

**PENGARUH KOMPOS DAN BIOCHAR TERHADAP FITOREMEDIASI
KADMIUM (Cd) PADA TANAH TERCEMAR LUMPUR LAPINDO
MENGUNAKAN KANGKUNG DARAT (*Ipomea reptans*)**

Oleh

AHMAD NUGRAHA AJI



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
MALANG
2019**

LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Penelitian : Pengaruh Kompos dan Biochar Terhadap Fitoremediasi
Kadmium (Cd) pada Tanah Tercemar Lumpur Lapindo
Menggunakan Kangkung Darat (*Ipomea reptans*)

Nama Mahasiswa : Ahmad Nugraha Aji

NIM : 155040200111221

Jurusan : Tanah

Laboratorium : Biologi

Program Studi : Agroekoteknologi

Disetujui
Pembimbing Utama,



Prof. Ir. Eko Handayanto, M.Sc., Ph.D
NIP. 195203051979031004

Diketahui,
Ketua Jurusan Tanah




Syahrul Kurniawan, SP., MP., Ph.D
NIP. 197910182005011002

Tanggal Persetujuan: **19 SEP 2019**

LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan
MAJELIS PENGUJI

Penguji I

Penguji II



Syahrul Kurniawan, SP., MP., Ph.D
NIP.197910182005011002



Prof. Ir. Eko Handayanto, M.Sc., Ph.D
NIP. 195203051979031004

Penguji III

Penguji IV



Dr. Ir. Yulia Nuraini, MS.
NIP. 196111091985032001



Iva Dewi Lestariningsih, SP., M.Agr.Sc.
NIP. 2013117508062001

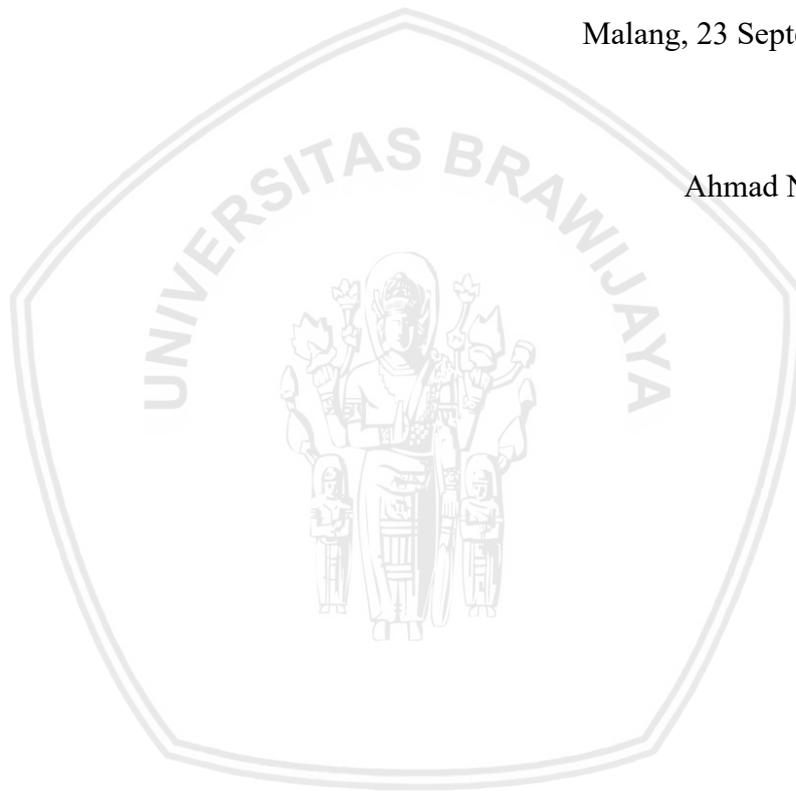
Tanggal Lulus: 09 OCT 2019

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini merupakan hasil penelitian saya sendiri, dengan bimbingan komisi pembimbing. Skripsi ini tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar di perguruan tinggi maupun dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang dengan jelas ditunjukkan rujukannya dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, 23 September 2019

Ahmad Nugraha Aji



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Wonogiri pada tanggal 23 Juni 1998. Penulis merupakan putra pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak Suparjo dan Ibu Sofia. Penulis mengawali pendidikan di SD Negeri 12 Kalibata, Pancoran, Jakarta Selatan yang ditempuh selama 6 tahun, mulai tahun 2003 hingga 2009. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMPN 182 Jakarta selama 3 tahun, mulai tahun 2009 hingga tahun 2012, selanjutnya penulis menempuh pendidikan di SMAN 14 Jakarta selama 3 tahun, mulai tahun 2012 hingga tahun 2015. Pada tahun 2015, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Strata-1 (S1) Universitas Brawijaya dengan Program Studi Agroekoteknologi, Jurusan Tanah melalui Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten praktikum Matakuliah Teknologi Pupuk dan Pemupukan pada tahun 2017. Selain kegiatan perkuliahan, penulis juga pernah aktif dalam kegiatan organisasi dan kepanitiaan. Beberapa diantaranya yaitu Staff Kementerian Luar Negeri BEM FP UB, Divisi PDD Pemira UB 2015, Divisi Humas Pemira UB 2016, Divisi Kesehatan Poster FP UB 2016, dan Koordinator Lapangan *Indonesian Student Summit* 2017.

RINGKASAN

Ahmad Nugraha Aji. 155040200111221. Pengaruh Kompos dan Biochar Terhadap Fitoremediasi Kadmium (Cd) pada Tanah Tercemar Lumpur Lapindo Menggunakan Kangkung Darat (*Ipomea reptans*). Di bawah bimbingan Eko Handayanto

Semburan lumpur Lapindo yang terjadi di Sidoarjo pada tahun 2006 membawa logam-logam berat yang dapat mencemari tanah dan lingkungan di sekitar area terdampak lumpur Lapindo. Pada penelitian terdahulu, pengujian kandungan kadmium (Cd) yang dilakukan pada tanah yang tercemar resapan lumpur Lapindo di sekitar area Desa Renokenongo menunjukkan nilai Cd sebesar 28,84 mg/kg. Penanggulangan pencemaran logam berat yang diakibatkan dari lumpur Lapindo dapat dilakukan dengan cara fitoremediasi. Teknik fitoremediasi merupakan metode pemulihan kualitas lingkungan tercemar yang ramah lingkungan dan murah. Teknologi ini aman untuk digunakan, karena memiliki dampak negatif yang relatif kecil, memberikan efek positif bagi komunitas masyarakat dan lingkungan, biaya yang relatif rendah, mampu mereduksi volume kontaminan, dan memberikan keuntungan langsung bagi kesehatan masyarakat. Penggunaan bahan organik juga dapat dilakukan untuk mengurangi cemaran logam berat di tanah selain menggunakan tanaman. Salah satu upaya tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan kompos dan biochar. Kedua bahan organik tersebut mengandung asam organik yang dapat mengkhelat unsur logam. Karena pentingnya pengaruh kompos dan biochar tersebut, maka perlu dilakukan penelitian agar diperoleh komposisi terbaik untuk menunjang fitoremediasi tanaman kangkung darat pada tanah yang tercemar logam berat.

Pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan Maret-Mei 2019 yang bertempat di area tanggul lumpur lapindo Desa Renokenongo, STPP Malang, dan Laboratorium Kimia Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan 8 perlakuan dan 3 kali ulangan. Delapan perlakuan tersebut yaitu K0 (100% tanah tercemar lumpur lapindo sebagai media tanam), 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), dan K7 (tanah tercemar : kompos : biochar; 1:1:1). Parameter yang diamati dalam penelitian ini meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, pH, kandungan Cd pada media tanam, akar, dan tajuk, serta serapan Cd pada akar dan tajuk. Data yang diperoleh akan dianalisis dengan menggunakan analisis ragam (ANOVA) dengan taraf 5%, apabila berpengaruh nyata maka dilanjutkan dengan menggunakan uji DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) dengan taraf 5%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan penambahan kompos dan biochar berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan tanaman serta kandungan logam berat kadmium (Cd) yang terdapat pada media tanam, akar, dan tajuk. Perlakuan penambahan kompos tunggal menunjukkan hasil yang lebih baik apabila dibandingkan dengan perlakuan penambahan biochar pada setiap perbandingan komposisinya. Secara keseluruhan, perlakuan K7 (tanah tercemar : kompos : biochar; 1:1:1) merupakan perlakuan terbaik dalam setiap parameter pengamatan, seperti pada tinggi tanaman yang dapat meningkat hingga 24% dari perlakuan K0 (kontrol), jumlah daun yang dapat meningkat hingga 100% dari perlakuan K0



(kontrol), kandungan Cd di akar dan tajuk yang dapat meningkat hingga 44% dan 95% dari perlakuan K0 (kontrol) serta, kandungan Cd di media tanam setelah masa tanam yang dapat menurun hingga 61% dari perlakuan K0 (kontrol). Tanaman kangkung darat pada penelitian ini termasuk ke dalam fitostabilisasi karena memiliki nilai TF yang lebih kecil daripada 1.



SUMMARY

Ahmad Nugraha Aji. 155040200111221. Effect of Compost and Biochar on Phytoremediation of Cadmium (Cd) in Soil Contaminated with Lapindo Mud Volcano Using Kangkong (*Ipomea reptans*). Supervised by Eko Handayanto

The phenomena of Lapindo Mudflow in Sidoarjo on 2006 brought heavy metals that polluted the soil and environment around the affected area. In previous research, cadmium (Cd) content testing carried out on soil contaminated with the mud around Renokenongo Village showed a Cd value of 28,84 mg/kg. Phytoremediation is one of the alternatives to decrease the heavy metal pollution on Lapindo mud. The phytoremediation technique is a method of recovering that is environmentally friendly and inexpensive. The organic materials (compost and biochar) usage can also be done to reduce the contamination of heavy metals in soils besides using plants. Both of the organic substances contain organic acids can be able to chelate the metal elements. Because of the importance of the influence of compost and biochar, so this experiment is to obtain the best composition of those matters to support phytoremediation using kangkong plant (*Ipomea reptans*) in the polluted soil.

The experiment has been conducted on March-May 2019 in the area of mud Embankment Lapindo, Renokenongo village, STPP Malang, and laboratory of chemistry faculty on MIPA Malang State University. This research was conducted using a completely randomized design (CRD) with eight treatments and three repetition. The eight treatments are K0 (100% contaminated soil), K1 (contaminated soil : compost; 3: 1), K2 (contaminated soil : compost; 1: 1), K3 (contaminated soil : compost; 1: 3), K4 (contaminated soil : biochar; 3: 1), K5 (contaminated soil : biochar; 1: 1), K6 (contaminated soil : biochar; 1: 3), and K7 (contaminated soil : compost: biochar; 1: 1: 1). The parameters observed in this research included plant height, number of leaves, pH, CDs content on planting media, roots, and headers, as well as the absorption of CDs on the roots and headers. The Data was analyzed using a variance analysis (F Test) at the level of 5% and continued with comparing among treatments using DMRT test (Dunn's Multiple Range Test) with a level of 5% to find out the difference between treatments.

Based on this experiment, there was a significant effect on the addition of compost and biochar on plant growth as well as cadmium content (Cd) found in planting media, roots, and headers. A single compost addition treatment showed better results than the addition of biochar treatment at each comparison of the composition. In conclusion, the best treatment was on K7 (contaminated soil : compost : biochar; 1:1:1) in any observation parameter, such as at the height of the plant which can increase up to 24% of the K0 treatment (control), the number of leaves that can increase Up to 100% of the K0 (control) treatment, the Cd content at the roots and headers that can increase up to 44% and 95% of the K0 (control) treatment as well, the content of the Cd in the planting media after the planting period decreases to 61% of K0 treatment (control).

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan topik “Pengaruh Kompos dan Biochar Terhadap Fitoremediasi Kadmium (Cd) pada Tanah Tercemar Lumpur Lapindo menggunakan Kangkung Darat (*Ipomea reptans*)”. Dalam menyelesaikan penelitian ini penulis tidak terlepas dari bantuan, bimbingan dan arahan dari berbagai pihak baik orangtua, dosen, dan teman-teman yang mendorong penulis, untuk itu penulis mengucapkan rasa hormat dan terimakasih kepada:

1. Kedua orangtua yaitu Bapak Suparjo dan Ibu Sofia serta adikku Ziyah yang selalu memberikan dukungan moral dan materi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. Prof.Ir. Eko Handayanto, M.Sc.,Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, memberi saran, serta memberikan dukungan atas pembuatan tugas akhir ini.
3. Mytha Auliani, S.Sos yang selalu siap sedia membantu mulai dari pembuatan proposal skripsi, perizinan pengambilan sampel tanah, pengangkutan berkarung-karung tanah dari tanggul lumpur Lapindo, proses budidaya, hingga menemani dalam proses pengerjaan laporan tugas akhir ini.
4. Teman-teman dari ALLC (Ikmal, Naufal, Bunga, Elvira, Sena, Fadhil, dan Irfan) yang terkadang menyemangati dan memberi masukan terhadap penelitian yang akan dilakukan.
5. Rekan-rekan mahasiswa mahasiswa Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, yang senantiasa membantu dan memberikan saran dalam pelaksanaan tugas akhir ini.

Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua orang khususnya bagi penulis. Tugas akhir ini merupakan sarana pembelajaran bagi penulis sehingga dalam penyampaianya masih perlu adanya koreksi dan masukan dari berbagai pihak guna kesempurnaan tugas akhir ini.

Malang, 23 September 2019

Penulis

DAFTAR ISI

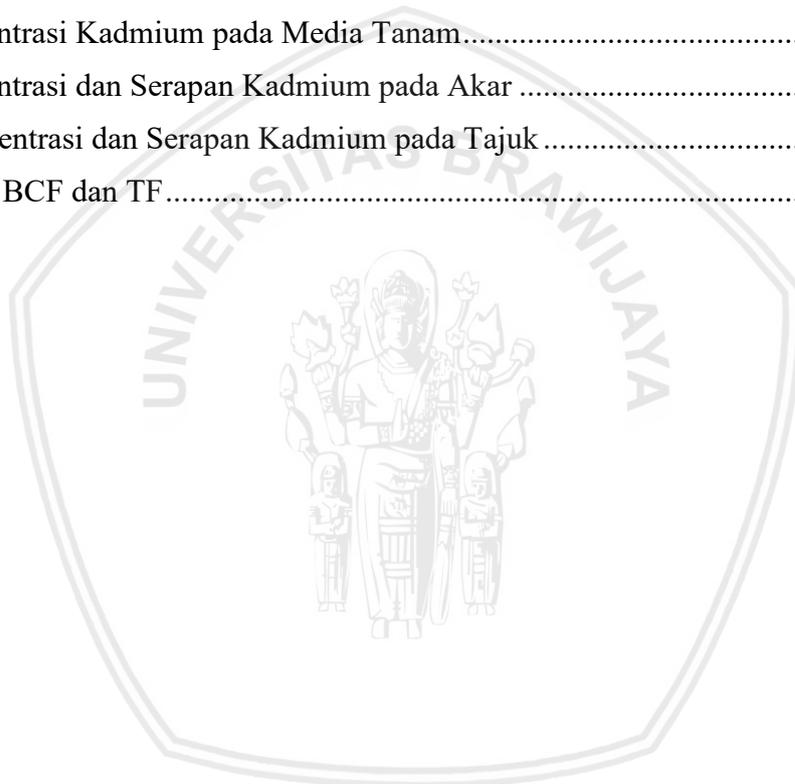
PERNYATAAN.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
RINGKASAN	i
SUMMARY	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
RIWAYAT HIDUP	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Hipotesis.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Alur Pikir Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Lumpur Panas Lapindo	5
2.2 Kadmium (Cd).....	6
2.3 Kompos	8
2.4 Biochar	8
2.5 Asam Humat.....	9
2.6 Tanaman Kangkung Darat (<i>Ipomea reptans</i>).....	10
2.7 Fitoremediasi	14
III. METODE PENELITIAN	18
3.1 Waktu dan Tempat	18
3.2 Alat dan Bahan	18
3.3 Rancangan Penelitian	18
3.4 Pelaksanaan Penelitian	19



3.5 Perhitungan Faktor Biokonsentrasi (BCF) dan Faktor Translokasi (TF)....	23
3.6 Variabel Pengamatan.....	24
3.7 Analisis Data	24
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Pengaruh Perlakuan terhadap Pertumbuhan Tanaman Fitoremediator	25
4.2 Pengaruh Perlakuan terhadap Nilai pH Tanah	30
4.3 Pengaruh Perlakuan terhadap Kadar Kadmium pada Media Tanam.....	31
4.4 Pengaruh Perlakuan terhadap Konsentrasi dan Serapan Kadmium pada Akar	33
4.5 Pengaruh Perlakuan terhadap Konsentrasi dan Serapan Kadmium pada Tajuk.....	34
4.6 Pengaruh Perlakuan terhadap Nilai BCF dan TF	36
4.7 Pembahasan Umum.....	38
V. KESIMPULAN DAN SARAN	42
5.1 Kesimpulan.....	42
5.2 Saran	42
DAFTAR PUSTAKA.....	43
LAMPIRAN.....	49

DAFTAR TABEL

No.	Teks	Halaman
1.	Perlakuan Penelitian.....	19
2.	Hasil analisis dasar.....	20
3.	Parameter Pengamatan.....	24
4.	Pertumbuhan Tinggi Tanaman Kangkung Darat.....	25
5.	Pertumbuhan Jumlah Daun Tanaman Kangkung Darat.....	27
6.	Berat Kering Akar dan Tajuk Tanaman.....	29
7.	Pengaruh Komposisi Media Tanah Terhadap Nilai pH Tanah.....	30
8.	Konsentrasi Kadmium pada Media Tanam.....	31
9.	Konsentrasi dan Serapan Kadmium pada Akar.....	33
10.	Konsentrasi dan Serapan Kadmium pada Tajuk.....	35
11.	Nilai BCF dan TF.....	36



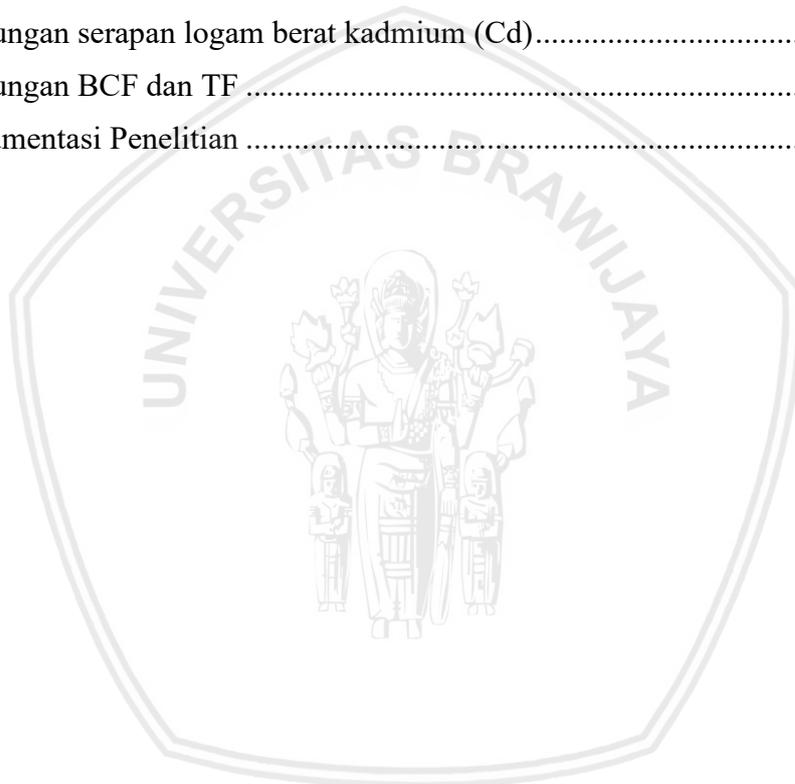
DAFTAR GAMBAR

No.	Teks	Halaman
1.	Alur pikir penelitian	4
2.	Area terdampak lumpur Lapindo	6
3.	Tanaman kangkung darat	11
4.	Penyerapan Polutan pada Tanaman dalam Proses Fitoremediasi	15
5.	Lokasi Pengambilan Sampel Tanah	20



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Teks	Halaman
1.	Denah Lokasi Plot Penelitian	49
2.	Analisis ragam (ANOVA) tinggi tanaman kangkung darat.....	50
3.	Analisis ragam (ANOVA) jumlah daun tanaman kangkung darat	51
4.	Analisis ragam (ANOVA) pH media tanam	52
5.	Analisis ragam (ANOVA) kandungan logam berat kadmium (Cd)	53
6.	Analisis ragam (ANOVA) berat kering tanaman kangkung darat.....	54
7.	Analisis ragam (ANOVA) serapan logam berat kadmium (Cd).....	55
8.	Perhitungan serapan logam berat kadmium (Cd).....	56
9.	Perhitungan BCF dan TF	57
10.	Dokumentasi Penelitian	59



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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 m^3 - 50.000 m^3 per hari (Elika, *et al.*, 2017). Semburan ini juga membawa logam-logam berat yang berbahaya bagi lingkungan apabila melebihi ambang batas. Berdasarkan hasil analisis kandungan oksida dan logam yang dilakukan Wiguna (2009), lumpur marine atau lumpur lapindo mengandung beberapa unsur logam seperti Cu (Tembaga) sebesar 20-29 ppm dan logam Pb (Timbal) 6-7 ppm. Logam berat lainnya seperti Hg dan Cd juga dilaporkan terdapat pada lumpur lapindo dengan jumlah yang melebihi ambang batas (Juniawan, *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. 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). Hasil tersebut menunjukkan bahwa tanah terdampak lumpur Lapindo mengalami cemaran Cd karena ambang batas kandungan Cd di tanah hanya sebesar 1-7 mg/kg (Barchia, 2009). Keberadaan logam berat tersebut mengakibatkan lahan-lahan yang tercemar oleh luapan lumpur Lapindo menjadi terdegradasi dan tidak dapat dimanfaatkan untuk kegiatan pertanian. Oleh karena itu, perlu adanya suatu tindakan untuk mengurangi kandungan dari logam berat Cd pada tanah, sehingga lahan tersebut dapat dimanfaatkan kembali untuk kegiatan pertanian.

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. Teknologi ini aman untuk digunakan, karena memiliki dampak negatif yang relatif kecil, memberikan efek positif bagi

komunitas masyarakat dan lingkungan, biaya yang relatif rendah, mampu mereduksi volume kontaminan, dan memberikan keuntungan langsung bagi kesehatan masyarakat.

Proses fitoremediasi memerlukan tanaman hiperakumulator yaitu tanaman yang dapat menyerap logam berat dan menyimpannya di dalam bagian tanaman. 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 menandakan bahwa tanaman kangkung darat merupakan tanaman hiperakumulator terhadap logam berat 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). Melihat pentingnya pengaruh kompos dan biochar, maka perlu dilakukan penelitian agar diperoleh komposisi terbaik untuk menunjang fitoremediasi tanaman kangkung darat pada tanah yang tercemar logam berat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Apakah kompos dan biochar dapat mengurangi kandungan logam berat kadmium pada tanah tercemar lumpur Lapindo?
2. Apakah kompos dan biochar dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman kangkung darat dan meningkatkan fitoremediasi logam berat kadmium?
3. Pada komposisi berapakah kompos dan biochar dapat memberikan hasil yang optimal untuk tanaman kangkung darat?

1.3 Tujuan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh kompos dan biochar terhadap penurunan kandungan logam berat kadmium pada tanah tercemar lumpur Lapindo.
2. Mengetahui pengaruh kompos dan biochar terhadap peningkatan pertumbuhan tanaman kangkung darat dan fitoremediasi logam berat kadmium.
3. Mengetahui komposisi dari kompos dan biochar yang dapat memberikan hasil yang optimal untuk tanaman kangkung darat.

1.4 Hipotesis

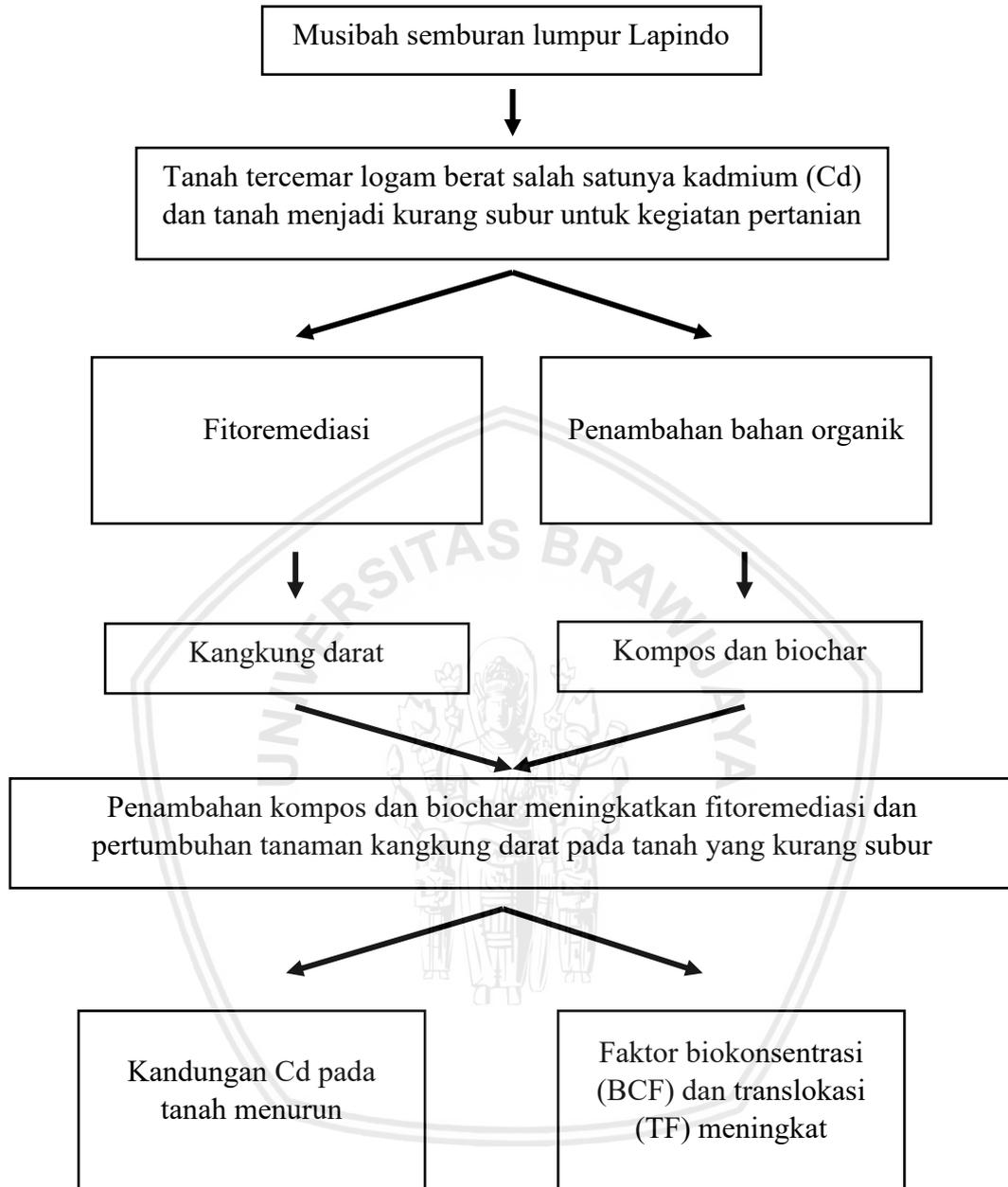
Hipotesis dari penelitian ini yaitu:

1. Penggunaan kompos dan biochar dapat dapat mengurangi kandungan logam berat kadmium pada tanah tercemar lumpur Lapindo.
2. Penggunaan kompos dan biochar dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman kangkung darat dan fitoremediasi logam berat kadmium.
3. Terdapat komposisi dari kompos dan biochar yang dapat memberikan hasil yang optimal untuk tanaman kangkung.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dengan adanya penelitian ini yaitu dapat memberikan informasi yang berguna kepada petani maupun masyarakat sekitar bahwa penambahan kompos dan biochar dapat mengurangi kandungan logam berat di tanah dan meningkatkan fitoremediasi tanaman kangkung darat sehingga lahan tercemar lumpur Lapindo dapat dimanfaatkan untuk kegiatan pertanian.

1.6 Alur Pikir Penelitian



Gambar 1. Alur pikir penelitian

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lumpur Panas Lapindo

Semburan lumpur panas di Kabupaten Sidoarjo muncul pertama kali pada tanggal 29 Mei 2006 di areal persawahan Desa Siring Kecamatan Porong. Jarak titik semburan sekitar 150 meter arah Barat Daya sumur Banjar Panji I milik PT. Lapindo Brantas yang sedang melakukan pemboran vertikal untuk mencapai Formasi Kujung dengan kedalaman 10.300 kaki. Ketika semburan lumpur terjadi pertama kali di sekitar Sumur Banjar Panji 1 (BJP-1), volume lumpur yang dihasilkan masih pada tingkat 5.000 m³ per hari. Lubang semburan terjadi di beberapa tempat, sebelum akhirnya menjadi satu lubang yang dari waktu ke waktu menyemburkan lumpur panas dengan volume yang terus membesar hingga mencapai 50.000 m³ per hari (Gunradi & Suprpto, 2007). Volume lumpur yang dikeluarkan ini menyebabkan lumpur panas menggenangi area persawahan, pemukiman penduduk, dan kawasan industri. Menurut Elika, Putri, Resnawaty, & Gutama (2017) semburan lumpur ini membawa beberapa dampak, yaitu:

- a. Genangan hingga setinggi 6 m pada pemukiman
- b. total warga yang dievakuasi lebih dari 8.200 jiwa
- c. rumah/tempat tinggal yang rusak sebanyak 1.683 unit
- d. areal pertanian dan perkebunan rusak hinggalebih dari 200 ha
- e. lebih dari 15 pabrik yang tergenang menghentikan aktivitas produksi dan merumahkan lebih dari 1.873 orang
- f. tidak berfungsinya sarana pendidikan
- g. kerusakan lingkungan wilayah yang tergenangi
- h. rusaknya sarana dan prasarana infrastruktur
- i. terhambatnya ruas jalan tol Malang-Surabaya yang berakibat pula terhadap aktivitas produksi di kawasan Ngoro (Mojokerto) dan Pasuruan yang selama ini merupakan salah satu kawasan industri utama di Jawa Timur.



Gambar 2. Area terdampak lumpur Lapindo. (Kompas, 2015)

Semburan lumpur panas ini terletak di dekat sumur eksplorasi Banjarpanji-1, di Desa Reno Kenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur atau pada 10 km timur laut dari Gunung Penanggungan. Luapan lumpur tersebut banyak mengandung material vulkanis yang disertai gas, sehingga semburan lumpur tersebut dinamakan mud volcano (Mustopa & Risanti, 2013). Selain material vulkanis dan gas, lumpur panas ini juga mengandung logam berat yang dapat mencemari lingkungan. Berdasarkan hasil analisis kandungan oksida dan logam yang dilakukan Wiguna (2009), lumpur marine atau lumpur Lapindo mengandung beberapa unsur logam seperti Tembaga (Cu) sebesar 20-29 ppm dan logam Timbal (Pb) 6-7 ppm. Berdasarkan penelitian Fitra *et al.* (2013), pengujian kandungan Kadmium (Cd) yang dilakukan pada tanah yang tercemar resapan lumpur Lapindo di sekitar area Desa Renokenongo juga memiliki kandungan logam berat Kadmium (Cd) sebesar 28,84 ppm.

2.2 Kadmium (Cd)

Menurut Charlena (2004), logam berat dalam tanah pada prinsipnya berada dalam bentuk bebas (*mobile*) dengan sifat beracun serta dapat terserap tanaman maupun tidak bebas (*immobile*) yaitu berikatan dengan bahan organik, anorganik, dan hara. Adanya logam berat dapat mempengaruhi ketersediaan hara tanaman serta mengkontaminasi tanaman. Ketika logam berat memasuki lingkungan tanah, maka akan terjadi keseimbangan dalam tanah, kemudian akan terserap oleh tanaman melalui akar, dan selanjutnya akan terdistribusi ke bagian tanaman lainnya (Charlena, 2004).

Kadmium merupakan logam lunak berbentuk kristal dan berwarna putih keperakan yang terletak pada Golongan II B dalam susunan periodik dengan nomor atom 48 dan bobot atom sebesar 112,40 serta termasuk dalam logam transisi pada periode V (Manahan, 2001). Kelimpahan Cd pada kerak bumi adalah 0,13 $\mu\text{g/g}$. Pada lingkungan akuatik, Cd relatif bersifat mudah berpindah. Cd memasuki lingkungan akuatik terutama dari deposisi atmosferik dan efluen pabrik yang menggunakan logam ini dalam proses kerjanya. Di perairan umumnya Cd hadir dalam bentuk ion-ionnya yang terhidrasi, garam-garam klorida, terkomplekskan dengan ligan anorganik atau membentuk kompleks dengan ligan organik (Weiner, 2008). Pada tanah, secara alami memiliki kandungan logam Cd dengan rata-rata rendah yaitu 0,4 mg/kg. Pada tanah yang bebas polusi kandungannya adalah 0,06 – 1,1 mg/kg. Peningkatan kandungan Cd dapat diperoleh dari asap kendaraan bermotor dan pupuk fosfat yang terakumulasi di tanah. Ion logam berat (Cd^{2+}) merupakan bentuk yang dapat diserap oleh tanaman diantara unsur mineral penting yang dibutuhkan tanaman. Pada umumnya tanaman menyerap hanya sedikit (1-5%) larutan Cd yang ditambahkan ke dalam tanah. Akumulasi dalam jangka waktu yang lama dapat meningkatkan kandungan Cd dalam tanah dan tanaman yang sedang tumbuh. Sayuran mengakumulasi Cd lebih banyak dibandingkan tanaman pangan yang lain (Charlena, 2004).

Kadmium merupakan logam yang sangat beracun bagi manusia. Selain diduga karsinogenik, logam ini dapat menyebabkan gangguan pada pencernaan, ginjal, dan kerusakan tulang (Notodarmojo, 2004). Kadmium lebih mudah diakumulasi oleh tanaman dibandingkan dengan ion logam berat lainnya seperti timbal. Logam berat ini bergabung bersama timbal dan merkuri sebagai *the big three heavy metal* yang memiliki tingkat bahaya tertinggi pada kesehatan manusia. Menurut badan dunia FAO/WHO, konsumsi per minggu yang ditoleransikan bagi manusia adalah 400-500 μg per orang atau 7 μg per kg berat badan (Montazeri, *et al.*, 2010).

Cd biasanya digunakan dalam pembuatan barang elektronik salah satunya adalah baterai Ni/Cd yang dapat diisi ulang dengan *output* yang tinggi, tahan lama, dan pemeliharaan yang mudah. Kadmium juga digunakan sebagai penstabil untuk PVC (*polyvinyl chloride*), pada senyawa aluminium, dan senyawa elektronik.

Konsentrasi Cd akan meningkat apabila terjadi pemasaman air karena hujan asam atau pemasaman tanah akan meningkatkan mobilitas geokimia Cd. Logam ini sangat resisten terhadap proses biologi karena akan tetap berada dalam jaringan suatu organisme selama bertahun-tahun apabila terserap (Handayanto, *et al.*, 2017).

2.3 Kompos

Menurut Setyorini, *et al.*, (2015), kompos merupakan bahan organik, seperti daun-daunan, jerami, alang-alang, rumput-rumputan, dedak padi, batang jagung, sulur, serta kotoran hewan yang telah mengalami proses dekomposisi oleh mikroorganisme pengurai, sehingga dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah. Kompos mengandung hara-hara mineral yang esensial bagi tanaman.

Cahaya & Nugroho (2008) berpendapat bahwa kompos merupakan hasil dari proses pelapukan atau dekomposisi sisa-sisa bahan organik yang sengaja dibuat dan diatur sedemikian rupa agar unsur hara yang terdapat di dalamnya dapat tersedia dan dimanfaatkan oleh tanaman. Proses pengomposan adalah proses pelapukan atau dekomposisi materi organik menjadi pupuk kompos melalui proses reaksi biologis mikroorganisme secara aerobik maupun anaerobik dalam kondisi terkendali, dan terdapat proses penguraian senyawa-senyawa yang terkandung dalam bahan.

Kompos memiliki kandungan yang bermanfaat bagi tanaman, salah satunya adalah humus. Humus sangat dibutuhkan tanaman karena dapat meningkatkan hara makro dan mikro tanaman. Humus juga dapat memperbaiki pH tanah dan meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah. Karena mengandung humus, kompos juga memiliki kemampuan bereaksi dengan ion logam untuk membentuk senyawa kompleks. Dengan demikian ion logam yang bersifat meracuni tanaman serta merugikan penyediaan hara pada tanah seperti Al, Fe, dan Mn dapat diperkecil dengan adanya khelat dengan bahan organik dari kompos (Setyorini, *et al.*, 2015).

2.4 Biochar

Biochar adalah bahan pembenah tanah yang bersifat organik yang berguna untuk meningkatkan produktivitas tanah dan meningkatkan kesuburan tanah serta pertumbuhan tanaman (Ibrahim *et al.*, 2013). Tidak seperti bahan organik lainnya yang cepat membusuk, biochar memiliki potensi untuk jangka panjang sebagai pembenah tanah (Chen, *et al.*, 2013). Pembuatan biochar dilakukan dengan cara

pembakaran pada kondisi oksigen rendah sehingga menghasilkan bahan karbon tinggi (Deem & Crow, 2017).

Biochar yang berasal dari limbah pertanian merupakan biochar yang baik untuk digunakan karena ketersediaan sumber yang berlimpah, terutama pada limbah pertanian yang sulit mengalami dekomposisi atau memiliki C/N rasio tinggi seperti kulit buah kakao, sekam padi dan tongkol jagung (Nurida, *et al.*, 2009).

Menurut Deem & Crow (2017), biochar merupakan bahan organik yang telah mengalami pembakaran pada kondisi oksigen rendah hingga tanpa oksigen sehingga menghasilkan bahan karbon tinggi yang dapat digunakan sebagai bahan pembenah tanah. Biochar saat ini menjadi suatu pilihan selain sumber bahan organik segar dalam pengelolaan tanah untuk tujuan pemulihan dan peningkatan kualitas kesuburan tanah terdegradasi.

Biochar ideal digunakan untuk perbaikan lingkungan dari polutan organik dan anorganik pada tanah yang tercemar karena luas permukaan yang tinggi, mikroporositas, dan permukaan yang bermuatan ion negatif dan positif sehingga, logam dapat secara fisik terperangkap atau diserap secara kimiawi ke dalam biochar (Deem & Crow, 2017). Selain itu, biochar bersifat basa sehingga dapat meningkatkan pH tanah dan dapat menstabilkan logam (Ahmad, *et al.*, 2014).

2.5 Asam Humat

Menurut Yuliati & Natanael (2016), asam humat diketahui memiliki kemampuan untuk berinteraksi sangat kuat dengan berbagai logam dan membentuk kompleks logam humat, dimana hal ini berpengaruh terhadap sifat adsorpsi-desorpsi dari logam. Ikatannya dengan ion logam adalah salah satu peranan yang penting dari fungsi asam humat sebagai adsorben.

Menurut Ariyanto (2006), asam humat merupakan bagian dari senyawa organik penyusun humus yang memiliki ciri-ciri berwarna gelap, amorf, dapat diekstraksi dengan basa kuat, garam netral, tidak larut dalam asam ($\text{pH} < 2$), mengandung gugus fungsional asam seperti phenolic dan carboxylic, aktif dalam reaksi kimia, dan berat molekul 20.000-1.360.000 BM. Asam humat merupakan bahan makromolekul polielektrolit yang memiliki gugus fungsional seperti -COOH, -OH fenolat maupun -OH alkoholat sehingga asam humat memiliki peluang untuk membentuk kompleks dengan ion logam karena gugus ini dapat

mengalami deprotonasi pada pH yang relatif tinggi. Pada pH yang relatif rendah, asam humat cenderung tidak berinteraksi dengan ion logam, akan tetapi sebagai padatan polielektrolit, asam humat memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi logam. Asam humat dengan ion logam dapat mengalami presipitasi. Tingkat flokulasi yang terjadi bergantung pada pH, sifat-sifat gugus fungsional pada asam humat yang dapat bertindak sebagai ligan dan sifat ion logam.

Kandungan asam-asam organik seperti asam humat sering dijumpai pada bahan-bahan organik. Hal ini karena bahan-bahan organik mengalami proses dekomposisi yang nantinya akan menghasilkan kandungan asam-asam organik (Wahyudi, 2007). Proses dekomposisi sangat tergantung kepada aktivitas mikroorganisme perombak. Mikroorganisme membutuhkan sumber C untuk mendapatkan energi dan N sebagai bahan untuk pembentukan dan perbanyakan sel. Tanpa adanya sumber C dalam bentuk gula sederhana dan N yang cukup maka proses perombakan akan berlangsung lambat, sehingga semakin tinggi nisbah C/N bahan organik yang akan dirombak akan semakin lama terbentuk bahan humus (Agustian, *et al.*, 2004). Kandungan asam humat yang terdapat pada kompos berbahan dasar *Thitonia* yaitu sebesar 29,47% (Wahyudi, 2007).

2.6 Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea reptans*)

2.6.1 Morfologi tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans*)

Kangkung merupakan tanaman yang dapat tumbuh lebih dari satu tahun. Tanaman kangkung memiliki sistem perakaran tunggang dan cabang-cabang akarnya menyebar kesemua arah, dapat menembus tanah sampai kedalaman 60 hingga 100 cm, dan melebar secara mendatar pada radius 150 cm atau lebih, terutama pada jenis kangkung air (Djuariah, 2007). Batang kangkung bulat dan berlubang, berbuku-buku, banyak mengandung air (herbacious) dari buku-bukunya mudah sekali keluar akar. Memiliki percabangan yang banyak dan setelah tumbuh lama batangnya akan menjalar (Djuariah, 2007).



Gambar 3. Tanaman kangkung darat (Supriati & Herliana, 2010)

Kangkung memiliki tangkai daun melekat pada buku-buku batang dan di ketiak daunnya terdapat mata tunas yang dapat tumbuh menjadi percabangan baru. Bentuk daun umumnya runcing ataupun tumpul, permukaan daun sebelah atas berwarna hijau tua, dan permukaan daun bagian bawah berwarna hijau muda. Selama fase pertumbuhannya tanaman kangkung dapat berbunga, berbuah, dan berbiji terutama jenis kangkung darat. Bentuk bunga kangkung umumnya berbentuk “terompet” dan daun mahkota bunga berwarna putih atau merah lembayung (Maria, 2009).

Buah kangkung berbentuk bulat telur yang didalamnya berisi tiga butir biji. Bentuk buah kangkung seperti melekat dengan bijinya. Warna buah hitam jika sudah tua dan hijau ketika muda. Buah kangkung berukuran kecil sekitar 10 mm, dan umur buah kangkung tidak lama. Bentuk biji kangkung bersegi-segi atau tegak bulat. Berwarna cokelat atau kehitam-hitaman, dan termasuk biji berkeping dua. Pada jenis kangkung darat biji kangkung berfungsi sebagai alat perbanyak tanaman secara generatif (Maria, 2009).

2.6.2 Syarat tumbuh tanaman

Kangkung darat (*Ipomea reptans*) dapat tumbuh pada daerah yang beriklim panas dan beriklim dingin. Jumlah curah hujan yang baik untuk pertumbuhan tanaman ini berkisar antara 1500-2500 mm/tahun. Pada musim

hujan tanaman kangkung pertumbuhannya sangat cepat dan subur, asalkan di sekelilingnya tidak tumbuh rumput liar. Dengan demikian, kangkung pada umumnya kuat menghadapi rumput liar sehingga kangkung dapat tumbuh di padang rumput, kebun/ladang yang agak rimbun (Fikri, *et al.*, 2015). Tanaman kangkung membutuhkan lahan yang terbuka atau mendapat sinar matahari yang cukup. Di tempat yang terlindung (ternaungi) tanaman kangkung akan tumbuh memanjang (tinggi) tetapi kurus-kurus. Kangkung sangat kuat menghadapi panas terik dan kemarau yang panjang (Fikri, *et al.*, 2015).

2.6.3 Varietas kangkung darat

Berdasarkan pendapat Kresna, Sukerta & Suryana (2016), terdapat beberapa macam varietas kangkung darat. Pertama adalah kangkung bika, pertumbuhan kangkung bika ini sangat kokoh, tegak dan seragam, tinggi tanaman ini bisa mencapai 30-35 cm dan panjang per 10 ruas 20-23 cm, umur panen kangkung ini 20-35 hari setelah tanam, kangkung bika mempunyai warna batang dan daun hijau, ujung runcing dan pangkal batang melebar. Yang kedua adalah kangkung shanghai. Kangkung ini memiliki bentuk daun yang lebar dipangkal dan meruncing diujung, rasa manis tanpa serat, tanaman tumbuh seragam dan tidak merambat, tinggi tanaman kangkung shanghai 20-25 cm, dan kemudian umur panen kangkung shanghai 20-25 hari setelah tanam. Ketiga adalah kangkung bisi, kangkung bisi pertumbuhannya seragam, tegak dan tingginya mencapai sekitar 25 cm, daun dan batangnya berwarna hijau dan bunganya berwarna putih, beradaptasi cukup baik dan mudah perawatannya dan dapat dipanen sekitar umur 25-30 hari setelah tanam, sangat cocok untuk segala jenis masakan karena batangnya yang renyah dan rasanya yang lezat.

Keempat kangkung bangkok, kangkung ini mempunyai batang yang baik, tegak, dan tidak menjalar, batang tumbuh seragam dan hijau segar, panen dengan cara dicabut pada umur 25-30 hari setelah tanam, rasa enak, serat empuk dan banyak dibudidayakan serta di gemari petani. Kelima adalah kangkung salina, kangkung ini tahan terhadap penyakit, batang dan daun hijau, kemudian tidak merambat dan panen bisa dilakukan dengan cara

dicabut dan bisa dipanen 25-30 hari setelah tanam. Keenam kangkung hapsari, kangkung hapsari mempunyai batang tegak dan tidak menjalar, batang seperti pipa hijau dengan diameter besar, tumbuh seragam dan daun hijau segar, permukaan daun halus, rasa renyah dan tidak liat, panen dengan cara dicabut pada 25-30 hari setelah tanam, dan masih banyak lagi varietas kangkung darat lainnya.

2.6.4 Kemampuan kangkung darat dalam fitoremediasi

Pemulihan lahan tercemar dengan teknik fitoremediasi dilakukan dengan menggunakan tumbuhan, dimana akar menjadi konduktif untuk proses mikrobiologis zat pencemar (Khairuddin, *et al.*, 2017). Selain itu metode ini tidak merusak sifat tanah, bahkan dapat meningkatkan atau mempertahankan struktur dan kesuburan tanah (Khairuddin, *et al.*, 2017). Penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan atau mengmobilisasi logam-logam dalam lingkungan tanah tercemar telah digunakan beberapa puluh tahun yang lampau, baik dalam skala laboratorium maupun penerapan lapangan (Khairuddin, *et al.*, 2017).

Pada penelitian sebelumnya, dilaporkan bahwa tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans*) merupakan tanaman hiperakumulator bagi ion logam Cr(VI) karena mampu mengakumulasi logam Cr melalui mekanisme fitostabilisasi dan distribusi ion logam Cr(VI) (Mayasari, 2008). Selain Cr, tanaman kangkung darat juga dilaporkan dapat menyerap kandungan timbal (Pb). Menurut (Agustanti, *et al.*, 2005), kandungan timbal (Pb) dalam tanaman kangkung darat yang tumbuh pada media terkontaminasi Pb selama 6 minggu panen sebesar 2,09 mg/gram dan jauh lebih tinggi dibanding dengan tanaman yang dipanen pada umur 3 minggu yaitu 1,13 mg/gram (seluruh bagian tanaman tanpa akar). Akumulasi Pb yang terbesar terjadi pada akar tanaman kangkung yaitu umur 3 minggu sebesar 1,86 mg/gram dan umur 6 minggu sebesar 3,36 mg/gram.

Penyerapan logam kadmium (Cd) oleh tanaman kangkung air pada penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa lama waktu kangkung air ditanam dalam *leachate* berpengaruh terhadap akumulasi Cd pada tanaman. Penyerapan Cd oleh kangkung air mencapai jenuh pada hari ke-8 dengan total

penyerapan 0,052 ppm. Akumulasi Cd paling besar pada akar kangkung yaitu 0,023 ppm (Zamhar & Dewi, 2015). Pada penelitian yang dilakukan oleh Suhaeni & Wardi (2016), sampel kangkung darat yang diambil dari 3 lokasi berbeda menunjukkan bahwa tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans*) mampu menyerap logam berat Cd dalam tanah pada organ akar, batang dan daun. Pada sampel 1 organ akar sebanyak 0.4303 mg/kg, batang sebanyak 0.1513 mg/kg dan daun sebanyak 0.1667 mg/kg. Pada sampel 2 organ akar sebanyak 0.1608 mg/kg, batang sebanyak 0.1860 mg/kg dan daun sebanyak 0.1670 mg/kg. Pada sampel 3 organ akar sebanyak 0.2239 mg/kg, batang sebanyak 0.1375 mg/kg dan daun sebanyak 0.1587 mg/kg.

2.7 Fitoremediasi

Istilah Fitoremediasi merupakan gabungan dari kata Phyto yang berarti tanaman dan remedium yang berarti memperbaiki atau menghilangkan unsur jahat (Tangahu, *et al.*, 2011). Fitoremediasi didefinisikan sebagai teknologi yang menggunakan tanaman terpilih untuk membersihkan lingkungan yang terkontaminasi dari kontaminan berbahaya sehingga dapat meningkatkan kualitas lingkungan (Tangahu, *et al.*, 2011). Sementara itu, definisi dari fitoremediasi menurut EPA, (2011) adalah proses mengurangi pencemar kimia di dalam tanah melalui akar tanaman. USGS (2010) juga menerangkan definisi fitoremediasi sebagai penggunaan tanaman untuk meremediasi pencemar melalui asupan air yang terkontaminasi (proses transpirasi) oleh tanaman.

Berdasarkan definisi tersebut, maka dapat dijelaskan bahwa fitoremediasi merupakan sebuah teknologi untuk proses penghilangan, pemindahan, penstabilan atau penghancuran bahan pencemar baik senyawa organik maupun anorganik pada tanah, limbah, kolam dengan menggunakan vegetasi

Menurut Priyanto & Prayitno (2007), proses penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tanaman dapat dibagi menjadi tiga proses yang berkesinambungan sebagai berikut:

A. Penyerapan oleh akar

Agar tanaman dapat menyerap logam, maka logam harus dibawa ke dalam larutan di sekitar akar (rizosfer) dengan beberapa cara bergantung pada spesies tanaman. Senyawa-senyawa yang larut dalam air biasanya diambil oleh akar

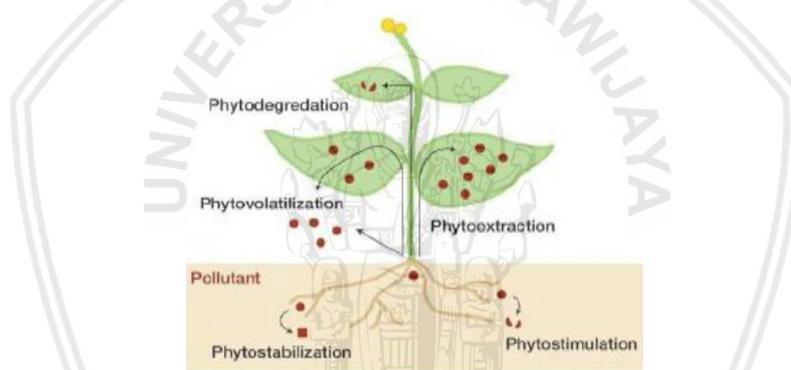
bersama air, sedangkan senyawa-senyawa hidrofobik diserap oleh permukaan akar.

B. Translokasi logam dari akar ke bagian tanaman lain

Setelah logam menembus endodermis akar, logam atau senyawa asing lain mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut (xilem dan floem) ke bagian tanaman lainnya. Untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan, logam diikat oleh molekul khelat.

C. Lokalisasi logam pada sel dan jaringan

Hal ini bertujuan untuk menjaga agar logam tidak menghambat metabolisme tanaman. Sebagai upaya untuk mencegah peracunan logam terhadap sel, tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar.



Gambar 4. Penyerapan Polutan pada Tanaman dalam Proses Fitoremediasi (titik merah menunjukkan polutan) (Pilon-Smits, 2005)

Mekanisme penyerapan kontaminan oleh fitoremediasi dapat dibagi ke dalam beberapa jenis. Wong (2004), menjelaskan bahwa mekanisme kerja fitoremediasi meliputi fitoekstraksi, fitovolatilisasi, fitodegradasi, fitostabilisasi, rizofiltrasi dan interaksi dengan mikroorganisme pendegradasi polutan. Lebih lanjut dijelaskan bahwa metode yang paling banyak digunakan pada tanah yang terkontaminasi adalah fitodegradasi atau fitoekstraksi.

A. Fitoekstraksi

Fitoekstraksi adalah teknik penyerapan kontaminan di dalam tanah dan ditranslokasikan oleh akar tanaman ke bagian atas tanaman (pucuk) yang dapat dipanen dan diproses untuk mendapatkan energi serta mendaur ulang logam tersebut (Erakhrumen & Agbontalor, 2007).

Fitoekstraksi dapat mengurangi polutan berupa logam, senyawa anorganik dan radionuklida (Mwegoha, 2008). Lebih lanjut dilaporkan oleh Jadia & Fulekar (2009) bahwa jenis tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus*) dapat digunakan sebagai tanaman fitoekstraksi untuk mengurangi radionuklida (radioaktif Cesium-137 dan strontium-90) dalam tragedi nuklir Chernobyl serta mengurangi beberapa logam berat lainnya. Keberhasilan fitoekstraksi tergantung pada interaksi antara tanah, logam dan tanaman, yang dipengaruhi oleh kondisi iklim (Lasat, 2000).

B. Fitostabilisasi

Fitostabilisasi adalah teknik fitoremediasi dengan menggunakan spesies tanaman tertentu untuk membuat kontaminan menjadi tidak tersedia di tanah dan air tanah melalui penyerapan dan akumulasi dalam jaringan tanaman, adsorpsi ke akar, atau presipitasi dalam zona akar agar mencegah pergerakan mereka di tanah (Erakhrumen & Agbontalor, 2007). Proses yang terjadi dalam fitostabilisasi meliputi penyerapan, presipitasi, kompleksasi dan pengurangan logam yang sangat efektif untuk mengurangi logam timbal, arsen, kadmium, krom, tembaga dan seng (Jadia & Fulekar, 2009)

C. Fitodegradasi

Fitodegradasi merupakan teknik fitoremediasi yang mendegradasi pencemar organik menggunakan enzim dan tanaman (Handayanto, *et al.*, 2017). Fitodegradasi hanya menyingkirkan bahan pencemar organik karena pencemar anorganik tidak dapat didegradasi secara biologis. Tanaman yang digunakan dalam fitodegradasi harus mampu menyerap polutan dan mampu mendegradasi polutan menjadi produk yang tidak beracun. Lebih lanjut Mwegoha (2008) menerangkan bahwa jenis tanaman yang dapat digunakan untuk fitodegradasi adalah jenis pepohonan dan rerumputan.

D. Fitovolatilisasi

Fitovolatilisasi adalah pengambilan dan transpirasi kontaminan beracun oleh tanaman dengan melepaskan bentuk kontaminan yang dimodifikasi menjadi kurang beracun ke atmosfer. Beberapa kontaminan yang diserap oleh tanaman ini merupakan kontaminan yang bersifat mudah menguap melewati tanaman ke daun ke atmosfer pada konsentrasi yang relatif rendah (Erakhrumen &

Agbontalor, 2007). Teknik ini dinyatakan kurang efektif karena hanya memindahkan kontaminan berbahaya ke atmosfer yang sewaktu-waktu dapat mengendap ke dalam tanah (Handayanto, *et al.*, 2017). Kontaminan logam utama yang telah berhasil ditransformasi adalah merkuri, di mana ion merkuri diubah menjadi Hg elemental yang kurang beracun. Namun, kelemahannya adalah merkuri yang dilepaskan ke atmosfer akan terdaur ulang melalui proses hujan dan redeposisi ke laut dan menghasilkan metil merkuri (Jadia & Fulekar, 2009)

E. Rhizofiltrasi

Rhizofiltrasi adalah penyerapan kontaminan oleh akar tanaman yang ditanam secara hidroponik untuk menyerap air yang tercemar oleh limbah (Erakhrumen & Agbontalor, 2007). Persyaratan tanaman untuk rhizofiltrasi sama dengan tanaman untuk fitostabilisasi. Media yang dapat menggunakan teknologi ini adalah air bawah tanah, air permukaan dan air limbah dan tidak berfungsi dengan baik bila pada media tanah (Jadia & Fulekar, 2009)

Henry (2000) menjelaskan tentang keuntungan dan kelemahan rhizofiltrasi. Keuntungan teknologi Rhizofiltrasi adalah dapat menggunakan jenis tanaman darat dan perairan secara *in situ* maupun *ex-situ* serta polutan tidak harus tersimpan di dalam tajuk. Sedangkan kelemahannya adalah memerlukan penyesuaian pH terlebih dahulu, tanaman harus terlebih dahulu ditanam di rumah kaca atau persemaian, pemanenan dan pembuangan tanaman dilakukan secara berkala, konstruksi tank harus dirancang secara baik serta diperlukan pemahaman mendalam tentang reaksi kimia yang terjadi.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Pelaksanaan penelitian dilakukan di beberapa tempat. Pengambilan sampel tanah dilakukan di area luar tanggul lumpur panas Lapindo pada bulan Maret 2019. Persiapan media tanam dan penanaman kangkung dilakukan di Greenhouse Sekolah Tinggi Penyuluhan Pertanian (STPP) Malang pada bulan April-Mei 2019. Analisis kandungan kadmium pada tanah dan tanaman dilakukan di Laboratorium Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Malang. Pengukuran tinggi tanaman, jumlah daun, berat basah dilakukan di Greenhouse STPP Malang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan selama penelitian yaitu alat-alat perangkat *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS), pH meter, oven, labu *erlenmeyer* 25 ml, sendok, corong, buret, pengaduk dan magnetic stirer, alat destruksi, pipet tetes, botol plastik 25 ml, pengocok, beaker glass, labu ukur 1L, kompor listrik, kertas saring, gelas ukur 250 ml, labu ukur 500 ml, kamera, penggaris, polybag, kantong plastik, karung, sekop, neraca analitik, botol air mineral 1,5 L, cangkul dan alat tulis.

3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu benih tanaman kangkung darat, air, aquades, tanah tercemar lumpur Lapindo, pupuk kompos, biochar, HCl pekat, HNO₃ pekat, *diphenil carbazid*, H₂SO₄, H₃PO₄ 85%, K₂Cr₂O₇, H₂SO₄ pekat, Fe₂SO₄, *Difenilamina*, *Aquadest*, NaOH, etanol, H₃BO₃.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL). Terdapat delapan perlakuan dan tiga kali ulangan sehingga terdapat 24 unit sampel penelitian. Perlakuan yang diberikan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perlakuan Penelitian

No	Kode	Perlakuan Komposisi Media Tanam
1	K0	Kontrol (100% tanah tercemar)
2	K1	Komposisi tanah tercemar dan kompos 3:1
3	K2	Komposisi tanah tercemar dan kompos 1:1
4	K3	Komposisi tanah tercemar dan kompos 1:3
5	K4	Komposisi tanah tercemar dan biochar 3:1
6	K5	Komposisi tanah tercemar dan biochar 1:1
7	K6	Komposisi tanah tercemar dan biochar 1:3
8	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.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Pengambilan Sampel Tanah Tercemar Lumpur Lapindo

Pengambilan sampel tanah dilakukan di sisi luar tanggul lumpur Lapindo yang termasuk ke dalam wilayah Desa Renokenong, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo. Vegetasi yang terdapat pada sisi luar tanggul lumpur Lapindo ini didominasi oleh semak belukar dan rumput ilalang, namun di beberapa lokasi, tanah yang sudah menjadi hak milik pemerintah ini dimanfaatkan oleh warga sekitar untuk kegiatan pertanian.



Gambar 5. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

Sampel tanah didapatkan dengan cara komposit di lima titik pada kedalaman 0-20 cm. Sampel tanah yang sudah didapatkan tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam plastik berklip. Pengambilan sampel tanah ini selanjutnya akan digunakan untuk analisis dasar.

3.4.2 Analisis dasar

Analisis dasar dilakukan untuk mengetahui kandungan dan kondisi awal bahan media tanam. Analisis ini dilakukan pada tanah tercemar limbah, kompos, dan biochar yang akan digunakan. Bahan-bahan yang digunakan untuk campuran media tanam tersebut selanjutnya dikering anginkan dan disaring menggunakan ayakan. Setelah didapatkan bahan yang halus, bahan tersebut dianalisis untuk mengetahui kandungan logam berat awal, c-organik, pH, dan N totalnya.

Tabel 2. Hasil analisis dasar

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

Hasil analisis dasar pada Tabel di atas menunjukkan bahwa untuk kandungan N total tertinggi terdapat pada kompos yaitu 3,70% sedangkan kandungan N total terendah terdapat pada tanah tercemar yaitu sebesar

0,14%. Kandungan C-Organik tertinggi terdapat pada kompos yaitu 11,46% dan yang terendah dimiliki oleh tanah tercemar sebesar 1,07%. Kandungan C/N rasio tertinggi terdapat pada Biochar yaitu 53,94 dan yang terendah terdapat pada kompos yaitu 3,10. Kandungan pH tertinggi dimiliki oleh biochar sebesar 7,4 dan yang terendah dimiliki oleh tanah tercemar sebesar 5,4. Pada analisis kandungan logam berat kadmium, tanah tercemar lumpur Lapindo memiliki kandungan Cd 8,34 mg/kg sedangkan kompos dan biochar tidak terdeteksi.

3.4.3 Pesiapan media tanam

Pesiapan 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. Sebelum dimasukkan ke dalam polybag, tanah harus diayak dengan ukuran 2 mm agar mendapatkan media tanam dengan butiran halus yang homogen dan membuang kerikil-kerikil yang berukuran besar. Setelah ditimbang sesuai dengan perbandingan komposisi, bahan-bahan tersebut dicampurkan ke dalam polybag menggunakan wadah sesuai perlakuan yang ada (Tabel 1). Polybag yang telah berisi media tanam tersebut kemudian didiamkan selama satu minggu.

3.4.4 Penanaman

Benih yang digunakan untuk penanaman adalah 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.

3.4.5 Perawatan

A. Penyulaman

Penyulaman dilakukan pada 7 HST. Penyulaman dilakukan dengan cara mengganti tanaman yang mati atau tidak tumbuh dengan tanaman

baru. Penyulaman dilakukan dengan tujuan agar tanaman dapat tumbuh serentak.

B. Penyiangan

Penyiangan dilakukan dengan cara mencabut gulma yang tumbuh di sekitar tanaman. Pencabutan dilakukan hingga akar gulma agar gulma tidak mudah tumbuh kembali. Penyiangan gulma dilakukan dengan tujuan untuk meminimalisir terjadinya persaingan baik persaingan unsur hara, sinar matahari, maupun pergerakan akar dengan tanaman utama. Kegiatan penyiangan dilakukan setiap tiga hari sekali.

C. Penyiraman

Penyiraman tanaman dilakukan setiap hari pada waktu pagi hari hingga tanaman memasuki masa panen. Penyiraman dilakukan dengan cara disiram menggunakan wadah botol atau gelas plastik ukuran 1 liter.

3.4.6 Pemanenan

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.

3.4.7 Analisis akhir

3.4.7.1 Analisis kandungan logam kadmium (Cd)

Analisis akhir dilakukan setelah pemanenan tanaman kangkung. Analisis ini menggunakan metode AAS sesuai SNI 06-6989 16-2004. Sampel tanah dan tanaman dianalisis di laboratorium untuk diketahui besarnya kandungan logam Cd yang terdapat pada sampel tanah dan tanaman tersebut. Analisis laboratorium dilakukan pada masing-masing sampel yakni sampel tanah dan tanaman sebagai berikut:

A. Analisis sampel tanah

Sampel tanah yang akan dianalisis diambil dengan menggunakan pipa berukuran panjang 25 cm dengan diameter kurang lebih 3,5 cm. Kemudian pipa di tancapkan ke dalam pot hingga kedalaman 20 cm dan di cabut kembali hingga ke atas permukaan. Kemudian sampel dikeluarkan dari pipa dan di masukkan ke dalam plastik klip untuk di

bawa ke laboratorium. Pengambilan sampel dilakukan pada 24 pot pengamatan.

B. Analisis sampel tanaman

Sampel tanaman yang akan dianalisis berupa bagian akar dan tajuk tanaman. Pengambilan sampel tanaman dilakukan secara destruktif dengan cara memotong pada bagian akar dan tajuk tanaman. Sampel tanaman kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisis kadar Cd pada bagian tanaman tersebut.

3.4.7.2 Analisis kandungan pH media tanam

Analisis pH dilakukan dengan mengambil sampel media tanam dari masing-masing pot percobaan. Fungsi dari analisis ini untuk mengetahui kondisi pH setelah penanaman kangkung. Analisis ini menggunakan metode *gravimetri* dengan alat pH meter.

3.5 Perhitungan Faktor Biokonsentrasi (BCF) dan Faktor Translokasi (TF)

Analisis BCF dilakukan untuk mengetahui tingkat akumulasi logam berat Cd pada akar dan tajuk tanaman kangkung darat. Faktor biokonsentrasi dihitung dengan rumus:

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

Analisa TF digunakan untuk menghitung proses translokasi logam berat Zn dari akar ke daun. Perhitungan TF yang digunakan yaitu:

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

Menurut Baker (1981) nilai TF memiliki kategori yaitu:

TF > 1: Mekanisme fitoekstraksi. Fitoekstraksi adalah proses penyerapan logam berat oleh akar tanaman yang kemudian di translokasikan menuju batang dan daun.

TF < 1: Mekanisme fitostabilisasi. Fitostabilisasi adalah proses yang dilakukan oleh tanaman untuk mentransformasi polutan di dalam tanah menjadi senyawa yang non toksik tanpa menyerap terlebih dahulu polutan tersebut kedalam tubuh tanaman. Hasil transformasi dari polutan tersebut tetap berada di dalam tanah. Tanaman menstabilkan polutan dalam tanah, sehingga membuat logam berat tidak berbahaya.

3.6 Variabel Pengamatan

Pengamatan yang dilakukan diantaranya adalah pertumbuhan tanaman, kandungan logam berat kadmium pada media tanam, dan kandungan logam berat kadmium pada tanaman serta pH media tanam. Parameter pengamatan yang dilakukan dalam penelitian ini selengkapnya disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter Pengamatan

No.	Objek	Keterangan	Metode	Satuan	Keterangan
1.	Tanah	Kandungan Cd	AAS	mg/kg	0 HST dan 28 HST
		pH	<i>Gravimetri</i>	-	
2.	Tanaman	Tinggi tanaman	Non destruktif	cm	7 HST, 14 HST, 21 HST, 28 HST
		Jumlah daun	Non destruktif	buah	
		Kandungan Cd	AAS	mg/kg	28 HST
		Berat kering Serapan Cd	Destruktif -	g $\mu\text{g/tanaman}$	

Pertumbuhan tanaman yang akan diamati dari awal tanam hingga panen adalah tinggi tanaman dan jumlah daun. Pengamatan kedua parameter tersebut dilakukan dalam jangka waktu seminggu sekali, yaitu pada 7 HST, 14 HST, 21 HST, dan 28 HST. Kandungan Cd dan pH tanah akan dianalisis sebelum penanaman dan setelah pemanenan.

3.7 Analisis Data

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.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Perlakuan terhadap Pertumbuhan Tanaman Fitoremediator

4.1.1 Tinggi tanaman

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 4). 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 4.

Tabel 4. Pertumbuhan Tinggi Tanaman Kangkung Darat

Perlakuan	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)

Pada perlakuan K1, K2, dan K3 di akhir masa tanam (28 HST), menunjukkan bahwa semakin besar komposisi kompos yang diberikan akan semakin meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman kangkung darat. Pada perlakuan K4, K5, K6 menunjukkan bahwa tinggi tanaman dengan penambahan biochar tunggal tidak melebihi tinggi tanaman yang diberikan perlakuan kompos tunggal. Hal ini disebabkan 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.

Nitrogen merupakan unsur hara yang berperan dalam memacu pertumbuhan tanaman terutama pembentukan klorofil yang menyebabkan fotosintesis dapat berjalan dengan baik (Evita, 2009). 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 penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hussain, *et al.*, (2018) penambahan biochar tunggal tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan tanaman dibandingkan dengan penambahan kompos tunggal karena disebabkan oleh rendahnya biodegradabilitas biochar dibandingkan dengan kompos, sehingga ketersediaan nutrisi dari biochar rendah.

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 & Goenadi, 2010). 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.

4.1.2 Jumlah daun

Berdasarkan hasil analisis statistik, penambahan bahan organik kompos dan biochar terhadap tanah tercemar lumpur Lapindo memberikan pengaruh nyata pada 21 HST dan 28 HST (Tabel 5). 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. Jumlah daun pada tanaman kangkung darat selengkapnya disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Pertumbuhan Jumlah Daun Tanaman Kangkung Darat

Perlakuan	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)

Pada 21 HST diketahui bahwa 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.

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 & Sitawati (2017), jumlah daun berkaitan dengan tinggi tanaman karena

semakin tinggi tanaman akan semakin banyak ruas batang yang akan menjadi tempat keluarnya daun.

Oleh sebab itu, pengaruh banyaknya pemberian komposisi kompos dan biochar terhadap banyaknya jumlah daun memiliki penyebab yang sama seperti pada parameter tinggi tanaman yaitu disebabkan karena hasil analisis awal kandungan N total kompos lebih tinggi dibandingkan kandungan N total pada biochar dan tanah tercemar lumpur Lapindo. Nitrogen merupakan unsur hara yang berperan dalam memacu pertumbuhan tanaman terutama pembentukan klorofil yang menyebabkan fotosintesis dapat berjalan dengan baik (Evita, 2009). 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 penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hussain, *et al.*, (2018) penambahan biochar tunggal tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan tanaman dibandingkan dengan penambahan kompos tunggal karena disebabkan oleh rendahnya biodegradabilitas biochar dibandingkan dengan kompos, sehingga ketersediaan nutrisi dari biochar rendah.

Pada 28 HST, perlakuan K7 dengan komposisi penambahan kompos dan biochar 1:1:1, memiliki jumlah daun yang terbaik. Hal ini disebabkan karena kompos memberikan semua unsur hara dan garam mineal yang dibutuhkan sedangkan biochar membantu menjaga tanah agar tetap lembab sehingga air dan unsur hara dapat tertahan di tanah (Santi & Goenadi, 2010). 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.

4.1.3 Berat Kering Tanaman

Berdasarkan hasil analisis statistik, penambahan bahan organik kompos dan biochar terhadap tanah tercemar lumpur Lapindo memberikan pengaruh nyata terhadap berat kering akar maupun tajuk tanaman kangkung darat. 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 diakumulasikan di dalam tubuh tanaman. Berat kering akar dan tajuk tanaman kangkung darat selengkapnya disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Berat Kering Akar dan Tajuk Tanaman

Perlakuan	Berat kering akar (gram)	Berat kering 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 6 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 6 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.

4.2 Pengaruh Perlakuan terhadap Nilai pH Tanah

Hasil pengukuran pH yang dilakukan pada saat masa tanam telah selesai menunjukkan bahwa perlakuan memberikan pengaruh yang nyata berdasarkan hasil analisis statistik dengan menggunakan DMRT taraf 5% (Tabel 7). Pemberian bahan organik kompos dan biochar menyebabkan nilai pH mengalami kenaikan dibandingkan hasil analisis tanah awal. Nilai pH selengkapnya disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Pengaruh Komposisi Media Tanah Terhadap Nilai pH Tanah

Kode	Perlakuan	pH
K0	Kontrol (100% tanah tercemar)	5,60 a
K1	Komposisi tanah tercemar dan kompos 3:1	5,62 a
K2	Komposisi tanah tercemar dan kompos 1:1	5,87 b
K3	Komposisi tanah tercemar dan kompos 1:3	6,08 cd
K4	Komposisi tanah tercemar dan biochar 3:1	6,05 bc
K5	Komposisi tanah tercemar dan biochar 1:1	6,12 cd
K6	Komposisi tanah tercemar dan biochar 1:3	6,28 de
K7	Komposisi tanah tercemar, kompos dan biochar 1:1:1	6,33 e

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil tidak berbeda nyata menurut uji DMRT taraf 5%

Tabel 7 menunjukkan bahwa pH tanah tertinggi terdapat pada perlakuan K7 dengan nilai pH di angka 6,33 sedangkan nilai pH terendah terdapat pada perlakuan K0 dengan nilai pH di angka 5,60. Tabel di atas juga menunjukkan bahwa terdapat perlakuan yang tidak berbeda nyata, yaitu pada perlakuan K0 dan K1 serta pada perlakuan K3 dan K5. Berdasarkan klasifikasi LPT (1983), pada perlakuan K0 (kontrol) sampai dengan perlakuan K7 tergolong dalam kategori agak masam.

Tabel 7 juga menunjukkan bahwa setiap penambahan komposisi bahan organik kompos maupun biochar dapat meningkatkan nilai pH pada masa akhir tanam. Hal tersebut dapat terjadi karena nilai pH awal dari kompos dan biochar lebih tinggi dibandingkan nilai pH pada tanah tercemar lumpur Lapindo sehingga semakin banyak jumlah kompos dan biochar yang ditambahkan akan semakin meningkatkan nilai pH tanah yang masam. Nilai pH media tanam dengan penambahan biochar tunggal memiliki nilai pH yang lebih tinggi dibandingkan nilai

pH media tanam dengan penambahan kompos tunggal pada setiap komposisinya. Hal ini dapat terjadi karena nilai pH awal biochar lebih tinggi dibandingkan nilai pH awal kompos. Menurut pendapat Herman, *et al.*, (2018), meningkatnya pH tanah setelah aplikasi biochar berkaitan dengan sifat biochar yang alkalin. Selain itu, bahan organik yang diberikan nantinya akan terdekomposisi lanjut/termineralisasi melepaskan mineral-mineral berupa kation-kation basa (Ca, Mg, Na, K) yang menyebabkan konsentrasi ion OH-meningkat mengakibatkan pH naik (Kaya, 2014).

4.3 Pengaruh Perlakuan terhadap 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 8). 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 selengkapnya disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Konsentrasi Kadmium pada Media Tanam

Kode	Perlakuan	Konsentrasi Cd (mg/kg)
K0	Kontrol (100% tanah tercemar)	1,08 e
K1	Komposisi tanah tercemar dan kompos 3:1	0,66 bc
K2	Komposisi tanah tercemar dan kompos 1:1	0,65 bc
K3	Komposisi tanah tercemar dan kompos 1:3	0,61 b
K4	Komposisi tanah tercemar dan biochar 3:1	0,91 d
K5	Komposisi tanah tercemar dan biochar 1:1	0,78 c
K6	Komposisi tanah tercemar dan biochar 1:3	0,72 bc
K7	Komposisi tanah tercemar, kompos dan biochar 1:1:1	0,42 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil tidak berbeda nyata menurut uji DMRT taraf 5%.

Hasil analisis kandungan logam berat pada media tanah menunjukkan bahwa setiap penambahan bahan organik baik kompos maupun biochar dapat mengurangi kadar logam berat yang terdapat pada tanah. Hal tersebut terjadi karena penambahan bahan organik seperti kompos dan biochar ke dalam tanah yang tercemar logam berat dapat meremediasi logam berat yang terdapat di tanah tersebut. Pendapat tersebut didukung oleh Hidayat (2013) yang menyatakan bahwa aplikasi biochar dan kompos dapat mengurangi mobilitas logam berat di tanah yang tercemar sehingga berubah menjadi bentuk tidak tersedia. Selain itu, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Park, *et al.*, (2011), pemberian bahan organik seperti biochar dan kompos ke tanah dapat berpotensi untuk mengurangi bioavailabilitas, pelindian logam berat dan polutan organik dalam tanah melalui adsorpsi dan reaksi fisikokimia.

Tabel 8 juga 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 & 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).

4.4 Pengaruh Perlakuan terhadap 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. Dari hasil analisis statistik yang dilakukan, diketahui bahwa penambahan bahan organik kompos dan biochar berpengaruh nyata terhadap konsentrasi dan serapan logam berat kadmium (Cd) pada akar tanaman (Tabel 9). 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 $\mu\text{g}/\text{tanaman}$. Perlakuan K4 juga memiliki konsentrasi dan serapan logam berat kadmium (Cd) yang terendah yaitu sebesar 0,35 mg/kg dan 0,231 $\mu\text{g}/\text{tanaman}$ 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 $\mu\text{g}/\text{tanaman}$. Hasil analisis yang menunjukkan kandungan dan serapan logam berat pada akar tanaman selengkapnya disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Konsentrasi dan Serapan Kadmium pada Akar

Perlakuan	Konsentrasi Cd (mg/kg)	Serapan Cd ($\mu\text{g}/\text{tanaman}$)
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)

Tabel 9 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 & Khan, 1983).

Pada akar tanaman kangkung darat, peningkatan konsentrasi logam berat Cd tertinggi ditemukan pada perlakuan K7 yang meningkat hingga 44% dibandingkan dengan 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.

Rata-rata, konsentrasi logam berat kadmium (Cd) yang terdapat pada akar tanaman kangkung darat ini bernilai lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi yang ada pada media tanam. 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).

4.5 Pengaruh Perlakuan terhadap 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. Logam berat ini akan menyebar hingga ke tajuk tanaman. Tabel 10 menunjukkan bahwa rata-rata 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. Berdasarkan hasil analisis, 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 $\mu\text{g}/\text{tanaman}$. 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 10.

Tabel 10. Konsentrasi dan Serapan Kadmium pada Tajuk

Perlakuan	Konsentrasi Cd (mg/kg)	Serapan Cd ($\mu\text{g}/\text{tanaman}$)
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)

Tabel 10 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 & Khan, 1983).

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 10 dapat diketahui bahwa rata-rata konsentrasi logam berat kadmium (Cd) yang ada pada tajuk tanaman kangkung darat ini bernilai lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi 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.

4.6 Pengaruh Perlakuan terhadap Nilai 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 11.

Tabel 11. Nilai BCF dan TF

Perlakuan	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 di atas 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 11 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 11 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 pendapat Widyawati (2008) 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 mendegradasikan 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.

4.7 Pembahasan Umum

Permasalahan yang sering terjadi pada daerah sekitar pertambangan khususnya daerah lumpur Lapindo adalah tercemarnya tanah sekitar oleh logam berat. Hasil analisis awal yang telah dilakukan pada tanah tercemar yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa tanah yang berada di sekitar area luar tanggul lumpur Lapindo tersebut memiliki kandungan logam berat kadmium (Cd) sebesar 8,34 mg/kg yang keberadaannya telah melebihi ambang batas (Barchia,

2009). Kondisi tanah tercemar tersebut juga memiliki pH 5,1 yang tergolong masam, C-Organik yang rendah, dan N Total yang rendah.

Penambahan bahan organik kompos dan biochar dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman fitoremediator bila dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Perlakuan tersebut menunjukkan bahwa setiap penambahan dosis kompos maupun biochar yang diberikan, semakin meningkatkan pertumbuhan tanaman baik dari parameter tinggi tanaman, jumlah daun maupun berat kering. Pemberian bahan organik kompos secara tunggal pada perlakuan ini menghasilkan tinggi tanaman, jumlah daun, dan berat kering yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan pemberian bahan organik biochar secara tunggal. Hal tersebut disebabkan karena pada analisis awal, kandungan biochar memiliki unsur hara N yang lebih rendah dibandingkan kompos. Rusmana & Salim (2003) menyatakan bahwa unsur nitrogen memiliki peranan penting bagi tanaman, yaitu untuk merangsang pertumbuhan tanaman secara keseluruhan, khususnya batang, cabang dan daun. Ketersediaan nitrogen dalam tanah dipengaruhi oleh kadar air tanah, suhu serta fiksasi nitrogen oleh bakteri tanah dan bahan organik tanah itu sendiri sehingga kadar nitrogen pada tanah akan rendah apabila bahan organik memiliki kandungan nitrogen yang rendah (Miftah & Supijatno, 2017). Wisniewska, *et al.*, (2016) menyatakan bahwa penambahan pupuk N, P, dan K dianjurkan untuk meningkatkan proses fitoremediasi dalam penggunaan bahan organik biochar karena memiliki efek positif bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Pada perlakuan K7 dengan kombinasi penambahan kompos dan biochar pada media tanam, pertumbuhan tinggi, jumlah daun, dan berat kering tanaman kangkung darat menjadi yang terbaik (Tabel 4) karena kompos memberikan semua unsur hara dan garam mineal yang dibutuhkan sedangkan biochar membantu menjaga tanah agar tetap lembab sehingga air dan unsur hara dapat tertahan di tanah (Santi & Goenadi, 2010). 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.

Pengaruh perlakuan terhadap proses fitoremediasi kandungan kadmium (Cd) oleh tanaman kangkung darat memiliki dampak yang positif. Penambahan bahan organik kompos dan biochar meningkatkan fitoremediasi tanaman apabila dibandingkan dengan kontrol. Perlakuan terbaik terdapat pada perlakuan K7 karena memiliki faktor bioakumulasi (BCF) dan faktor translokasi (TF) yang terbesar, diikuti oleh perlakuan K3, K2, K1 dan K6, K5, K4 (Tabel 11). Secara umum dapat diketahui bahwa penambahan bahan organik kompos baik secara tunggal maupun dikombinasikan dengan biochar memiliki efek yang lebih baik dibandingkan dengan penambahan bahan organik biochar secara tunggal. Hal tersebut dapat terjadi karena sifat biochar yang alkalis menyebabkan keberadaan logam berat di tanah menjadi tidak tersedia atau merendahkan tingkat ketersediaannya bagi tanaman sehingga tanaman tidak dapat menyerap logam berat tersebut secara maksimal (Khan, *et al.*, 2018).

Selain dipengaruhi oleh pH, kandungan asam-asam organik seperti asam humat juga memiliki peran penting dalam proses fitoremediasi dengan penambahan bahan organik. Wisniewska, *et al.*, (2016) berpendapat bahwa tujuan menggunakan amandemen bahan organik dalam fitoremediasi adalah untuk menambahkan biochelator di dalam tanah. Zat-zat ini dapat meningkatkan bioavailabilitas dan mobilitas polutan tanah, terutama logam dan metaloid, sehingga meningkatkan efisiensi fitoremediasi. Wijayanti, *et al.*, (2018) menjelaskan bahwa deprotonasi gugus-gugus fungsional asam humat akan menurunkan kemampuan pembentukan ikatan hidrogen, baik antar molekul maupun sesama molekul dan meningkatkan jumlah muatan negatif gugus fungsional asam humat, sehingga akan meningkatkan gaya tolak menolak antar gugus dalam molekul asam humat. Pengaruh tersebut akan menyebabkan permukaan partikel-partikel koloid asam humat bermuatan negatif dan menjadi lebih terbuka sehingga partikel Cd yang bermuatan positif akan terikat dengan asam humat tersebut. Hal ini membuktikan bahwa pada penelitian ini, kompos memiliki efek yang lebih baik dibandingkan dengan biochar karena berdasarkan penelitian terdahulu, kompos memiliki kandungan asam humat sebesar 29,47% (Wahyudi, 2007) sedangkan biochar berbahan sekam padi tidak memiliki kandungan asam humat (Mateus, *et al.*, 2017).

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Brunetti, *et al.*, (2012) diketahui bahwa penambahan kompos menunjukkan kemampuan akumulasi logam yang signifikan pada pucuk dan akar dibandingkan dengan biochar, efek ini mungkin disebabkan oleh kapasitas kompos untuk meningkatkan bioavailabilitas logam yang terjadi akibat dari proses pengomposan yang dapat melepaskan logam dari kombinasi organik dengan degradasi kompleks organologam, sehingga mengarah pada peningkatan bioavailabilitas logam.



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian yang telah dilakukan penulis memiliki kesimpulan sebagai berikut:

1. Perlakuan penambahan kompos dan biochar berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan tanaman dan kandungan logam berat yang terdapat di media tanam, akar, dan tajuk. Perlakuan penambahan bahan organik kompos secara tunggal (K1, K2, K3) pada setiap parameter memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan perlakuan penambahan bahan organik biochar secara tunggal (K4, K5, K6).
2. 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 perlakuan K0 (Kontrol).
3. Nilai TF pada seluruh perlakuan memiliki nilai di bawah 1 yang artinya, tanaman kangkung darat pada penelitian ini termasuk ke dalam fitostabilisasi.

5.2 Saran

Perlakuan kombinasi antara kompos dan biochar yang terdapat pada penelitian yang penulis lakukan hanya 1 dosis. Seharusnya dilakukan juga penambahan kombinasi antara kompos dan biochar ke dalam beberapa dosis untuk mengetahui pengaruh yang terjadi. Setelah kegiatan fitoremediasi pada media tanam telah dilaksanakan, seharusnya dilakukan penelitian lanjutan mengenai pengaruh media tanam yang telah di fitoremediasi terhadap tanaman berikutnya untuk mengetahui apakah masih terdapat logam berat yang terserap oleh tanaman atau tidak.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustanti, Hardjo, Jonathan & Kohar, 2005. Studi Kandungan Logam Pb dalam tanaman kangkung umur 3 dan 6 minggu yang ditanam di media yang mengandung Pb. *Makara Sains*, 9(2), pp. 56-59.
- Agustian, Susila, P. & Gusnidar, 2004. Pembentukan Asam Humat dan Fulvat Selama Pembuatan Kompos Jerami Padi. *Jurnal Solum*, 1(1), pp. 9-14.
- Ahmad, M. *et al.*, 2014. Biochar as a Sorbent for Contaminant Management in Soil and Water: A Review. *Chemosphere*, Volume 99, p. 19–33.
- Ariyanto, D. P., 2006. Ikatan Antara Asam Organik Tanah dengan Logam. *Jurnal Ilmu Tanah UNS*.
- Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D. & Hipps, N. A., 2010. Potential Mechanisms for Achieving Agricultural Benefits from Biochar Application to Temperate Soils: A Review. *Plant Soil*, Volume 337, pp. 1-18.
- Barchia, M. F., 2009. *Agroekosistem Tanah Mineral Masam*. Yogyakarta: UGM Press.
- Beesley, L., Jiménez, M. & Eyles, G., 2014. Effects of Biochar and Greenwaste Compost Amendments on Mobility, Bioavailability and Toxicity of Inorganic and Organic Contaminants in a Multi-element Polluted Soil. *Environ Pollut*, p. Vol. 158:2282–2287.
- Brunetti, G. *et al.*, 2012. The Effect of Compost and *Bacillus licheniformis* on The Phytoextraction of Cr, Cu, Pb and Zn by Three Brassicaceae Species from Contaminated Soils in The Apulia Region, Southern Italy. *Geoderma*, Volume 170, p. 322–330.
- Cahaya, T. S. & Nugroho, D. A., 2008. *Pembuatan Kompos dengan Menggunakan Limbah Padat Organik (Sampah Sayuran dan Ampas Tebu)*. Semarang: Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro.
- Charlena, 2004. *Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) Pada Sayur-Sayuran*. Bogor: Falsafah Sain (PL 702) Institut Pertanian Bogor .
- Chen, J. *et al.*, 2013. Biochar Soil Amendment Increased Bacterial but Decreased Fungal Gene Abundance with Shifts in Community Structure in a Slightly Acid Rice Paddy from Southwest China. *Applied Soil Ecology*, Volume 71, pp. 33-44.
- Chirakkara, R. A. & Reddy, K. R., 2015. Biomass and Chemical Amendments for Enhanced Phytoremediation of Mixed Contaminated Soils. *Ecological Engineering*, Volume 85, pp. 265-274.
- Deem, L. M. & Crow, S. E., 2017. *Biochar*. Honolulu: Department of Natural Resources and Environmental Management, University of Hawaii Manoa.
- Djuariah, D., 2007. Evaluasi Plasma Nutfah Kangkung di Dataran Medium Rancaekek. *Jurnal Hortikultura*, 7(3), pp. 756-762.
- Elika, Putri, E., Resnawaty & Gutama, 2017. Bencana Sosial Kasus Lumpur PT. Lapindo Brantas Sidoarjo, Jawa Timur. *Jurnal Prosiding Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Padjajaran*.

- EPA, 2011. Phytoremediation Lesson Plan : Plans Eat Bad Chemicals. The United States Environmental Protection Agency. [Online] Available at: www.epa.gov/tioclu-in.org [Accessed 20 Agustus 2019].
- Erakhrumen, A. & Agbontalor, 2007. Review Phytoremediation: an Environmentally Sound Technology for Pollution Prevention, Control and Remediation in Developing Countries. *Educational Research and Review*, 2(7), pp. 151–156,.
- Evita, 2009. Pengaruh Beberapa Dosis Kompos Sampah Kota terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kacang Hijau. *Jurnal Agronomi*, 13(2), pp. 5-8.
- Fikri, Syihabul, M., Indradewa, D. & Putra, E., 2015. Pengaruh Pemberian Kompos Limbah Media Tanam Jamur Pada Pertumbuhan dan Hasil Kangkung Darat (*Ipomoea reptans* Poir.). *Vegetalika*, 4(2), pp. 79-89.
- Fitra, A., Rahayu, Sudaryo, Y. & Winarsih, 2013. Kemampuan Fitoremediasi *Typha latifolia* dalam Menurunkan Kadar Logam Kadmium (Cd) Tanah yang Tercemar Lumpur Lapindo di Porong Sidoarjo. *Jurnal Lentera BIO Universitas Negeri Surabaya*.
- Gunradi, R. & Suprpto, S. J., 2007. Penelitian Endapan Lumpur di Daerah Porong Kabupaten Sidoarjo Provinsi Jawa Timur. Bandung, Pusat Sumberdaya Geologi.
- Hamzah, A., Kusuma, Z., Utomo, W. H. & Guritno, B., 2012. Penggunaan Tanaman *Vetiveria zizanoides* L. dan Biochar untuk Remediasi Lahan Pertanian Tercemar Limbah Tambang Emas. *Buana Sains*, 12(1), pp. 53-60.
- Handayanto, E. *et al.*, 2017. Fitoremediasi dan Phytomining Logam Berat Pencemar Tanah. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Henry, J. R., 2000. An Overview of The Phytoremediation of Lead and Mercury. Prepared for United States of Environmental Protection Agency–Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office.
- Herman, W., Resigia, E. & Syahrial, 2018. Formulasi Biochar dan Kompos *Titonia* (*Thitonia diversifolia*) terhadap Ketersediaan Hara Tanah Ordo Ultisol. *Agrotekma*, 2(2), pp. 152-158.
- Hidayat, A., 2013. Cemar Logam Berat Kadmium (Cd) dan Akibatnya Bagi Kesehatan Manusia. s.l.:Departemen Pertanian.
- Hussain, F. *et al.*, 2018. Combined Application of Biochar, Compost, and Bacterial Consortia with Italian ryegrass Enhanced Phytoremediation of Petroleum Hydrocarbon Contaminated Soil. *Environmental and Experimental Botany*.
- Jadia, C. D. & Fulekar, M. H., 2009. Review: Phytoremediation of Heavy Metals–Recent Techniques. *African Journal of Biotechnology*, 8(6), pp. 921-928.
- Juniawan, A., Rumhayati, B. & Ismuyanto, B., 2013. Karakteristik Lumpur Lapindo dan Fluktuasi Logam Berat Pb Dan Cu pada Sungai Porong dan Aloo. *Sains dan Terapan Kimia*, 7(1), pp. 50-59.

- Kaya, E., 2014. Pengaruh Pupuk Organik dan Pupuk NPK terhadap pH dan K-Tersedia Tanah serta Serapan-K, Pertumbuhan, dan Hasil Padi Sawah (*Oryza sativa* L). Buana Sains, 14(2), pp. 113-122.
- Khairuddin, Sikanna, R. & Sabaruddin, 2017. Kajian Kemampuan Akar Tanaman Kangkung Darat (*Ipomoea reptans* Poir) dalam Menyerap Logam Merkuri Pada Tanah Tercemar. Kovalen, 3(3), pp. 303-312.
- Khan, M. A. *et al.*, 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, Volume 636, p. 810–817.
- Khan, S. & Khan, N. N., 1983. Influence of Lead and Cadmium on Growth And Nutrient Concentration of Tomato and Eggs Plant. Plant And Soil, Volume 74, pp. 58-60.
- Kresna, I. G., Sukerta & Suryana, 2016. Pertumbuhan dan Hasil Beberapa Varietas Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea reptans* P.) Pada Tanah Alluvial Coklat Kelabu. Agrimeta, Volume 1, pp. 52-65.
- Lasat, M. M., 2000. Phytoextraction of Metals from Contaminated Soil: A Review of Plant/Soil/Metal Interaction and Assessment of Pertinent Agronomic Issues. Journal of Hazardous Substance Research, Volume 2.
- Liong, S., Noor, A., Taba, P. & Zubair, H., 2009. Dinamika Akumulasi Kadmium Pada Tanaman Kangkung Darat (*Ipomoea reptans* Poir). Indonesia Chimica Acta, 2(1).
- Manahan, S. E., 2001. Water Polution. Fundamentals Of Environmental Chemistry. 2nd ed. Florida: CRC Press Lewis Pub. Boca Raton.
- Maria, G. M., 2009. Respon Produksi Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea reptans* Poir.) Terhadap Variasi Waktu Pemberian Pupuk Kotoran Ayam. Jurnal Ilmu Tanah, 7(1), pp. 18-22.
- Mateus, R., Lenny, M. & Kantur, D., 2017. Pemanfaatan Biochar Limbah Pertanian Sebagai Bahan Pembenah Tanah untuk Meningkatkan Simpanan Karbon Organic Tanah, Kualitas Tanah dan Hasil Jagung. Agrotrop, 7(2), pp. 99-108.
- Mayasari, E., 2008. Penarikan Ion Logam Cr(VI) dari Tanah Menggunakan Tanaman Kangkung Darat (*Ipomoea reptans* Poir). Makassar: Universitas Hasanuddin Press.
- Miftah, A. P. & Supijatno, 2017. Pengaruh Pemupukan Nitrogen Terhadap Tinggi dan Percabangan Tanaman Teh (*Camelia Sinensis* (L.) O. Kuntze) untuk Pembentukan Bidang Petik. Bul. Agronomi, 5(2), pp. 234-241.
- Montazeri, *et al.*, 2010. Cemar Logam Berat Kadmium (Cd) dalam Tanah dan Akibatnya Bagi Kesehatan Manusia. s.l.:Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru.
- Muliadi, D., Liestianty, Yanny & Sumarna, S., 2013. Fitoremediasi: Akumulasi dan Distribusi Logam Berat Nikel, Cadmium dan Chromium Dalam Tanaman *Ipomea reptans*. Sumatera Barat: HKI.

- Mustopa, R. S. & Risanti, D. D., 2013. Karakterisasi Sifat Fisis Lumpur Panas Sidoarjo dengan Aktivasi Kimia dan Fisika. *Jurnal Teknik Pomits*, p. Vol. 2.
- Mwegoha, W. S., 2008. The Use Of Phytoremediation Technology For Abatement Soil And Groundwater Pollution In Tanzania: Opportunities And Challenges. *Journal Of Sustainable Development In Africa* , 10(1), pp. 140-156.
- Notodarmojo, 2004. Pencemaran Tanah dan Air Tanah. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Nur, F., 2013. Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd). *Biogenesis Jurnal Ilmiah Biologi*, p. Vol. 1.
- Nurida, N. L., Dariah, A. & Rachman, A., 2009. Kualitas Limbah Pertanian Sebagai Bahan Baku Pembuat Berupa Biochar untuk Rehabilitasi Lahan. s.l., Prosiding Seminar Nasional dan Dialog Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Ogundiran, B. M., Mekwunyei, N. S. & Adejumo, S. A., 2018. Compost and Biochar Assisted Phytoremediation Potentials of *Moringa oleifera* for Remediation of Lead Contaminated Soil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Issue <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.03.025>.
- Park, J. H. *et al.*, 2011. Biochar Reduces The Bioavailability and Phytotoxicity of Heavy Metals. *Plant Soil*, Volume 348, p. 439–451.
- Pilon-Smits, E., 2005. PHYTOREMEDIATION. *Annual Review of Plant Biology* , Volume 56, pp. 15-39 .
- Priyanto, B. & Prayitno, J., 2007. Fitoremediasi sebagai Sebuah Teknologi. Pemulihan Pencemaran, Khusus Logam Berat. *Jurnal Lingkungan*, Volume 7, pp. 27-38.
- Putra, M. K., Syekhfani & 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), pp. 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.
- Rusmana, N. & Salim, A. A., 2003. Pengaruh Kombinasi Pupuk Daun Puder dan Takaran Pupuk N, P, K yang Berbeda Terhadap Hasil Pucuk Tanaman Teh (*Camelia sinensis* (L) O. Kuntze) Seedling, TRI 2025 dan GMB 4. *Jurnal Penelitian Teh dan Kina*, 9(2), pp. 28-39.
- Santi, L. & Goenadi, D., 2010. Pemanfaatan Biochar Sebagai Pembawa Mikroba untuk Pemantap Agregat Tanah Ultisol dari Taman Bogo-Lampung. Bogor: Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan.
- Setyorini, Diah, Saraswati, R. & Anwar, E. K., 2015. Buku Pupuk Hayati dan Pupuk Organik. Bogor: Balai Penelitian Tanah.
- Suhaeni & Wardi, R. Y., 2016. Analisis Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Tanaman Kangkung Darat (*Ipomoea Reptans* Poir). *Jurnal Dinamika*, 7(2), pp. 1-8.

- Supriyanto, Samin, C. & Zainul, K., 2007. Analisis Cemar Logam Berat Pb, Cu, dan Cd pada Ikan Air Tawar dengan Metode Spektrometri Nyala Serapan Atom (SSA). Yogyakarta, BATAN.
- Tambunan, S., Siswanto, B. & 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), pp. 85-92.
- Tangahu, B. V. *et al.*, 2011. A Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants through Phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*.
- Trevisan, S., Francioso, O., Quaggiotti, S. & Nardi, S., 2010. Humic Substances Biological Activity at The Plant Soil Interfac: from Environmental Aspects to Molecular Factors. *Plant Signal Behav.*
- USGS, 2010. Phytoremediation. United States Geological Survey. [Online] Available at: https://toxics.usgs.gov/highlights/phytoremediation_book.html [Accessed 20 Agustus 2019].
- Wahyudi, I., 2007. Peran Asam Humat dan Fulvat Dari Kompos dalam Detoksifikasi Aluminium pada Tanah Masam. *Buana Sains*, 7(2), pp. 123-130.
- Walter, R., Catherine, K. & Katia, B., 2003. Phytoextraction Capacity of Trees Growing on A Metal Contaminated Soil. *Plant Soil*, Volume 256, pp. 265-27.
- Wang, Z., Liu, X. & Qin, H., 2019. Bioconcentration and Translocation of Heavy Metals in The Soilplants System in Machangqing Copper Mine, Yunnan Province, China. *Journal of Geochemical Exploration*.
- Wasis, B. & Sandrasari, A., 2011. Pengaruh Pemberian Pupuk Kompos terhadap Pertumbuhan Semai Mahoni pada Media Tanah Bekas Tambang Emas. *Silvikultur Tropika*, 3(1), pp. 109-112.
- Weiner, E. R., 2008. *Applications of Environmental Aquatic Chemistry. A Practical Guide..* 2nd ed. s.l.:CRC Press. Taylor and Francis Group.
- Wibowo, H. Y. & Sitawati, 2017. Respon Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea reptans* Poir) dengan Interval Penyiraman pada Pipa Vertikal. *Plantropica*, 2(2), pp. 148-154.
- Widyawati, E., 2008. Peranan Mikroba Tanah pada Kegiatan Rehabilitasi Lahan Bekas Tambang. *Pusat Litbang Hutan dan Konservasi Alam*, Volume 5.
- Wijayanti, A., Susatyo, E. B., Kurniawan, C. & Sukarjo, 2018. Adsorpsi Logam Cr(VI) dan Cu(II) pada Tanah dan Pengaruh Penambahan Pupuk Organik. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(3), pp. 242-248.
- Wisniewska, A., Hanus-fajerska, E., Muszy'nska, E. & Ciarkowska, K., 2016. Natural Organic Amendments for Improved Phytoremediation of Polluted Soils: A Review of Recent Progress. *Pedosphere*, 26(1), p. 1-12.

- Wong, J., 2004. Phytoremediation of Contaminated Soils. First Place Student Essay. *Journal of Natural Resources Life Science Education*, Volume 33, p. 51–53.
- Yuliati, Y. B. & Natanael, C. L., 2016. Isolasi Karakterisasi T Asam Humat Dan Penentuan Daya Serapnya Terhadap Ion Logam Pb(II), Cu(II) Dan Fe(II). *Al-Kimia*, Volume 4.
- Zamhar, K. N. & Dewi, N. K., 2015. Fitoremediasi Kadmium (Cd) pada Leachate Menggunakan Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk.) (Studi Kasus Tpa Jatibarang). *Jurnal MIPA*, 38(1), pp. 14-19.

