuk. Nilai translokasi pada tanaman kangkung darat secara keseluruhan tidak ada yang lebih dari 1. Hal tersebut menandakan bahwa jumlah konsentrasi logam kadmium di tajuk tidak lebih banyak daripada konsentrasi logam berat kadmium di akar tanaman kangkung darat, sehingga tanaman kangkung darat pada penelitian ini tergolong ke dalam fitostabilisasi. Pernyataan tersebut diperkuat oleh penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Muliadi, *et al.*, (2013) dengan perlakuan memberikan berbagai macam dosis logam berat kadmium (Cd) untuk mengetahui kemampuan fitoremediasi tanaman kangkung darat, didapatkan hasil nilai TF dari semua perlakuan lebih kecil dari 1. Hal ini menyebabkan tanaman kangkung darat termasuk ke dalam tanaman fitostabilisasi dalam mengakumulasi logam berat kadmium (Cd).

Nilai TF terendah yang ditunjukkan pada Tabel 9 terdapat pada perlakuan K0 (kontrol) yaitu sebesar 0,65 sedangkan yang tertinggi terdapat pada perlakuan K7 yaitu sebesar 0,88. Selain itu Tabel 11 juga menunjukkan bahwa perlakuan dengan penambahan kompos, baik tunggal maupun dikombinasikan dengan biochar, perlakuan tersebut memiliki nilai TF yang lebih besar daripada perlakuan dengan penambahan biochar tunggal. Menurut Putra *et al.* (2018) hal tersebut dapat terjadi karena dalam proses fitoremediasi dengan menambahkan kompos sebagai stimulan dalam penyerapan logam berat kadmium (Cd) maka tumbuhan menstimulasi aktivitas mikroba yang berada dalam kompos maupun tanah untuk mendegradasi logam-logam. Peranan tumbuhan selanjutnya adalah mengeluarkan asam-asam organik yang dibutuhkan oleh mikroba pada akar yang disebut eksudat. Eksudat inilah yang nantinya akan menarik mikroba mendekat ke akar dengan istilah kemotaksis sehingga logam-logam berat dalam tanah dapat diteruskan ke bagian tanaman lain seperti tajuk.

Kesimpulan

Pemberian kompos dan biochar berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan tanaman dan kandungan logam berat yang terdapat di media

tanam, akar, dan tajuk. Pemberian bahan organik kompos secara tunggal (perlakuan K1, K2, K3) pada setiap parameter memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan pemberian bahan organik biochar secara tunggal (perlakuan K4, K5, K6). Perlakuan K7 merupakan perlakuan terbaik dalam setiap parameter pengamatan. Perlakuan K7 dapat meningkatkan tinggi tanaman hingga 24%, meningkatkan jumlah daun hingga 100%, meningkatkan kandungan Cd di akar dan tajuk hingga 44% dan 95%, serta dapat menurunkan kandungan Cd di media tanam setelah masa tanam hingga 61% dari kontrol). Nilai TF pada seluruh perlakuan memiliki nilai di bawah 1 yang artinya, tanaman kangkung darat yang digunakan pada penelitian berpotensi untuk fitostabilisasi kadmium.

Daftar Pustaka

- Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D. and Hipps, N.A., 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and Soil* 337: 1-18.
- Barchia, M.F. 2009. *Agroekosistem Tanah Mineral*. Masam. Yogyakarta: UGM Press.
- Chirakkara, R.A. dan Reddy, K.R. 2015. Biomass and chemical amendments for enhanced phytoremediation of mixed contaminated soils. *Ecological Engineering* 85: 265-274.
- Elika, E.P., Resnawatty, R. dan Gutama, A.S. 2017. *Bencana Sosial Kasus Lumpur PT. Lapindo Brantas Sidoarjo*, Jawa Timur. Prosiding Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 4(2): 205-216.
- Fitra, A., Rahayu, Y.S. dan Winarsih. 2013. Kemampuan fitoremediasi *Typha latifolia* dalam menurunkan kadar logam kadmium (Cd) tanah yang tercemar lumpur Lapindo di Porong Sidoarjo. *LenteraBio* 2(3): 185-189.
- Hamzah, A., Kusuma, Z., Utomo, W.H. dan Guritno, B., 2012. Penggunaan tanaman *Vetiveria zizanioides* L. dan biochar untuk remediasi lahan pertanian tercemar limbah tambang emas. *Buana Sains* 12(1): 53-60.
- Handayanto, E., Nuraini, Y., Syam, N., Muddarisna, N. dan Figri, A. 2017. *Fitoremediasi dan Phytomining Logam Berat Pencemar Tanah*. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Khan, M.A., Dind, X., Khan, S., Brusseau, M.L., Khan, A. and Nawab, J. 2018. The influence of various organic amendments on the bioavailability and plant uptake of cadmium

- present in mine-degraded soil. Science of the Total Environment 636: 810–817.
- Khan, S. and Khan, N.N. 1983. Influence of lead and cadmium on growth and nutrient concentration of tomato and eggs plant. Plant And Soil 74: 58-60.
- Liong, S., Noor, A., Taba, P. dan Zubair, H., 2009. Dinamika akumulasi kadmium pada tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans* Poir). Indonesia Chimica Acta 2(1).
- Muliadi, D., Liestianty, Y. dan Sumarna, S. 2013. Fitoremediasi: Akumulasi dan Distribusi Logam Berat Nikel, Cadmium dan Chromium Dalam Tanaman Ipomea reptans.. Sumatera Barat: HKI.
- Nur, F. 2013. Fitoremediasi logam berat kadmium (Cd). Biogenesis 1(1): 74-83.
- Ogundiran, B.M., Mekwunyei, N.S. and Adejumo, S.A., 2018. Compost and biochar assisted phytoremediation potentials of *Moringa oleifera* for remediation of lead contaminated soil. Journal of Environmental Chemical Engineering 6(2): 2206-2213.
- Putra, M.K., Syekhfani dan Kusumarini, N., 2018. Ekstraksi merkuri dari limbah pengolahan bijih emas menggunakan tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides* L.) dengan penambahan EDTA dan kompos. Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan 5(2): 847-856.
- Putri, K. 2014. Remediasi Tanah Tercemar Merkuri (Hg) Menggunakan Tanaman *Digitaria Ciliaris* (Retz.) Koeler dan *Fimbristylis Aphylla* (Lamk) Vahl. Padang: Universitas Andalas Press.
- Santi, L. dan Goenadi, D.H. 2010. Pemanfaatan Biochar Sebagai Pembawa Mikroba untuk Pemantap Agregat Tanah Ultisol dari Taman Bogo-Lampung. Bogor: Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan.
- Suhaeni dan Wardi, R.Y. 2016. Analisis kadar logam berat kadmium (Cd) pada tanaman kangkung darat (*Ipomoea Reptans* Poir). Jurnal Dinamika 7(2): 1-8.
- Tambunan, S., Siswanto, B. dan Handayanto, E. 2014. Pengaruh aplikasi bahan organik segar dan biochar terhadap ketersediaan P dalam tanah di lahan kering Malang Selatan. Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan, 1(1): 85-92.
- Trevisan, S., Francioso, O., Quaggiotti, S. and Nardi, S. 2010. Humic Substances Biological Activity at The Plant Soil Interfac: from Environmental Aspects to Molecular Factors. Plant Signal Behav.
- Walter, R., Catherine, K. and Katia, B., 2003. Phytoextraction capacity of trees growing on a metal contaminated soil. Plant and Soil 256: 265-270.
- Wang, Z., Liu, X. and Qin, H. 2019. Bioconcentration and translocation of heavy metals in the soil plants system in Machangqing copper mine, Yunnan Province, China. Journal of Geochemical Exploration, doi: 10.1016/j.gexplo.2019.02.005.
- Wibowo, H.Y. dan Sitawati. 2017. Respon tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans* Poir) dengan interval penyiraman pada pipa vertikal. Plantropica 2(2): 148-154.