



**APLIKASI PUPUK GUANO SEBAGAI AGEN PENGKELAT LOGAM Pb
DAN Cd PADA TANAH TERCEMAR LIMBAH DENGAN
MENGUNAKAN TANAMAN KANGKUNG DARAT
(*Ipomoea reptans* Poir)**

SKRIPSI

Oleh:

**Muhammad Sulton
091510501089**

**PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**APLIKASI PUPUK GUANO SEBAGAI AGEN PENGKELAT LOGAM Pb
DAN Cd PADA TANAH TERCEMAR LIMBAH DENGAN
MENGUNAKAN TANAMAN KANGKUNG DARAT
(*Ipomoea reptans poir*)**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Jember

Oleh:

Muhammad Sulton
091510501089

**PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

SKRIPSI

**APLIKASI PUPUK GUANO SEBAGAI AGEN PENGKELAT LOGAM Pb
DAN Cd PADA TANAH TERCEMAR LIMBAH DENGAN
MENGUNAKAN TANAMAN KANGKUNG DARAT
(*Ipomoea reptans* Poir)**

Oleh

Muhammad Sulton
NIM. 091510501089

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Martinus Harsanto Pandutama, M.Sc., Ph.D.

NIP. 195403261981031003

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Ir. Tri Candra Setiawati, M.Si.

NIP. 196004091988022001

PENGESAHAN

Skripsi berjudul Aplikasi Pupuk Guano Sebagai Agen Pengkelat Logam Pb Dan Cd Pada Tanah Tercemar Limbah Dengan Menggunakan Tanaman Kangkung Darat (*Ipomoea reptans poir*), telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Pertanian pada:

Hari, tanggal :

Tempat : Fakultas Pertanian Universitas Jember.

Tim Penguji:

Penguji 1

Dr. Ir. Martinus Harsanto Pandutama, M.Sc., Ph.D
NIP. 195403261981031003

Penguji 2

Penguji 3

Dr. Ir. Tri Candra Setiawati, M.Si.
NIP. 196004091988022001

Dr. Ir. Sugeng Winarso, M.Si.
NIP. 196403221989031001

Mengesahkan
Dekan

Dr. Ir. Jani Januar, M.T.
NIP. 19590102 198803 1 002

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Sulton

NIM : 091510501089

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul **Aplikasi Pupuk Guano Sebagai Agen Pengkelat Logam Pb Dan Cd Pada Tanah Tercemar Limbah Dengan Menggunakan Tanaman Kangkung Darat (*Ipomoae reptans Poir*)** adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isi sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 28Juli2016
Yang menyatakan

Muhammad Sulton
NIM 091510501089

RINGKASAN

Aplikasi Pupuk Guano Sebagai Agen Pengkelat Logam Pb Dan Cd Pada Tanah Tercemar Limbah dengan Menggunakan Tanaman Kangkung Darat (*Ipomoea reptans poir*). Muhammad Sulton, 091510501089; Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Jember.

Sektor industri dewasa ini menjadi pendongkrak perekonomian masyarakat. Namun hal ini juga memberikan dampak berupa pencemaran lingkungan. Salah satu pencemaran yang harus ditangani secara intensif adalah pencemaran limbah logam berat sisa industri dalam tanah. Dari proses kegiatan industri tersebut, banyak limbah-limbah logam Pb dan Cd yang terbuang dilingkungan baik itu dalam air, tanah maupun ke udara yang berupa gas atau asap yang keluar dari cerobong industri. Logam ini memberikan dampak negatif terhadap kesehatan manusia seperti efek toksik yang tinggi bagi makhluk hidup apabila akumulasinya dalam tubuh jumlahnya melebihi ambang batas. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian aplikasi pupuk guano sebagai agen pengkelat logam Pb dan Cd pada tanah tercemar limbah dengan menggunakan tanaman hiperakumulator seperti tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans poir*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar tanaman hiperakumulator menyerap logam dengan penambahan pupuk guano sebagai pengkelat logam Pb dan Cd yang digunakan dalam menurunkan nilai BAF pada tanah tercemar.

Penelitian ini dilaksanakan di Agroteknopark Fakultas pertanian Universitas Jember, pada Oktober sampai Desember 2014. Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: peralatan laboratorium, polibag, alat pertanian yang mendukung. Bahan yang digunakan yaitu: tanah inceptisol, limbah kertas Koran yang mengandung logam Pb dan Cd, pupuk guano, air, kangkung darat (*Ipomoea reptans poir*) berupa benih. Percobaan ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan 2 faktor perlakuan yaitu dosis pupuk guano antara lain G_0 (0 gram), G_1 (100 gram) dan dosis limbah antara lain L_0 (0 gram), L_1 (1 mg/kg) Pb, L_2 (2 mg/kg) Cd, diulang sebanyak 3 kali dengan 18 kombinasi. Pelaksanaan percobaan meliputi tahap analisis pendahuluan (analisis tanah, analisis pupuk

guano, analisis limbah), tahap pra tanam (penyiapan benih, penyiapan tanah, penyiapan limbah, inkubasi media), tahap aplikasi (penanaman benih, penyiraman, pemeliharaan dan panen. Variabel pengamatan yang dilakukan adalah kadar logam Pb, Cd pada tanah, kadar Pb, Cd tanaman, pH tanah, seapan Pb, Cd tanaman, P tersedia dalam tanah, berat kering dan tinggi tanaman.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada interaksi berbeda sangat nyata terhadap penambahan pupuk guano dalam mengkelat limbah logam pb dan Cd pada tanah tercemar. Dosis guano 100 gram lebih efisien dalam mengikat limbah logam Pb, Cd dan menurunkan nilai BAF. Tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans poir*) merupakan tanaman hiperakumulator.

SUMMARY

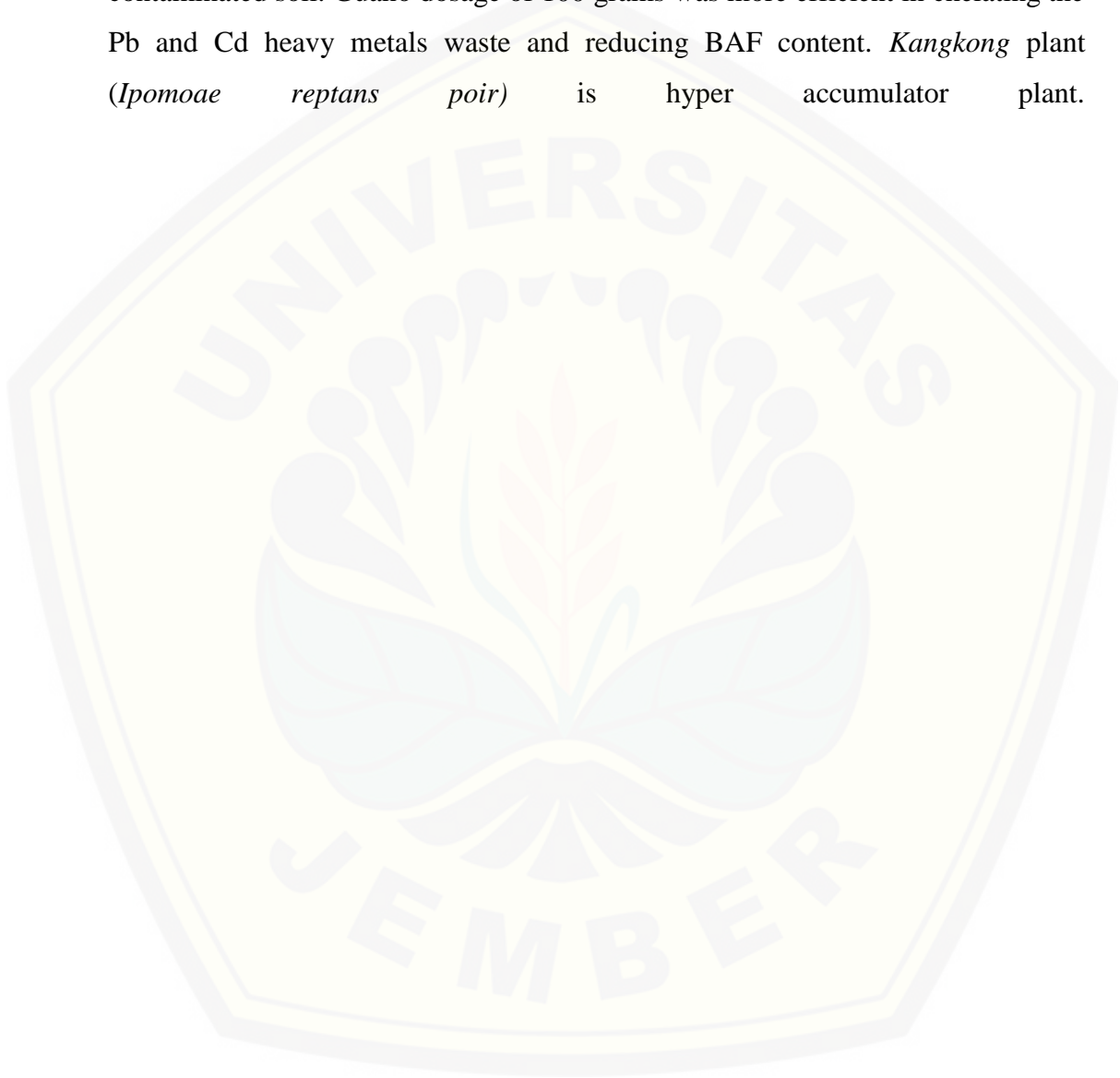
The Application of Guano as Chelating Agent Used to Bind Heavy Metals Pb and Cd in Contaminated Soil by Using *Kangkong* Plant (*Ipomoea reptans poir*). Muhammad Sulton, 091510501089; Agro Technology Study Program of Agriculture Faculty Universitas Jember.

Nowadays, industry sector has increasingly developed the economic life in our society. However, it gives environmental contamination impact as well. One of the contaminations needs to be handled intensively is the heavy metals pollution in the soil. During the industrial process, many heavy metals residues such as Pb and Cd were wasted in the water, soil and air in form of gasses and smoke from industrial smokestack. These heavy metals give negative impacts on human health like high toxic effect when its accumulation number in the body exceeds its limit. Therefore, it needs such an experiment or research on the application of Guano as Pb and Cd chelating agent in contaminated soil by using a hyper accumulator plant like *Kangkong* plant (*Ipomoea reptans poir*). This study aims to find how high this hyper accumulator plant absorbs the heavy metals by adding Guano as the Pb and Cd chelating in reducing the BAF content in the contaminated soil.

This study was conducted in Agroteknopark of Agriculture Faculty of University Jember during October until December 2014. The equipments used in this study include : laboratory equipments, poly bags, newspapers waste contains Pb and Cd, Guano, water and seeds of *Kangkong* plant (*Ipomoea Reptans Poir*). This experiment used Complete Random Design by implementing two treatment factors which are Guano dosages such as G_0 (0 gram), G_1 (100 grams) and waste dosage such as L_0 (0 gram), L_1 (1 mg/kg) Pb and L_2 (2 mg/kg) Cd, repeated as three times with 18 combinations. The implementations included are initial phase (soil analysis, Guano analysis, and waste analysis), pre-planting phase (seed preparation, soil preparation, waste preparation and media incubation), and application phase (seed planting, watering, cultivation and harvesting). The observation variables conducted are the Pb and Cd contents in soil, Pb and Cd

contents in plant, pH content of the soil, Pb and Cd absorption on plant, P which is available in soil, the weight and height of the plant.

The study and experiment results showed that there was real and different interaction of adding Guano in chelating the Pb and Cd heavy metals waste in the contaminated soil. Guano dosage of 100 grams was more efficient in chelating the Pb and Cd heavy metals waste and reducing BAF content. *Kangkong* plant (*Ipomoea reptans* *poir*) is hyper accumulator plant.



PRAKATA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah tertulis (skripsi) ini yang berjudul **Aplikasi Pupuk Guano Sebagai Agen Pengkelat Logam Pb Dan Cd Pada Tanah Tercemar Limbah Dengan Mennggunakan Tanaman kangkung Darat (*Ipomoea reptans poir*)**. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Jember.

Penyusunan Karya Ilmiah Tertulis (skripsi) ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih dan rasa hormat kepada :

1. Dr. Ir. Martinus Harsanto Pandutama, M.Sc., Ph.D., sebagai Dosen Pembimbing Utama, Dr. Ir. Tri Candra Setiawati, M.Si., sebagai Dosen Pembimbing Anggota dan Dr. Ir. Sugeng Winarso, M.Si., sebagai Dosen Penguji yang telah memberikan arahan, bimbingan dan masukan selama penelitian dan penulisan skripsi ini;
2. Dr. Ir. Tarcisius Sutikto, M.Sc., sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan, nasehat dan bimbingan selama menjalani kegiatan akademis sampai terselesaikannya skripsi ini;
3. Dr. Ir. Jani Januar, M.T. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Jember beserta stafnya;
4. Ketua dan seluruh staf Agrotechnopark Universitas Jember yang telah memberikan izin penggunaan lahan dan bantuan dalam pelaksanaan penelitian;
5. Bapakku Ahmad Ruffi'i, H. Ahmad Fauzi dan Ibuku Aida Sutiha Safitri, Tante Rahmati, Nenekq Hj, Mamaq Kartini Retno Ningrum, Nenekq Hj. Siti Rosidah, Istriq Dini Fithriatil Laili, Bapak dan ibuk mertuaq Abdul kadir, Setia Abarawati. yang selalu memberikan doa, kasih sayang, semangat dan motivasi sepanjang perjalanan hidupku sampai sekarang.

6. Teman seperjuangan antara lain Iwan Dwi Kurniawan, Ikhwan Agus, Zaenal Arifin, Firmansyah, Angga Fitroni, Tonyank, Dani Afandi, Agung, Mad Dani, Firman Mo, Agung, Izzudin, Abdullah, Baskoro serta teman-teman kelas C angkatan 2009 dan teman-teman adik-adik HMI KOMPERTA terima kasih atas kerja sama, kebersamaan dan bantuannya hingga terselesaikannya skripsi ini.
7. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya Karya Ilmiah Tertulis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Karya Ilmiah Tertulis ini masih terdapat kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan Karya Ilmiah Tertulis ini. Semoga Karya Ilmiah Tertulis ini bermanfaat bagi semua pihak, khususnya bagi perkembangan ilmu pertanian.

Jember, 29 Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tanaman Tomat Chery	5
2.2.....Hidroponik	6
2.3 Jenis Media Hidroponik	7
2.4 Peran Nutrisi Bagi Pertumbuhan Tanaman.....	9
2.5Hipotesis	12
BAB 3. METODE PENELITIAN	13
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	13
3.2 Bahan dan Alat Penelitian.....	13

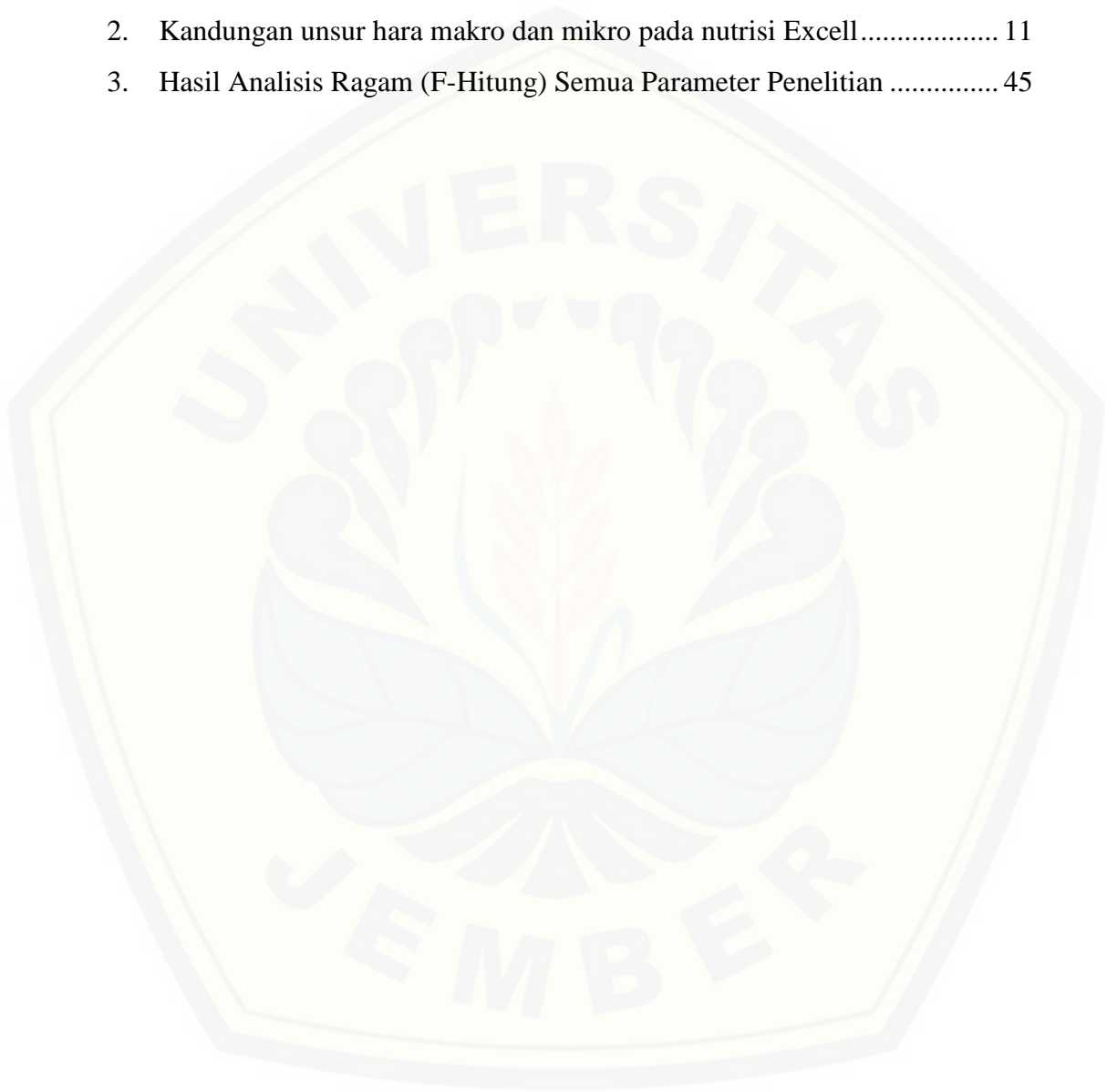
3.3.....	Rancang
an Penelitian.....	13
3.4 Denah Percobaan.....	14
3.5Metode Analisis Data	14
3.6Pelaksanaan Penelitian	15
3.6.1Penyiapan Media Tanam	15
3.6.2Persemaian Benih.....	15
3.6.3Penanaman Bibit.....	15
3.6.4 Pengajiran.....	16
3.6.5 Pemberian Nutrisi.....	16
3.6.6 Pemeliharaan.....	16
3.6.7 Panen.....	17
3.7Variabel Pengamatan.....	17
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	19
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	40
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN.....	45

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1.Penyiapan media	15
2.Persemaian Benih.....	15
3.Penanaman Bibit	16
4.Pengajiran.....	16
5. Penyiraman dan Pemberian Nutrisi.....	17
6.Pemanenan Buah.....	17
7. Jumlah daun tomat pada berbagai kombinasi konsentrasi nutrisi dan media substrat	21
8. Diameter batang tomat pada berbagai kombinasi konsentrasi nutrisi dan media substrat	22
9. Tinggi Tanaman Tomat Cherry Pada Macam Media Substrat Hidroponik ..	25
10. Tinggi Tanaman Tomat Cherry Pada Macam Konsentrasi Nutrisi excell.	26
11.Luas Daun Tomat Cherry Pada Macam Media Substrat Hidroponik	27
12.Luas daun Tanaman Tomat Cherry Pada Macam Konsentrasi Nutrisi excell	28
13.Berat Kering Tanaman Tomat Cherry Pada Macam Media Substrat Hidroponik	30
14.Berat Kering Tanaman Tomat Cherry Pada Macam Konsentrasi Nutrisi excel	30
15.Jumlah Buah Tomat Cherry Pada Macam Media substrat.....	32
16.Jumlah Buah Tomat Cherry Pada Macam Konsentrasi Nutrisi excell.....	32
17.Volume Buah Tomat Cherry Pada Macam Media Substrat Hidroponik	33
18.Berat Buah Per Tanaman Tomat Cherry Pada Macam Media Substrat Hidroponik.....	34
19.Volume Buah Tomat Cherry Pada Macam konsentrasi nutrisi.....	35
20.Berat Buah Per Tanaman Tomat Cherry Pada Macam konsentrasi nutrisi.....	35

DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Kebutuhan Unsur Hara Makro dan Mikro Tanaman Tomat.....	11
2. Kandungan unsur hara makro dan mikro pada nutrisi Excell.....	11
3. Hasil Analisis Ragam (F-Hitung) Semua Parameter Penelitian	45





BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pupuk guano adalah sama dengan pupuk organik, hanya memiliki kandungan lebih baik (kelebihan) untuk unsur N, P dan K dibandingkan pupuk organik biasa. Kelebihan kandungan P umumnya disebabkan oleh kotoran kelelawar (guano) yang tertimbun di dalam goa yang batuan-batuan maupun tetesan-tetesan airnya mengandung cukup tinggi kandungan unsur fosfat (P). Sedangkan kelebihan N dan K karena faktor makanan yg dimakan oleh kelelawar. Pada penelitian ini akan diuji daya tahan tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans poir*) terhadap logam dan kemampuannya menyerap Pb, Cd dari dalam tanah dengan penambahan pupuk guano sebagai pengkelat logam pencemar.

Limbah merupakan hasil sisa dari proses suatu kegiatan. Limbah-limbah yang dihasilkan dari sisa proses kegiatan memiliki bermacam bentuk mulai dari gas, padat dan cair. Limbah gas banyak dibuang ke udara bebas yang berupa asap-asap beracun. Banyak limbah-limbah yang berbahaya mengandung bahan kimia yang mampu mencemarkan tanah-tanah pertanian. Limbah-limbah yang mengandung bahan kimia cenderung banyak mengandung logam berat. Logam berat ini sangat mudah diserap oleh tanaman terutama pada tanaman yang dikonsumsi oleh manusia. Beberapa logam berat yang beracun yaitu arsen (As), kadmium (Cd), tembaga (Cu), timbal (Pb), merkuri (Hg), nikel (Ni) dan seng (Zn). Unsur timbal (Pb) banyak digunakan pada industri-industri dan banyak digunakan sebagai bahan pembuatan barang-barang seperti baterai, pipa, perlengkapan medis, cat, keramik, koran dan lain sebagainya.

Proses kegiatan industri banyak menghasilkan limbah-limbah Pb dan Cd yang terbuang ke lingkungan seperti lingkungan perairan, tanah maupun ke udara. Logam Pb yang mencemari tanah akan langsung merubah keadaan kimia tanah salah satunya yaitu akan menurunkan pH tanah. Keberadaan logam Pb di dalam tanah sangat mudah diserap oleh tanaman budidaya seperti tanaman semusim dan tanaman hortikultura yang setiap hari dikonsumsi oleh manusia. Logam Pb akan

memberikan dampak negatif terhadap kesehatan manusia seperti depresi, sakit kepala, daya ingat menurun, sulit tidur dan kelemahan otot. Beberapa gejala keracunan timbal lain yaitu berasa logam di mulut, muntah, sakit perut dan diare. Logam Cd mempunyai karakteristik yang sama dengan logam Pb, logam ini juga dapat meracuni kesehatan manusia melalui makanan. Logam ini biasanya terakumulasi pada tanaman sayuran yang setiap hari dikonsumsi oleh manusia. Pengaruh yang disebabkan oleh logam Cd bagi kesehatan manusia dapat mengganggu pencernaan manusia, gangguan hati, gangguan ginjal dan lain sebagainya.

Adanya unsur timbal (Pb) dan kadmium (Cd) yang berbahaya di dalam tanah yang mampu memberikan pengaruh negatif terhadap kualitas atau kemampuan tanah dan kualitas (kesehatan) tanaman produksi, sehingga perlu dilakukan penanganan agar tanah-tanah pertanian lebih aman digunakan dalam proses budidaya. Beberapa penanganan yang dapat dilakukan yaitu dengan cara remediasi. Remediasi merupakan proses pembersihan tanah yang tercemar, baik menggunakan remediasi *in-site* (pembersihan tanah tercemar limbah langsung di tempat yang tercemar) maupun *off-site* (pembersihan tanah tercemar limbah di lain tempat). Kedua jenis remediasi diatas, remediasi *in-site* merupakan penanganan tanah tercemar yang sangat murah. Proses remediasi tanah tercemar ini memiliki dua cara yaitu dengan bioremediasi dan fitoremediasi.

Bioremediasi jika dilihat dari struktur kata “Bio” memiliki pengertian adalah hidup, dengan kata lain “Bioremediasi” adalah penanganan pembersihan tanah tercemar dengan menggunakan benda hidup seperti mikroorganisme tanah. Salah satu cara yang dapat ditempuh yaitu dengan penambahan pupuk guano ke dalam tanah yang tercemar sebagai agen pengkhelat dari logam berat. Seperti yang dijelaskan Isrun (2009), bahwa pupuk guano merupakan sumber fosfat alami yang memiliki fungsi ganda, yaitu sebagai agen pengkhelat. Penggunaan pupuk guano yang merupakan agen pengkhelat dapat dikorelasikan dengan tanaman hyperakumulator.

Fitoremediasi adalah salah satu upaya untuk mengurangi kerusakan tanah akibat tingginya akumulasi logam berat dengan memanfaatkan tanaman yang dapat menyerap logam berat (Wulandari dkk., 2014). Cara ini menjadi salah satu penanganan logam berat yang banyak ditemukan di daerah pertambangan atau di daerah-daerah industri yang limbahnya dibuang di lingkungan pertanian. Metode fitoremediasi sangat berkembang pesat karena metoda ini mempunyai beberapa keunggulan diantaranya secara finansial relatif murah bila dibandingkan dengan metoda konvensional biaya dapat dihemat sebesar 75-85% dari pada metode yang lainnya.

Penggunaan tanaman hiperakumulator ini merupakan cara dari remediasi yang disebut dengan "Fitoremediasi". Fitoremediasi merupakan suatu usaha untuk menetralkan atau mengurangi limbah yang ada di lingkungan sekitar dengan memanfaatkan tanaman hiperakumulator yang mampu meremediasi limbah. Tanaman yang digunakan dalam meremediasi limbah logam ini disarankan tidak menggunakan tanaman yang dapat dikonsumsi oleh manusia sehingga manusia terhindar dari keracunan logam berat yang biasanya terakumulasi atau terkandung di dalam jaringan tanaman yang dapat dikonsumsi tersebut. Tanaman yang dapat digunakan sebagai tanaman hiperakumulator adalah tanaman rumput-rumputan yang banyak dianggap sebagai gulma dari tanaman budidaya. Beberapa rumput yang memiliki kemampuan dalam mengakumulasi logam berat yaitu tanaman kangkung. Jenis tanaman ini sangat mudah tumbuh di daerah-daerah tropis. Jenis rumput ini diyakini memiliki kemampuan dalam meremediasi tanah tercemar logam berat dan membersihkan lingkungan yang tercemar (Estuningsih, Sri Pertiwi, dkk., 2013).

Untuk menetralkan tanah yang tercemar, penelitian ini dilakukan karena banyaknya logam berat seperti logam Pb dan Cd yang menjadi limbah dari industri-industri yang mencemari tanah pertanian. Tanaman yang digunakan merupakan tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans poir*) serta penambahan pupuk guano sebagai pengkelat logam pencemar tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Tanah di sekitar lokasi industri banyak sekali mengandung logam toksik, salah satunya adalah Pb dan Cd. Adanya kandungan logam toksik ini dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama pada tanah dan tanaman. Dampak yang terjadi pada tanah, diantaranya kesuburan dan produktivitas tanah menurun, tanah menjadi lebih masam dan banyak unsur yang diperlukan dalam kesuburan tanah menghilang. Sedangkan dampak pada tanaman yaitu reduksi pertumbuhan dan kematian tanaman. Agar tanah yang tercemar limbah logam Pb dan Cd ini dapat dimanfaatkan. Salah satu upayanya adalah dengan mengaplikasikan pupuk guano yang diharapkan mampu mengkelat logam Pb dan Cd. Dan pemanfaatan tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans poir*) sebagai tanaman hiperakumulator yang diharapkan dapat meremediasi kandungan logam Pb dan Cd dalam tanah. Berdasar pada hal tersebut, maka didapatkan dua rumusan masalah, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh penambahan pupuk guano sebagai agen pengkelat terhadap logam Pb dan Cd terekstrak dalam tanah tercemar limbah logam Pb dan Cd?
2. Bagaimana interaksi logam Pb dan Cd pada tanaman hiperakumulator kangkung darat (*Ipomoea reptans poir*)?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan Penelitian

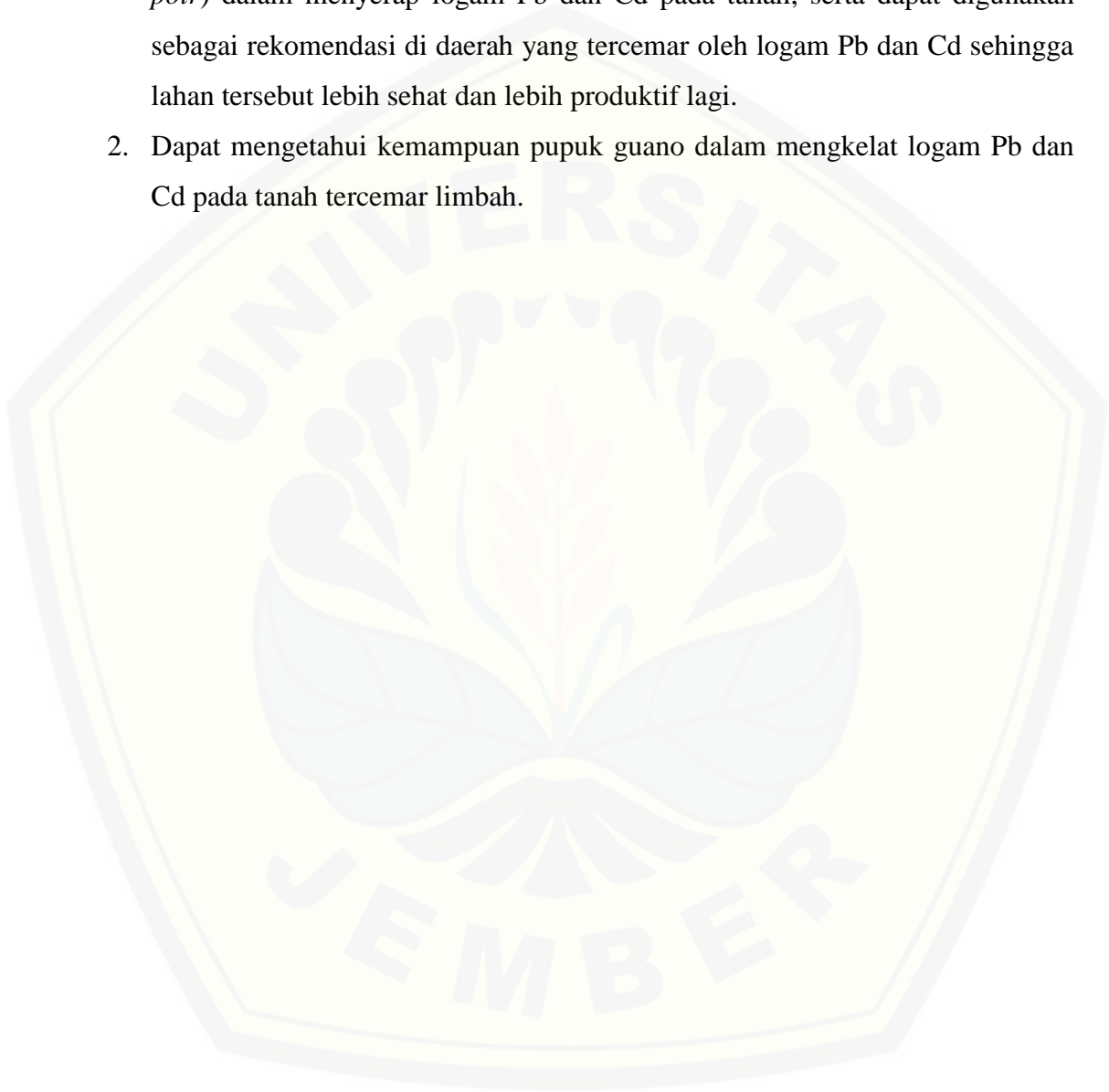
Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans poir*) dalam menyerap logam Pb dan Cd dalam tanah sebagai salah satu upaya fitoremediasi.
2. Untuk mengetahui pengaruh guano dalam mengkelat logam Pb, Cd dan menurunkan nilai BAF pada tanah tercemar.

1.4 Manfaat

Hasil dari penelitian ini diharapkan memberi manfaat untuk:

1. Dapat mengetahui kemampuan tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans* *poir*) dalam menyerap logam Pb dan Cd pada tanah, serta dapat digunakan sebagai rekomendasi di daerah yang tercemar oleh logam Pb dan Cd sehingga lahan tersebut lebih sehat dan lebih produktif lagi.
2. Dapat mengetahui kemampuan pupuk guano dalam mengkelat logam Pb dan Cd pada tanah tercemar limbah.





BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Logam Berat

Limbah merupakan masalah besar dalam suatu proses industri dan banyak memerlukan perhatian masyarakat maupun pemerintah. Limbah yang dihasilkan dari proses produksi berupa bahan organik maupun bahan anorganik. Sebagian dari limbah merupakan limbah dalam kategori Bahan Berbahaya dan Beracun (limbah B-3). Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 33 Tahun 2009 limbah B3 merupakan sisa suatu usaha atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan beracun karena sifat dan konsentrasinya atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan merusak lingkungan hidup, atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya.

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 1999 menyatakan bahwa limbah dikatakan limbah B3 memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Mudah meledak,
2. Mudah terbakar,
3. Bersifat reaktif,
4. Beracun,
5. Mampu menyebabkan infeksi, dan
6. Bersifat korosif.

Salah satu contoh dari limbah B3 yaitu limbah yang mengandung logam berat. Menurut Murniasih dan Sukirno (2012), Logam berat yang berbahaya yang sering mencemari lingkungan antara lain merkuri (Hg), timbal (Pb), arsenik (As), kadmium (Cd), kromium (Cr), dan nikel (Ni). Logam berat tersebut diketahui dapat terakumulasi di dalam tubuh suatu mikroorganisme, dan tetap tinggal dalam jangka waktu lama sebagai racun.

Kandungan logam berat di dalam tanah secara alamiah sangat rendah, kecuali tanah tersebut sudah tercemar. Kandungan logam berat dalam tanah sangat

berpengaruh terhadap kandungan logam pada tanaman yang tumbuh di atasnya, kecuali terjadi interaksi di antara logam itu sehingga terjadi hambatan penyerapan logam tersebut oleh tanaman. Akumulasi logam dalam tanaman tidak hanya tergantung pada kandungan logam dalam tanah, tetapi juga tergantung pada unsur kimia tanah, jenis logam, pH tanah dan spesies tanaman yang sensitif terhadap logam berat tertentu (Widyaningrum dkk., 2007). Berikut ini tabel kandungan logam berat dalam tanah secara alamiah:

Tabel 1.1 Tabel kandungan logam berat dalam tanah secara alamiah

Logam Metal	Kandungan dalam tanah (Rata-rata, $\mu\text{g/g}$) Content on soil (Average, $\mu\text{g/g}$)
As (arsenik)	100
Co (kobal)	8
Cu (tembaga)	20
Pb (timbal)	10
Zn (seng)	5
Cd (kadmium)	0,06
Hg (merkuri)	0,03

Sumber: Alloway (1979) dalam Darmono (1995) dalam Widyaningrum dkk (2007)

Logam berat masuk ke lingkungan tanah melalui penggunaan bahan kimia yang langsung mengenai tanah, penimbunan debu, hujan atau pengendapan, pengikisan tanah dan limbah buangan. Menurut Darmono (1995), interaksi logam berat dan lingkungan tanah dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu:

- a) Proses sorpsi atau desorpsi,
- b) Difusi pencucian, dan
- c) Degradasi.

Pencemaran limbah terkontaminasi logam berat seperti nikel (Ni), kadmium (Cd), kobalt (Co), seng (Zn), kuprum (Cu), plumbum (Pb), dan selenium (Se) harus diperhatikan secara serius karena berpotensi menjadi pencemar tanah maupun air serta dapat meresap ke daerah sekitar melalui air, angin, dan penyerapan oleh tumbuhan dan hewan (Hidayati, 2005). Hal ini menegaskan bahwa pencemaran oleh limbah logam berat berpotensi sebagai salah satu penyebab terjadinya pemekatan biologis (*biological amplification*) pada

mahluk hidup. Oleh karena itu sumber pencemaran lingkungan seperti pabrik – pabrik industri yang menghasilkan limbah logam berat perlu mendapat pengawasan yang ketat agar tidak membahayakan lingkungan maupun pekerjanya (Novita dkk., 2012). Menurut Widaningrum dkk., (2007) dampak akumulasi pencemaran logam berat yang dikonsumsi pada manusia dalam jangka waktu lama akan menurunkan kesehatan diantaranya adalah mengganggu sistem peredaran darah, urat syaraf dan kerja ginjal.

Menurut Widyaningrum dkk., (2007) menyatakan bahwa adanya logam berat dalam tanah pertanian dapat menurunkan produktivitas pertanian dan kualitas hasil pertanian selain dapat membahayakan kesehatan manusia melalui konsumsi pangan yang dihasilkan dari tanah yang tercemar logam berat tersebut. Logam berat umumnya memiliki daya racun yang mematikan terhadap organisme pada kondisi yang berbeda-beda. Logam berat ini juga mengakibatkan kematian terhadap beberapa jenis biota perairan jika kelarutan pada badan perairan cukup tinggi.

2.1.1 Logam Pb

Timbal (Pb) sebagian besar diakumulasi oleh organ tanaman, yaitu daun, batang, akar dan akar umbi-umbian. Menurut Onggo dkk., (2010) menunjukkan bahwa Pb yang berasal dari polusi udara, sebagian besar berupa debu berada di permukaan tanaman dan hanya dalam bentuk terlarut dapat masuk ke dalam tanaman. Tanaman yang tertutupi debu polusi pada permukaan daunnya, menyebabkan fungsi fotosintesis dan transpirasi terhambat. Gangguan fotosintesis dan transpirasi ini diakibatkan karena logam Pb menutupi stomata yang mempunyai fungsi sebagai keluar masuknya O_2 dan CO_2 .

Konsentrasi timbal (Pb) dalam tanah secara alami berkisar 10 $\mu\text{g}/\text{gr}$. Logam ini termasuk dalam logam *the big three heavy metal* yang sangat berbahaya (Widaningrum dkk., 2007). Kadar normal timbal pada tanaman berkisar antara 0,5 – 3 ppm. Dalam tanah timbal memiliki kecepatan perpindahan unsur yang relative lambat. (Saygideger dkk., 2004), menjelaskan bahwa timbal juga dapat mempengaruhi berbagai proses fisiologis tumbuhan saat terjadi toksisitas. Paparan timbal dalam bentuk Pb^{2+} berakibat menghambat pembentukan

klorofil (Novita dkk., 2012), mengganggu kerja enzim asam aminolevulinic (ALAD) yang berperan sebagai pensintesis klorofil (Singh, 1995)

Novita dkk, (2012) menyatakan bahwa terjadi penurunan kadar klorofil total *Elodea canadensis* oleh logam timbal (Pb) yang terdapat pada media (Limbah cair pabrik pulp dan kertas), timbal (Pb) mengambil bagian terhadap terganggunya proses fotosintesis karena terganggunya enzim yang berperan terhadap biosintesis klorofil yaitu asam amino levulinic (ALAD) yang mengkatalisis pembentukan porphobilinogen sehingga dapat merusak struktur kloroplas. Kloroplas sendiri tersusun dari Mg dan Fe yang diserap dari dalam tanah. Jika pada tanah tempat penanaman terdapat logam Pb yang cukup besar, Pb akan menggantikan Mg dan Fe sehingga klorofil tidak dapat terbentuk dengan optimal dan proses fotosintesis akan terganggu serta pertumbuhan tanaman yang tidak normal.

Logam Pb merupakan salah satu logam berat yang sangat berbahaya bagi makhluk hidup karena bersifat karsinogenik, dapat menyebabkan mutasi, terurai dalam jangka waktu yang lama dan toksisitasnya yang tidak berubah, (Sembiring dan Sulistyowati, 2006). Pengaruh efek negatif yang ditimbulkan logam Pb yang terakumulasi pada tanaman yang dikonsumsi oleh manusia, akan menyebabkan penyakit kanker dan kelainan pada generasi berikutnya dapat terjadi akibat mutasi gen.

2.1.2 Logam Cd

Kadmium (Cd) merupakan salah satu logam berat terbesar bersama Pb dan Hg yang tingkat bahayanya sangat tinggi. Logam kadmium dapat diserap tubuh minimal 50% dari total yang masuk kedalam tubuh manusia (Widaningrum dkk., 2012). Logam cadmium berwarna kebiruan dengan tekstur lunak, memiliki waktu paruh 10 – 30 tahun, mudah diserap oleh tanaman dan pada manusia akumulasi terbanyak terletak pada ginjal. Ambang batas logam kadmium aman dalam tanah adalah kurang dari 1 ppm. Namun kadmium dengan konsentrasi 1700 ppm pernah ditemukan pada tanah dekat dengan pertambangan biji seng (Zn), (Widaningrum dkk., 2012). Menurut Liong (2009), akumulasi logam kadmium pada tanaman kangkung akan meningkat seiring dengan waktu pertumbuhan tanaman hingga

pada titik optimum (2 minggu sebelum panen), setelah itu tanaman kangkung akan menampakkan gejala visualnya seperti klorosis pada daun, struktur batang yang panjang dan berdiameter kecil.

Secara alami tanah mengandung Pb dan Cd dengan konsentrasi 20 - 42 mg/kg yang tergantung dari batuan induk, cara terbentuk tanahnya, dan translokasi logam berat di tanah (Alloway, 1995). Keberadaan logam-logam tersebut tidak terlalu dibutuhkan terhadap proses fisiologi tanaman. Jika didalam tanah keberadaan logam-logam tersebut sangat banyak tentunya akan meracuni terhadap tanaman yang dibudidayakan yang nantinya akan meracuni manusia yang mengkonsumsi produk tanaman dari tanah tersebut.

Kadmium adalah salah satu logam toksik, tersebar dalam lingkungan melalui antara lain, berbagai aktivitas manusia seperti pembuangan limbah, pupuk fosfat, aktivitas industri dan pemukiman penduduk (Liong dkk., 2009). Karena selektivitasnya yang rendah tanaman dapat menyerap sekaligus mengakumulasi Cd yang jika berlebih dapat mengakibatkan reduksi pertumbuhan, dan kematian tanaman (Barcelo dan Poschenrieder, 1990).

Kadmium (Cd) merupakan salah satu logam berat yang memiliki efek toksik yang tinggi makhluk hidup apabila akumulasi dalam tubuh jumlahnya melebihi ambang batas (Wulandari dkk., 2014). 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 (Widyaningrum dkk., 2007), dampak negatif terhadap kesehatan manusia yaitu seperti diare, kram, otot, anemia, dermatitis, pertumbuhan lambat, kerusakan ginjal dan hati.

2.2 Pupuk Guano

Pupuk guano merupakan pupuk yang berasal dari hasil pengomposan timbunan kotoran kelelawar atau kotoran burung laut (Suwarno dkk., 2007). Pupuk guano berasal dari dua macam deposit, yaitu guano burung laut (*Sea Bird Guano*) dan guano kelelawar (*Bat Guano*). Pembentukan guano juga tidak terlepas dari peranan iklim. Berdasarkan pelapukan iklimnya, menurut Suwarno dkk.,

2007) dibedakan menjadi dua, yaitu *Nitrogenous guano* (guano nitrogen) dan *Phosphatic Guano* (guano fosfat). Guano nitrogen sering disebut sebagai *fresh guano* atau guano segar karena guano nitrogen ini terbentuk dari pelapukan pertama timbunan kotoran kelelawar maupun burung laut pada kondisi kering, sementara guano fosfat merupakan hasil pelapukan kedua setelah timbunan guano menjadi guano nitrogen atau hasil pelapukan guano nitrogen pada kondisi lembab. Guano fosfat dibedakan menjadi guano residu (*residual guano*) atau guano tercuci (*leached guano*) dan guano kerak (*crust guano*) atau guano atol / guano purba (*atoll guano / ancient guano*). Guano nitrogen dan guano fosfat digolongkan menjadi pupuk guano, sementara batuan fosfat hasil pelapukan guano fosfat diklasifikasikan menjadi batuan fosfat asal guano.



Sumber : (Suwarno dkk., 2007)

Gambar 2.2 Proses Pembentukan Pupuk Guano

Berbeda dengan pupuk organik lainnya, pupuk guano memiliki kandungan fosfat yang tinggi, oleh karena itu pupuk guano termasuk sumber P organik. Selain sebagai sumber P organik, guano ternyata juga memiliki keistimewaan lain yaitu memiliki kemampuan khelasi (Isrun, 2009). Kemampuan khelasi ini adalah bentuk fungsi ganda guano yang berperan sebagai bahan organik yang mampu mensintesis asam organik untuk mengikat logam. Pada tanah masam, asam organik yang dihasilkan dari dekomposisi guano seperti asam humik dan asam fulvik dapat menjerap dan mengendapkan ion Al dan Fe (Leiwakabessy, 1998).

Menurut Isrun (2009), semakin tinggi dosis guano yang diaplikasikan pada tanah, maka kandungan P dalam tanah semakin tinggi pula. Besarnya tanaman menyerap P bergantung pada ketersediaan unsur P dalam larutan tanah dan perakaran tanaman. Hal ini akan menstimulir akar tanaman untuk memanjang agar terjadi kontak difusi dengan fosfat dalam larutan tanah.

Menurut Suwarno dan Idris, (2007), pupuk guano memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan pupuk guano adalah kandungan unsur NPK yang lebih baik dari pada pupuk organik lainnya. Sumber fosfat yang tinggi dari kotoran kelelawar (guano) ini terbentuk dari hasil timbunan kotoran kelelawar dalam goa, serta fermentasi alam yang sempurna. Sementara unsur N dan K pada guano terbentuk dari faktor makanan yang dimakan oleh kelelawar. Kekurangan guano diantaranya adalah guano yang timbunannya masih sangat tebal memiliki pH relatif masam, namun bila timbunan guano sudah tipis maka guano yang dihasilkan memiliki kandungan kapur lebih tinggi dari pada kandungan N,P, dan K. Dalam kondisi demikian guano kurang baik jika diaplikasikan pada tanah – tanah basa karena dapat menyebabkan unsur P menjadi tidak tersedia bagi tanaman.

Tabel 2.3 Perbandingan Kandungan Hara Guano Nitrogen, Guano Fosfat, dan Batuan Fosfat Asal Guano

Komposisi	Guano Nitrogen	Guano Fosfat	Batuan Fosfat Berasal dari Guano
		(%)	
Nitrogen	7 – 17	0.5 – 2.0	0
Bahan Organik	40 – 60	5 – 15	0 – 1
CaO	8 – 15	15 – 30	45 – 55
P ₂ O ₅	8 – 15	10 – 30	35 – 42
W- P ₂ O ₅ /T- P ₂ O ₅	< 40	0 – 10	< 1
C- P ₂ O ₅ /T- P ₂ O ₅	< 98	55 – 85	< 30
K ₂ O	1.5 – 2.5	2.5 – 3.5	< 0.2
MgO	< 1	< 2	< 0.5
SO ₄	< 5	< 6	< 0.1

Keterangan: W- P₂O₅ = P₂O₅ larut air

T- P₂O₅ = P₂O₅ total

C - P₂O₅ = P₂O₅ larut asam sitrat

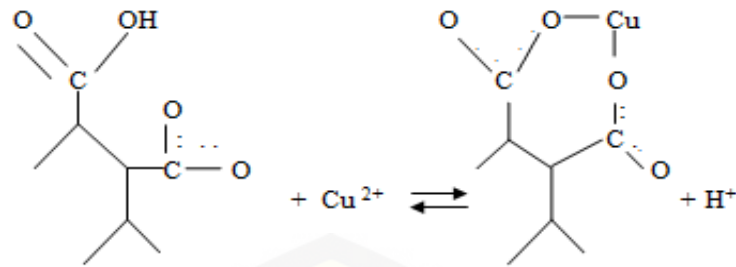
Sumber : Kotabe (dalam Suwarno dkk., 2007)

2.2.1 Pembentukan Kompleks Pengkhelatan oleh Bahan Organik

Bahan organik selain sebagai penyedia hara terlengkap dalam tanah, juga memiliki kemampuan lain yaitu pengikatan logam – logam oleh senyawa asam yang dihasilkannya. Pengikatan logam oleh bahan organik terjadi melalui pembentukan kompleks pengkhelatan. Menurut Murnann dkk., (1964) pembentukan kompleks pengkhelatan adalah reaksi suatu ion logam dan ligan melalui penggunaan bersama pasangan elektron. Ion logam dalam tanah bertindak sebagai penerima pasangan elektron, sementara ligan bertindak sebagai donor pasangan elektron. Ligan dihasilkan dari proses dekomposisi bahan organik diantaranya adalah asam humat dan asam fulvat. Beberapa ligan organik mampu mengikat lebih dari satu logam. Pengikatan

10 logam oleh beberapa ligan inilah yang akan membentuk kompleks pengikatan heterosiklik berwujud seperti cincin dan disebut sebagai cincin khelat. Proses pembentukan ikatan heterosiklik tersebut pengkhelatan. Disebut pengkhelatan karena logam terjepit oleh ligan seperti halnya benda yang terjepit pada cakar kepiting (khelat = cakar kepiting).

Menurut Murnann dkk., (1964) pembentukan kompleks pengkhelatan adalah reaksi suatu ion logam dan ligan melalui penggunaan bersama pasangan elektron. Ion logam dalam tanah bertindak sebagai penerima pasangan elektron, sementara ligan bertindak sebagai donor pasangan elektron. Ligan dihasilkan dari proses dekomposisi bahan organik diantaranya adalah asam humat dan asam fulvat. Beberapa ligan organik mampu mengikat lebih dari satu logam. Pengikatan logam oleh beberapa ligan inilah yang akan membentuk kompleks pengikatan heterosiklik berwujud seperti cincin dan disebut sebagai cincin khelat. Proses pembentukan ikatan heterosiklik tersebut pengkhelatan. Disebut pengkhelatan karena logam terjepit oleh ligan seperti halnya benda yang terjepit pada cakar kepiting (khelat = cakar kepiting). Berikut merupakan reaksi interaksi ion logam dengan gugus karboksilat (Huang dan Schnitzer, 1986).



Gambar 2.3 Pembentukan Ikatan Khelat

Kation logam yang telah terkhelat selanjutnya ditransformasi menjadi anion, maka koloid tanah yang bermuatan negatif akan menolak kehadiran anion sehingga anion tersebut terlepas menjadi unsur yang mobile. Selama menjadi unsur mobile, unsur tersebut berperilaku sesuai dengan kondisi barunya. Menurut Tan, (1991), beberapa kemungkinan aktivitas yang terjadi saat unsur tersebut mobile adalah mudah larut dalam air seperti K dan Na, digunakan untuk sintesis mineral lempung seperti Si, Al, dan Fe, dan dijerap oleh koloid tanah selanjutnya diperkolasi ke lapisan tanah yang lebih dalam. Proses perkolasi ini dapat terjadi hingga unsur keluar dari profil tanah menuju batuan induk didasar tanah. Selama proses perkolasi, logam yang terkelat dapat diambil oleh akar tanaman (jika diperlukan) melalui reaksi pertukaran.

Tanpa adanya pengkelatan, keberadaan unsur – unsur logam (terutama logam berat) akan menjadi kompetitor bagi unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Menurut Das dkk., (1997) unsur Cd dan Zn selalu ditemukan bersama pada batuan. Asosiasi keduanya sangat menarik karena sifat Cd dan Zn berkebalikan. Cd merupakan logam toksik sementara Zn adalah unsur esensial yang dibutuhkan tanaman. Ketika terjadi cekaman toksisitas Cd, maka Zn mampu menghambat efek toksisitas yang diakibatkan oleh Cd sehingga logam Cd tetap berada dalam tanah.

Dampak lain terjadinya pengkhelatan yaitu meningkatnya pH tanah. Peningkatan pH tanah terjadi karena gugus karboksil (COOH) melepaskan gugus hidroksil (OH⁻). COO⁻ dari gugus karboksil berperan sebagai ligan untuk melakukan pengkhelatan, sementara gugus hidroksil (OH⁻) masuk kedalam larutan tanah dan menaikkan pH tanah (Rara dkk., 2013). Kenaikan pH juga

didukung oleh aktivitas mineralisasi kation – kation basa dari bahan organik. Menurut Haynes dan Mokolobate (2001), adanya reaksi pertukaran antara anion – 11 anion organik hasil dekomposisi (berupa asam fulvat dan asam humat) terhadap OH bebas pada daerah pertukaran akan meningkatkan ion OH dalam larutan tanah.

2.3 Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah salah satu upaya untuk mengurangi kerusakan tanah akibat tingginya akumulasi logam berat dengan memanfaatkan tanaman yang dapat menyerap logam berat (Wulandari dkk., 2014). Cara ini menjadi salah satu penanganan logam berat yang banyak ditemukan di daerah pertambangan atau di daerah-daerah industri yang limbahnya dibuang di lingkungan pertanian. Metode fitoremediasi sangat berkembang pesat karena metoda ini mempunyai beberapa keunggulan diantaranya secara finansial relatif murah bila dibandingkan dengan metode konvensional biaya dapat dihemat sebesar 75-85% dari pada metode yang lainnya.

Mekanisme kerja fitoremediasi terdiri dari beberapa konsep dasar yaitu: fitoekstraksi, fitovolatilisasi, fitodegradasi, fitostabilisasi, rhizofiltrasi dan interaksi dengan mikroorganisme pendegradasi polutan. Menurut Sukakusumah, (2012), Fitoekstraksi merupakan penyerapan polutan oleh tanaman dari air atau tanah dan kemudian diakumulasi/disimpan didalam tanaman (daun atau batang), tanaman seperti itu disebut dengan hiperakumulator. Setelah polutan terakumulasi, tanaman bisa dipanen dan tanaman tersebut tidak boleh dikonsumsi tetapi harus dimusnahkan dengan insinerator kemudian dilandfiling. Fitovolatilisasi merupakan proses penyerapan polutan oleh tanaman dan polutan tersebut dirubah menjadi bersifat volatil dan kemudian ditranspirasikan oleh tanaman. Polutan yang dilepaskan oleh tanaman ke udara sama seperti bentuk senyawa awal polutan, bisa juga menjadi senyawa yang berbeda dari senyawa awal.

Fitodegradasi adalah proses penyerapan polutan oleh tanaman dan kemudian polutan tersebut mengalami metabolisme di dalam tanaman. Metabolisme polutan di dalam tanaman melibatkan enzim antara lain nitrodictase,

laccase, dehalogenase dan nitrilase. Fitostabilisasi merupakan 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. Rhizofiltrasi adalah proses penyerapan polutan oleh tanaman tetapi biasanya konsep dasar ini berlaku apabila medium yang tercemarnya adalah badan perairan.

Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan menurut Hardiani, (2009), dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Penyerapan oleh akar. Akar 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.
2. 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.
3. 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.

Menurut Panjaitan (2009), tumbuhan memiliki kemampuan untuk menyerap ion-ion dari lingkungannya ke dalam tubuh melalui membran sel. Dua sifat penyerapan ion oleh tumbuhan adalah:

1. Faktor konsentrasi, dimana kemampuan tumbuhan dalam menyerap ion sampai tingkat konsentrasi tertentu, bahkan dapat mencapai beberapa tingkat lebih besar dari konsentrasi ion di dalam mediumnya.
2. Perbedaan kuantitatif akan kebutuhan hara yang berbeda pada tiap jenis tumbuhan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan fitoremediasi yaitu kemampuan daya akumulasi berbagai jenis tanaman untuk berbagai jenis polutan dan konsentrasi; sifat kimia dan fisika, serta sifat fisiologi tanaman; jumlah zat kimia berbahaya; mekanisme akumulasi dan hiperakumulasi ditinjau secara fisiologi, biokimia, dan molekular; serta penggunaan konsentrasi limbah yang tepat sangat menentukan keberhasilan pada proses fitoremediasi (Estuningsih dkk., 2013).

2.4 Tanaman Hiperakumulator

Hiperakumulator yaitu tanaman yang memiliki daya adaptasi dan toleransi yang tinggi dan mampu memproduksi biomassa dan mengakumulasi logam berat pada jaringan tajuk tanaman dalam jumlah yang relatif besar. Tanaman mempunyai kemampuan mengakumulasi logam berat yang bersifat esensial untuk pertumbuhan dan perkembangan. Beberapa hasil penelitian menunjukkan telah ditemukan 435 jenis tanaman hiperakumulator yang dapat digunakan dalam proses fitoremediasi seperti tanaman *Musa paradisiaca*, *Zea mays*, *Dahlia pinnata*, *Vetiveria zizanioides*, *Alamanda cathartica*, *Panicum maximum*, *Ischaemum timorense*, *Helianthus annuus*, *Papyrus sp.* dan tanaman air lainnya (Hardiani, 2009).

Mekanisme tanaman hiperakumulator menyerap logam berat agar dapat masuk ke dalam jaringan tanpa meracuni tanaman, logam berat harus diubah menjadi bentuk yang kurang toksik melalui reaksi kimiawi atau pembentukan kompleks dengan metabolit sekunder yang dihasilkan oleh tanaman (Peer dkk., 2008 dalam Balitbang Kehutanan, 2011). Tanaman umumnya mengeluarkan kelompok thiol sebagai pengkelat (*ligand*), tetapi banyak juga metabolit yang dikeluarkan sebagai *ligand* tergantung jenis logam yang akan dikelat. Untuk dapat menyerap logam berat tumbuhan hiperakumulator membuat analog seolah-olah mereka menyerap unsur-unsur hara yang diperlukan dalam metabolismenya.

Sifat hipertoleran terhadap logam berat adalah kunci karakteristik yang mengindikasikan sifat hiperakumulator suatu tumbuhan. Suatu tumbuhan dapat disebut hiperakumulator apabila memiliki karakter-karakter sebagai berikut (Juhaeti dkk., 2005):

1. Tumbuhan memiliki tingkat laju penyerapan unsur dari tanah yang lebih tinggi dibanding tanaman lainnya,
2. Tumbuhan dapat mentoleransi unsur dalam tingkat yang tinggi pada jaringan akar dan tajuknya.
3. Tumbuhan memiliki laju translokasi logam berat dari akar ke tajuk yang tinggi sehingga akumulasinya pada tajuk lebih tinggi dari pada akar.

Tanaman yang bersifat hiperakumulator memiliki daya selektivitas dan sensitifitas lebih tinggi terhadap unsur tertentu dibandingkan dengan tanaman normal lainnya, sehingga disebut dengan hiperakumulator. Menurut Hidayati, (2005), tanaman hiperakumulator memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Jaringan akar dan tajuk tahan terhadap unsur logam berkonsentrasi tinggi.
2. Laju penyerapan unsur logam lebih tinggi.
3. Berkemampuan untuk mengakumulasi maupun mentranslokasi unsur logam ketajuk dengan laju tinggi.
4. Secara ideal memiliki potensi produksi biomassa yang tinggi.

Tabel 2.4 Jenis Tanaman yang Berpotensi sebagai Hiperakumulator

Jenis kontaminan	Tumbuhan
Zn (zink)	<i>Thlaspi caerulescens</i> , <i>T. calaminare</i> , <i>Sambucus</i> , <i>Rumex</i>
Cd (kadmium)	<i>Thlaspi caerulescens</i> , <i>Sambucus</i> , <i>Rumex</i> , <i>Mimulus</i> <i>guttatus</i> , <i>Lolium miscanthus</i>
Pb (plumbum)	<i>Lolium miscanthus</i> , <i>Thlaspi rotundifolium</i>
Co (kobalt)	<i>Agrostis gigantea</i> , <i>Haumaniastrum robertii</i> , <i>Mimulus</i> <i>guttatus</i>
Cu (kuprum)	<i>Aeolanthus biformifolius</i> , <i>Lolium miscanthus</i>
Mn (mangan)	<i>Alyxia rubricaulis</i>
Ni (nikel)	<i>Alyssum bertolonii</i> , <i>A. lesbiacum</i> , <i>Berkheya coddii</i> , <i>Hybanthus floribundus</i> , <i>Thlaspi goesingense</i> , <i>T. montanum</i> , <i>Senesio coronatus</i> , <i>Lolium</i> <i>miscanthus</i> , <i>Phyllanthus serpentinus</i>
Cs (sesium)	<i>Amaranthus retroflexus</i>
As (arsenik)	<i>Reynoutria sachalinensis</i> , <i>Chlamidomonas</i> sp.
Se (selenium)	<i>Astragalus racemosus</i>
Fe (ferum)	<i>Poaceae</i>
Hg (merkuriium)	<i>Arabidopsis thaliana</i>
Salinitas	<i>Attriplex</i> spp., <i>Halosarcia</i> spp., <i>Enneapogon</i> spp.
Minyak bumi	<i>Euphorbia</i> , <i>Cetraria</i> , <i>Amaranthus retroflexus</i>

Sumber :Hidayati (2005).

2.4.1 Kangkung Darat (*Ipomoea Reptans Poir*)

Menurut Sriharti dan Takiyah (2007), tanaman kangkung terdiri dari dua varietas yaitu kangkung darat atau disebut kangkung cina (*Ipomoea reptans Poir*) dan kangkung air (*Ipomoea aquatica Forsk*) yang tumbuh secara alami di sawah, rawa, atau parit. Perbedaan antara kangkung darat dan kangkung air terletak pada warna bunga dan bentuk batang serta daun. Kangkung air berbunga putih kemerahan, batang dan daunnya lebih besar, warna batangnya hijau, sedangkan kangkung darat daunnya panjang dengan ujung runcing berwarna hijau keputihan, bunganya berwarna putih.

Kangkung darat (*Ipomoea reptans Poir*) merupakan tanaman menetap yang dapat tumbuh lebih dari satu tahun. Batang tanaman berbentuk bulat panjang, berbuku-buku, banyak mengandung air (herbaceous), dan berlubang-lubang. Perakaran tanaman kangkung berpola perakaran tunggang dan cabang akarnya menyebar kesemua arah, dapat menembus tanah sampai kedalaman 60 –

100 cm, dan melebar secara mendatar pada radius 100 – 150 cm atau lebih, terutama pada jenis kangkung air (*Ipomoea aquatica Forsk.*), (Rukmana, 1994).

Kelebihan tanaman kangkung adalah umur panennya yang pendek. Tanaman kangkung dapat dipanen pada umur 35 hari. Menurut Djuariah (2008), ciri tanaman kangkung siap dipanen adalah pertumbuhan tunasnya telah memanjang sekitar 20 – 25 cm dan ukuran daun-daunnya cukup besar (normal). Waktu panen yang paling baik adalah pagi atau sore hari agar tidak mengalami kelayuan yang drastis akibat pengaruh suhu udara yang panas ataupun teriknya sinar matahari.

2.5 Hipotesis

1. Terdapat pengaruh tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans Poir*) dalam menyerap logam Pb dan Cd dalam tanah sebagai salah satu upaya fitoremediasi.
2. Terdapat pengaruh guano dalam mengkelat logam Pb, Cd dan menurunkan nilai BAF pada tanah tercemar.



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada bulan Oktober sampai Desember 2014. Penelitian ini dilakukan dengan tiga tahap, yaitu tahap pertama adalah analisis pendahuluan (analisis tanah, limbah dan pupuk guano) yang dilaksanakan di Laboratorium Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat Bogor. Tahap kedua adalah tahap aplikasi yang dilaksanakan di Green House Agrotechno Park – Universitas Jember. Tahap ketiga adalah tahap analisis hasil penelitian (analisis tanah), nilai BAF, jaringan tanaman, analisis pupuk guano dalam mengkelat logam Pb, Cd dan analisis kandungan logam Pb dan Cd, di Laboratorium Kesuburan Tanah – Fakultas Pertanian – Universitas Jember dan Laboratorium Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat Bogor untuk melakukan analisa kandungan logam Pb dan Cd. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans poir*) dalam menyerap logam Cd dan Pb serta seberapa besar pengaruh penggunaan pupuk guano dalam mengurangi pencemaran logam Pb, Cd dalam tanah dan dapat menurunkan nilai BAF pada tanah tercemar limbah.

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

1. Tanah inceptisol
2. Limbah kertas koran yang mengandung logam Pb dan Cd
3. Pupuk guano
4. Air
5. Kangkung darat (*Ipomoea reptans poir*) berupa benih

3.2.2 Alat Penelitian

1. Peralatan laboratorium
2. Polibag
3. Alat pertanian yang mendukung

3.3 Rancangan Percobaan

Pada penelitian ini menggunakan rancangan percobaan faktorial $2 \times 3 \times 3$ dengan rancangan dasar yang digunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dilanjutkan uji Duncan pada taraf 5% dengan faktor pertama pupuk guano (G) dan faktor kedua limbah logam Pb serta Cd (L). Masing-masing perlakuan diulang 3 kali ulangan yaitu:

1. Faktor perlakuan pertama yaitu dosis pupuk guano yang terdiri dari 2 taraf:

G_0 : tanpa pupuk guano 0 gram

G_1 : dosis pupuk guano 100 gram

2. Faktor perlakuan kedua yaitu dosis logam Pb dan Cd yang terdiri dari 3 taraf:

L_0 : dosis limbah 0 gram

L_1 : dosis limbah 1 mg/kg (Pb) setara dengan 1.260 kilogram limbah kertas

L_2 : dosis limbah 2 mg/kg (Cd) setara dengan 1.400 kilogram limbah kertas

Sehingga didapatkan kombinasi perlakuan dengan acakan:

G_0L_0 : (tanpa pupuk guano 0 gram, tanpa limbah 0 gram)

G_0L_1 : (tanpa pupuk guano 0 gram, dosis limbah 1 mg/kg (Pb))

G_0L_2 : (tanpa pupuk guano 0 gram, dosis limbah 2 mg/kg (Cd))

G_1L_0 : (dosis pupuk guano 100 gram, tanpa limbah 0 gram)

G_1L_1 : (dosis pupuk guano 100 gram, dosis limbah 1 mg/kg (Pb))

G_1L_2 : (dosis pupuk guano 100 gram, dosis limbah 2 mg/kg (Cd))

Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3
$G_1L_2U_1$	$G_0L_1U_2$	$G_1L_1U_3$
$G_0L_0U_1$	$G_0L_2U_2$	$G_1L_2U_3$
$G_0L_1U_1$	$G_1L_0U_2$	$G_0L_0U_3$
$G_0L_2U_1$	$G_1L_1U_2$	$G_0L_1U_3$
$G_1L_0U_1$	$G_1L_2U_2$	$G_0L_2U_3$
$G_1L_1U_1$	$G_0L_0U_2$	$G_1L_0U_3$

Gambar 3.1 Denah Percobaan

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Tahap analisis Pendahuluan

3.4.1.1 Analisis Tanah Inceptisol

Tanah inceptisol yang digunakan sebagai media penelitian terlebih dahulu dianalisis kandungan pH tanah, N, P, K, C-organik, kandungan logam Pb dan Cd. Dari hasil analisis unsur-unsur yang terkandung di dalam tanah ini akan sangat membantu dalam proses penelitian berikutnya. Berikut ini rencana analisis tanah inceptisol:

Tabel 3.1 Metode analisis tanah yang digunakan

Variabel	Metode	Waktu
Analisis pH (-)	Metode pH meter	Awal penelitian (analisis pendahuluan) dan setelah penelitian (setelah panen)
Analisis N (%)	Kjedahl	Awal penelitian
Analisis P (mg/kg)	Bray I	Awal penelitian
Analisis C-organik (%)	Curmis	Awal penelitian
Analisis Pb (mg/kg)	Metode AOAC	Awal penelitian
Analisis Cd (mg/kg)	Metode AOAC	Awal penelitian
K total (mg/kg)	Flamephotometer	Awal penelitian

3.4.1.2 Analisis Limbah Koran

Limbah yang tercemar logam Pb dan Cd diidentifikasi dengan menganalisis kandungan pH, Pb, Cd. Dari hasil analisis tersebut digunakan untuk menentukan konsentrasi yang di perlukan sesuai dengan perlakuan penelitian. Berikut ini rencana analisis limbah tercemar Cd, Pb:

Tabel 3.2 Metode analisis limbah yang digunakan

Variabel	Metode	Waktu
Analisis pH (-)	Metode pH meter	Awal penelitian
Analisis Pb total (mg/kg)	Metode AOAC	Awal penelitian
Analisis Cd total (mg/kg)	Metode AOAC	Awal penelitian

3.4.1.3 Analisis Pupuk Guano

Pupuk guano yang telah tersedia diidentifikasi dengan menganalisis kandungan N, P, K, C-organik, Pb, Cd, pH. Hasil identifikasi tersebut akan sangat

membantu dalam proses penelitian ini. Berikut merupakan teknik analisis pupuk guano:

Tabel 3.3 Metode analisis guano yang digunakan

Variabel	Metode	Waktu
Analisis P (mg/kg)	Vanadat	Awal penelitian
Analisis N (%)	Kjedahl	Awal penelitian
Analisis K (mg/kg)	Flamephotometer	Awal penelitian
Analisis C-organik (%)	Curmis	Awal penelitian
Analisis Pb (mg/kg)	AOAC	Awal penelitian
Analisis Cd (mg/kg)	AOAC	Awal penelitian
Analisis pH H ₂ O (-)	pH meter	Awal penelitian

3.4.2 Tahap Pra Tanam

3.4.2.1 Tahap Persiapan Tanaman Hiperakumulator

Tahap ini yaitu mempersiapkan tanaman-tanaman hiperakumulator yaitu dengan penanaman secara langsung benih tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans poir*) ke polybag media tanam dalam perlakuan penelitian. Persiapan tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans poir*) yaitu dengan jumlah benih yang berisi 30 setiap polybag.

3.4.2.2 Tahap Persiapan Limbah

Limbah dipersiapkan dengan cara dikering anginkan terlebih dahulu, kemudian limbah yang sudah kering dihancurkan dan diayak dengan ukuran ayakan 2 mm. Limbah yang sudah diayak, ditimbang sesuai dosis limbah yang akan digunakan pada setiap perlakuan. Limbah-limbah yang dipersiapkan akan dicampurkan dengan tanah yang digunakan sebagai media.

3.4.2.3 Tahap Persiapan Tanah

Tahap ini yaitu mempersiapkan tanah yang akan digunakan sebagai media tanam dalam penelitian. Tanah yang digunakan yaitu tanah inseptisol yang berasal dari Agroteknopark Jubung. Dengan dikering anginkan terlebih dahulu dan digemburkan agar didapat tekstur yang remah. Dilakukan pengayakan dengan ukuran lubang ayakan 2 mm.

3.4.2.4 Tahap Inkubasi Media

Tahap ini dilakukan setelah limbah dan tanah sudah dicampur. Tahap ini dilakukan selama satu sampai dua minggu dengan mengikat polybag yang berisi campuran tanah guano limbah Pb dan Cd. Kegiatan ini dilakukan agar tidak terjadi reaksi oksidasi dan menghomogenkan media sehingga kondisi kimia didalam media tidak berubah

3.4.3 Tahap Aplikasi

Tahap aplikasi merupakan penanaman tanaman hiperakumulator dan pencampuran tanah inceptisol, pupuk guano, dosis limbah logam Pb dan Cd sebagai media yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebanyak 8,5 kg tanah per polybag media tanam yang dicampur ke dalam 18 polybag percobaan dengan ukuran 40x50 cm.

Tahap aplikasi ini dilakukan pengamatan tentang tinggi tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans poir*). Dari parameter yang dilakukan pada saat proses aplikasi dilapang ini akan membantu dalam pengamatan seberapa besar kemampuan tanaman kangkung darat menyerap limbah logam Pb, Cd dan seberapa besar pengaruh penambahan pupuk guano dalam mengkelat logam Cd dan Pb.

Tabel 3.4 Parameter selama di rumah kaca

Variabel	Metode	Waktu Pengamatan
Tinggi tanaman (cm)	Pengukuran	1 minggu sekali

3.4.4 Tahap Analisis Hasil Penelitian

Tahap akhir dari penelitian ini yaitu analisis hasil penelitian yang dilakukan di rumah kaca. Setelah tanaman hiperakumulator dipanen, selanjutnya dilakukan analisis jaringan tanaman, analisis media/tanah, berat basah dan berat kering tanaman, dan perhitungan BAF sebagai indikator kemampuan tanaman dalam menyerap logam Pb, Cd dan kemampuan pupuk guano dalam mengkelat logam Pb dan Cd.

3.4.4.1 Analisis Tanah Setelah Percobaan

Analisis media/tanah yang digunakan dilakukan untuk mengetahui kandungan pH tanah, P dan kandungan logam Cd dan Pb. Hasil analisis ini akan dijadikan pembandingan dari perlakuan media sebelum tanaman hiperakumulator ditanam.

Tabel 3.5 Metode analisis tanah yang digunakan

Variabel	Metode	Waktu
Analisis pH (-)	Metode pH meter	setelah penelitian (setelah panen)
Analisis Pb total (mg/kg)	Metode AOAC	setelah penelitian (setelah panen)
Analisis Cd total (mg/kg)	Metode AOAC	setelah penelitian (setelah panen)
Analisis P (mg/kg)	Bray I	setelah penelitian (setelah panen)

3.4.4.2 Analisis Berat Basah dan Berat Kering Tanaman

Perhitungan berat basah dan berat kering tanaman ini dilakukan dengan menggunakan timbangan analitik. Penimbangan berat basah dilakukan terlebih dahulu setelah tanaman dibersihkan dari sisa kotoran dan tanah, perhitungan berat kering dilakukan setelah tanaman dikering anginkan dalam oven selama 24 jam.

3.4.4.3 Analisis Jaringan Tanaman

Tanaman hiperakumulator yang ditanam dalam media yang tercemar, dilakukan analisis jaringan tanaman dengan tujuan untuk mengetahui penyerapan logam Pb dan Cd dari hasil tersebut dapat digunakan untuk perhitungan nilai *Bioaccumulation Factor* (BAF).

Tabel 3.6 Metode analisis jaringan tanaman yang digunakan

Variabel	Metode	Waktu
Analisis Serapan Pb (mg/kg)	Metode AOAC	setelah penelitian (setelah panen)
Analisis Serapan Cd (mg/kg)	Metode AOAC	setelah penelitian (setelah panen)

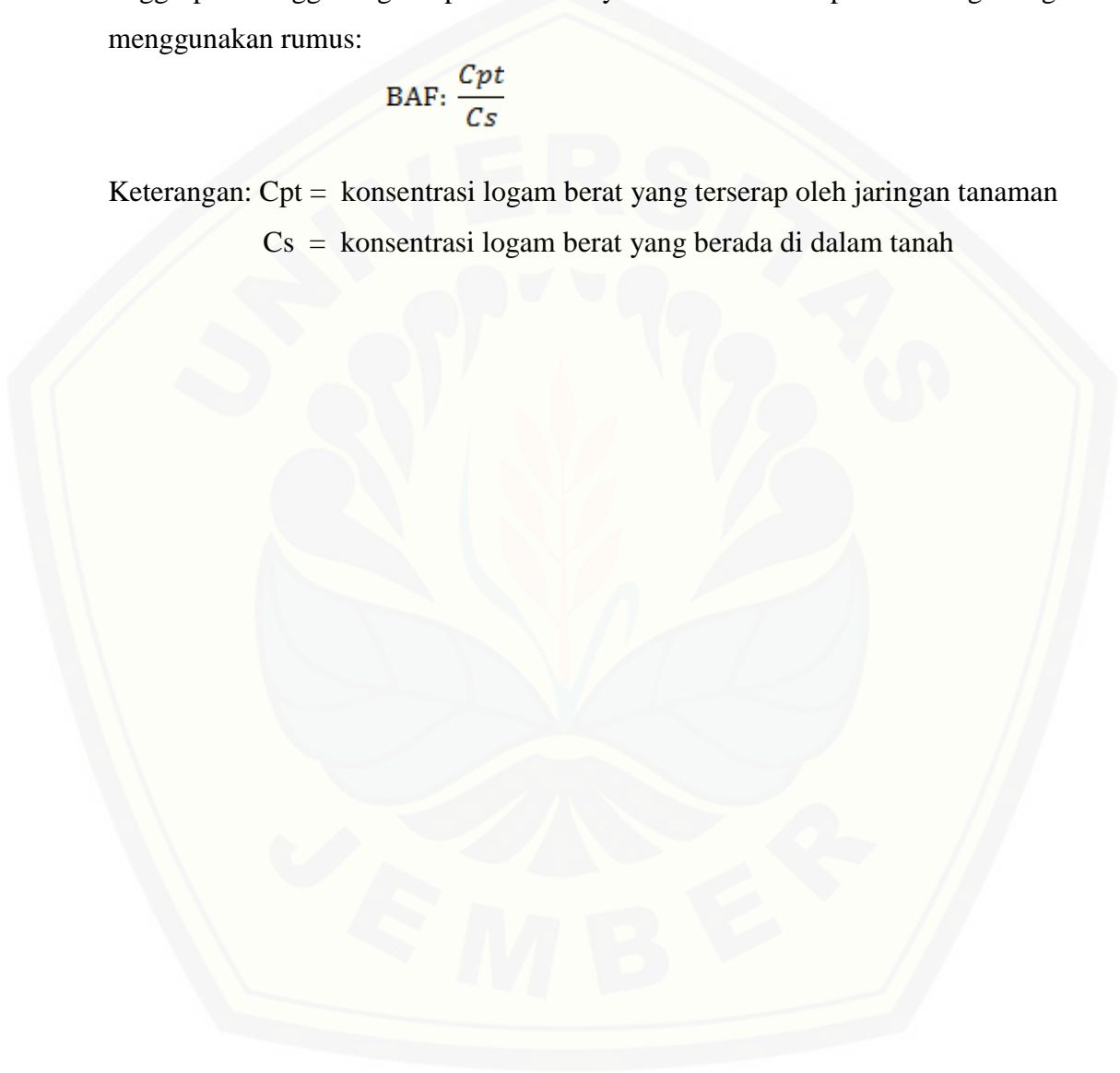
3.4.4.4 Perhitungan Nilai *Bioacumulation Factor* (BAF)

Bioacumulation Factor (BAF) diperoleh dari perbandingan antara konsentrasi logam berat yang terserap oleh jaringan tanaman dengan konsentrasi logam berat yang berada di dalam tanah. Semakin tinggi nilai BAF, maka semakin tinggi pula tinggi tingkat pencemarannya. Nilai BAF dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{BAF} = \frac{C_{pt}}{C_s}$$

Keterangan: C_{pt} = konsentrasi logam berat yang terserap oleh jaringan tanaman

C_s = konsentrasi logam berat yang berada di dalam tanah





BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil analisis yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Ada interaksi yang sangat nyata terhadap penambahan guano sebagai agen pengkhelat terhadap logam Cd terekstrak dalam tanah tercemar limbah logam Cd.
2. Penambahan guano 100 g/pot lebih efisien mengikat limbah logam Pb dan Cd sekaligus dapat menurunkan nilai BAF (*Bioaccumulation Factor*).
3. Tanaman Kangkung darat (*Ipomoea reptans poir*) merupakan tanaman hiperakumulator limbah logam berat Pb dan Cd.

5.2 Saran

Berdasar pada hasil analisis dan kesimpulan yang telah dilakukan, maka dapat disarankan:

1. Logam berat Pb dan Cd yang terkandung dalam limbah memiliki waktu paruh yang cukup lama (kadmium (Cd) adalah 30 tahun dan timbal (Pb) ribuan tahun). Pengikatan limbah logam Pb dan Cd oleh guano dapat menurunkan mobilitasnya sehingga tidak mencemari tanah. Namun perlu diketahui berapa lama guano yang telah mengikat logam terdekomposisi. Sehingga dapat diketahui lamanya guano mampu mengikat limbah logam berat dalam tanah.
2. Deposit guano yang semakin menipis menyebabkan ketersediaan guano semakin menurun. Oleh karena itu diperlukan sumber bahan organik lainnya (misalnya kompos dari kotoran ternak) yang memiliki fungsi sama dengan guano. Selanjutnya dilakukan perbandingan persentase khelasi dari masing – masing sumber bahan organik.
3. Sebaiknya dalam penelitian berikutnya, tanaman hiperakumulator yang digunakan bukan termasuk tanaman konsumsi. Tanaman hiperakumulator yang dapat digunakan yaitu tanaman kayu yang dapat dimanfaatkan sebagai furniture.





DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B.J. 1995. *Heavy Metals in Soils*. Hal 39-57, 206-223, Blackie Academic & Professional. Glasgow.
- Balitbang Kehutanan. 2011. *Mitra Hutan Tanaman*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Peningkatan Produktivitas Hutan, Bogor.
- Barcelo, J and Poschenrieder, C. 1990. Plant- water relations as affected by heavy metal stresses. *J. Plants Nut* 13: 1 – 37.
- Darmono, 1995. *Logam Berat dalam Sistem Biologi*. UI Press, Jakarta.
- Das, P., S. Samantaray. And G. R. Rout. 1997. Studies on Cadmium Toxicity in Plants: A Review. *Environmental Pollution*. 98(1):29-36
- Djuariah, Diny. 2008. Variabilitas genetik, Heritabilitas dan Penampilan Fenotipik 50 Genotipe Kangkung Darat Di Dataran Medium (On-Line). *Balai Penelitian Tanaman Sayuran Lembang*. <http://faperta-unswagati.com/pdf/pdfv5/7.pdf>. diakses 13 Januari 2011.
- Estuningsih, Sri Pertiwi., dkk. 2013. Potensi Tanaman Rumput Sebagai Agen Fitoremediasi Tanah Terkontaminasi Limbah Minyak Bumi. *Prosiding Semirata* 1:360-370.
- Isrun. 2009. Respon Inceptisol terhadap Pupuk Guano dan Pupuk P serta Pengaruhnya Terhadap Serapan P Tanaman Kacang Tanah. *Jurnal Agroland*. 16(1):40 – 44.
- Murniasih, Sri dan Sukirno. 2012. Kajian Kandungan Logam B3 dalam Limbah Rumah Sakit Dibandingkan dengan Peraturan Pemerintah. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah* 1:197-204.
- Hardiani, Henggar. 2009. Potensi Tanaman dalam Mengakumulasi Logam Cu pada Media Tanah Terkontaminasi Limbah Padat Industri Kertas. *BS* 44(1) 27 – 40.
- Hidayati, Nuril. 2005. Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator. *Jurnal Hayati*. 12(1) :35 – 40.
- Haynes R. J., and M. S. Mokolobate. 2001. Amelioratin of Al Toxicity and P Deficiency in Acid Siols by Additions of Organic Residues: A Critical Review of the Phenomenon and the Mechanism Involved. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 59(-):47-63.

- Juhaeti, Titi, Fauzia Syarif, dan Nuril Hidayati. Inventarisasi Tumbuhan Potensial Untuk Fitoremediasi Lahan dan Air Terdegradasi Penambangan Emas. *Biodiversitas* 6(1): 31-33.
- Leiwakabessy, F. M. 1998. *Kesuburan Tanah Pertanian*. Bogor: FP IPB.
- Liong, Syarifuddin, dkk. 2009. Dinamika Akumulasi Kadmium pada Tanaman Kangkung Darat (*Ipomoea raptans* Poir). *Jurnal Indonesia Chimica Acta*. 2(1):1-7.
- Martell, A. E., dan M. Calvin. 1952. *Chemistry of the Metal Chelate Compounds*. Prentice-Hall, New York.
- Mellor, D. P. 1964. Historical background and Fundamental Concepts. *Chelating Agents and Metal Chelates*. Academic Press, New York. pp 1-50.
- Murmann, R. K. 1964. *Inorganic Complex Compounds*. Reinhold, New York.
- Novandi R, Rita Hayati, dan Titin Anita Zahara. 2013. *Remediasi Tanah Tercemar Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Bayam Cabut (Amaranthus tricolor L.)*. Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- Novita, Yulian dan Tarzan Punomo. 2012. Penyerapan Logam Timbal (Pb) dan Kadar Klorofil *Elodea canadensis* pada Limbah Cair Pabrik Pulp dan Kertas. *Lentera Bio* 1(1): 1-8.
- Onggo, Tino Mutiarawati. 2010. Pengaruh Konsentrasi Larutan Berbagai Senyawa Timbal (Pb) terhadap Kerusakan Tanaman, Hasil dan Beberapa Kriteria Kualitas Sayuran Daun Spinasia. *Universitas Padjadjaran*, Bandung.
- Panjaitan Yanti Grace. 2009. *Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) pada Pohon Aecennia marina di Hutan mangrov*. Skripsi USU.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 33. 2009. *Tata Cara Pemulihan Lahan Terkontaminasi Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun* (Tidak dipublikasikan).
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18.1999. *Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun* (Tidak dipublikasikan).
- Rara, S. L., I. Wahyudi, dan D. Widjajanto. 2013. Pengaruh Pemberian Bokasi Titonia (*Titonia diversifolia*) pada *Oxic Dystrudepts* Lembah Tongoa terhadap Serapan P dan Produksi Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.) Varietas Lembah Palu. *Elektronik Jurnal Agrotekbis*. Vol 1 (1):44-53.

- Rukmana, Rahmat. 1994. *Kangkung*. Kanisius. Yogyakarta.
- Saygideger , S. ; Muhittin D. ; dan Gonca K. 2004. Effect of Lead and pH on Lead Uptake, Chlorophyll and Nitrogen Content of *Typha latifolia* L. And *Ceratophyllum demersum* L. *International Journal of Agriculture and Biology*.
- Schnitzer, M., P. M. Huang. 1986. *Interaksi Mineral Tanah dengan Bahan Organik Alami dan Mikrobial*. Soil Science Society of America Inc.
- Sembiring, Ebynthalina dan Endah Sulistyawati. 2006. Akumulasi Pb dan Pengaruhnya pada Kondisi Daun *Swietenia macrophylla* King. *Seminar Nasional Penelitian Lingkungan* 1:1-10.
- Singh. 1995. *Bioremediation Science and Application*. USA : SSS Publication Number 43.
- Srihati dan Takiyah Salim. 2007. Pengaruh Berbagai Kompos Terhadap produksi Kangkung Darat. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, 30 Januari, Yogyakarta.
- Sukakusumah, Wahyu. 2012. *Fitoremediasi dan Pembangunan Berkelanjutan*. <http://file.upi.edu/Direktori/FPMIPA/JUR. PEND. BIOLOGI>. Diakses pada tanggal 30 April 2014.
- Suwarno dan K. Idris. 2007. Potensi dan kemungkinan Penggunaan Guano Secara Langsung sebagai Pupuk di Indonesia. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*. 9(1):37-43.
- Tan, K. H. 1991. *Dasar – dasar Kimia Tanah*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Widaningrum, Miskiyah dan Suismono. 2007. Bahaya Kontaminasi Logam Berat dalam Sayuran dan Alternatif Pencegahan Cemarannya. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian* 3: 16-27.
- Wulandari, Resmaya, Tarzan Purnomo, dan Winarsih. 2014. Kemampuan Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) dalam Menyerap Logam Berat Kadmium (Cd) Berdasarkan Konsentrasi dan Waktu Pemaparan yang Berbeda. *Lentera Bio* 3 (1):83-89.

Lampiran 1. Analisis Data Penelitian

1. Kadar Pb dalam Tanah

treat	R1	R2	R3	TOTAL	RATA2
G0L0	0.3	0.2	0.1	0.6	0.2
G0L1	0.1	0.2	0.3	0.6	0.2
G0L2	0.4	0.3	0.2	0.9	0.3
G1L0	0.2	0.1	0.1	0.4	0.1
G1L1	0.4	0.6	0.4	1.4	0.5
G1L2	0.4	0.6	0.3	1.3	0.4
TOTAL	1.8	2.0	1.4	5.2	1.7
RATA2	0.3	0.3	0.2	0.9	0.3

Tabel Dua Arah Faktor G dan L

	G0	G1
L0	0.2	0.1
L1	0.2	0.5
L2	0.3	0.4
FK	1.5022	
Sd	0.035	cv 19.41

Anova

SK	db	JK	KT	F-Hit	F-Tabel		
					5%	1%	
Replikasi	2	0.03	0.02	1.43	4.1	7.6	ns
Perlakuan	5	0.28	0.06	5.10	3.3	5.6	*
Guano	1	0.06	0.06	5.10	5.0	10.0	*
Logam	2	0.14	0.07	6.33	4.1	7.6	*
GuanoxLogam	2	0.08	0.04	3.88	4.1	7.6	ns
Galat	10	0.11	0.01				
Total	17	0.42					
Keterangan:		**	Berbeda sangat nyata				
		*	Berbeda nyata				
		ns	Berbeda tidak nyata				

DUNCAN ANALYSIS OF Pb

$UJD (\alpha\%) = SSR(\alpha\%;dbE;p) \times \sqrt{[KTE/r]}$ {p = jarak perlakuan yang dibandingkan}
 $UJD (5\%) = SSR(5\%;dbE;p) \times \sqrt{[KTE/r]}$ **SD = 0.035**

Perlakuan	Rata-rata	Notasi UJD 5%	Notasi UJD 1%	Nilai UJD 5%	Nilai UJD 1%	SSR (5%;dbE;p)	SSR (1%;dbE;p)	Jarak
G0L0	0.2	ab						
G0L1	0.2	ab		0.11		3.15	4.13	2
G0L2	0.3	bc		0.11		3.30		3
G1L0	0.1	a		0.12		3.37		4
G1L1	0.5	d		0.12		3.43		5
G1L2	0.4	cd		0.12		3.46		6

2. Kadar C dalam Tanah

treat	R1	R2	R3	TOTAL	RATA2
G0L0	0.1	0.1	0	0.2	0.1
G0L1	0.1	0.2	0.3	0.6	0.2
G0L2	0.4	0.3	0.2	0.9	0.3
G1L0	0.1	0	0.1	0.2	0.1
G1L1	0.4	0.6	0.4	1.4	0.5
G1L2	0.4	0.6	0.3	1.3	0.4
TOTAL	1.5	1.8	1.3	4.6	1.5
RATA2	0.3	0.3	0.2	0.8	0.3

Tabel Dua Arah Faktor G dan L

	G0	G1
L0	0.1	0.1
L1	0.2	0.5
L2	0.3	0.4
FK	1.1756	
SD	0.034247	CV 20.32347

Anova

SK	db	JK	KT	F-Hit	F-Tabel		
					5%	1%	
Replikasi	2	0.02	0.01	1.00	4.1	7.6	ns
Perlakuan	5	0.46	0.09	8.67	3.3	5.6	**
Guano	1	0.08	0.08	7.58	5.0	10.0	*
Logam	2	0.32	0.16	15.37	4.1	7.6	**
GuanoxLogam	2	0.05	0.03	2.53	4.1	7.6	ns
Galat	10	0.11	0.01				
Total	17	0.58					
Keterangan:	**	Berbeda sangat nyata					
	*	Berbeda nyata					
	ns	Berbeda tidak nyata					

Uji Duncan Pengaruh Sederhaana Faktor Tunggal G Dalam Tanah

		G1	G0	Notasi
		0.17	0.09	
G1	0.17	0.00		a
G0	0.09	0.08	0.00	a

Uji Duncan Pengaruh Sederhaana Faktor Tunggal L Dalam Tanah

		L1	L0	L2	Notasi
		0.32	0.07	0.00	
L1	0.32	0.00			a
L0	0.07	0.25	0.00		b
L2	0.00	0.32	0.07	0.00	b

Uji Duncan Pengaruh Interaksi GxL Dalam Tanah

G (gram)	L (mg/kg)			
		L0		L1
G0	0,07 mg/kg	A / b	0,07 mg/kg	A / b
G1	0,20 mg/kg	B / a	0,43 mg/kg	A / a

3. pH Tanah

Kombinasi	UL1	UL2	UL3	Jumlah	Rata-rata
G0L0	6.40	6.37	5.66	18.43	6.14
G0L1	7.71	7.53	7.63	22.87	7.62
G0L2	7.19	7.25	7.75	22.19	7.40
G1L0	5.86	5.84	6.32	18.02	6.01
G1L1	7.71	7.85	7.25	22.81	7.60
G1L2	7.14	7.32	7.25	21.71	7.24
Jumlah	42.01	42.16	41.86	126.03	
Ratap-rata	7.00	7.03	6.98		7.00

Tabel Dua Arah Faktor G dan L

	G0	G1	Jumlah	rata-rata
L0	18.43	18.02	36.45	6.08
L1	22.87	22.81	45.68	7.61
L2	22.19	21.71	43.90	7.32
Jumlah	63.49	62.54	126.03	
rata-rata	7.05	6.95		7.00

FK 882.42

Anova

Sumber keragaman	dB	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-Tabel		
					5%	1%	
Ulangan	2	0.01	0.00	0.04	4.10	7.56	ns
Perlakuan	5	8.06	1.61	17.72	3.33	5.64	**
G	1	0.05	0.05	0.55	4.96	10.04	ns
L	2	7.99	4.00	43.93	4.10	7.56	**
GxL	2	0.02	0.01	0.09	4.10	7.56	ns
Error(Galat)	10	0.91	0.09				
Total	17	8.98	0.53				

Keterangan: ** Berbeda sangat nyata
* Berbeda nyata
ns Berbeda tidak nyata

Uji Duncan Pengaruh Sederhaana Faktor Tunggal L Dalam Tanah

	L0	L1	L2	Notasi	
	7.61	7.32	6.08		
L0	7.61	0.00		a	
L1	7.32	0.30	0.00	a	
L2	6.08	1.54	1.24	0.00	b

4. Kadar Pb Jaringan

Kombinasi	UL1	UL2	UL3	Jumlah	Rata-rata
G0L0	0.01	0.02	0.01	0.04	0.01
G0L1	0.02	0.01	0.02	0.05	0.02
G0L2	0.01	0.02	0.01	0.04	0.01
G1L0	0.04	0.03	0.02	0.09	0.03
G1L1	0.01	0.02	0.02	0.05	0.02
G1L2	0.02	0.00	0.03	0.05	0.02
Jumlah	0.11	0.10	0.11	0.32	
Rata	0.02	0.02	0.02		0.02

Tabel Dua Arah Faktor G dan L

	G0	G1	Jumlah	rata-rata
L0	0.04	0.09	0.13	0.02
L1	0.05	0.05	0.10	0.02
L2	0.04	0.05	0.09	0.02
Jumlah	0.13	0.19	0.32	
rata-rata	0.01	0.02		0.02

FK
Anova 0.01

Sumber keragaman	dB	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-Tabel		
					5%	1%	
Ulangan	2	0.00	0.00	0.06	4.10	7.56	ns
Perlakuan	5	0.00	0.00	1.25	3.33	5.64	ns
G	1	0.00	0.00	2.17	4.96	10.04	ns
L	2	0.00	0.00	0.78	4.10	7.56	ns
GxL	2	0.00	0.00	1.27	4.10	7.56	ns
Error(Galat)	10	0.00	0.00				
Total	17	0.00	0.00				

Keterangan: ** Berbeda sangat nyata
 * Berbeda nyata
 ns Berbeda tidak nyata

5. Kadar Cd Jaringan

Kombinasi	1	2	3	Jumlah	Rata-rata
G0L0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
G0L1	0.01	0.02	0.00	0.03	0.01
G0L2	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
G1L0	0.02	0.01	0.01	0.04	0.01
G1L1	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01
G1L2	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
Jumlah	0.03	0.05	0.03	0.11	
Rata-rata	0.01	0.01	0.01		0.01

Tabel Dua Arah Faktor G dan L

	G0	G1	Jumlah	rata-rata
L0	0.00	0.04	0.04	0.01
L1	0.03	0.02	0.05	0.01
L2	0.01	0.01	0.02	0.00
Jumlah	0.04	0.07	0.11	
rata-rata	0.00	0.01		0.01

FK 0.00

Anova

Sumber keragaman	dB	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-Tabel		
					5%	1%	
Ulangan	2	0.00	0.00	0.53	4.10	7.56	ns
Perlakuan	5	0.00	0.00	1.71	3.33	5.64	ns
G	1	0.00	0.00	1.18	4.96	10.04	ns
L	2	0.00	0.00	0.92	4.10	7.56	ns
GxL	2	0.00	0.00	2.76	4.10	7.56	ns
Error(Galat)	10	0.00	0.00				
Total	17	0.00	0.00				

Keterangan: ** Berbeda sangat nyata
 * Berbeda nyata
 ns Berbeda tidak nyata

6. Serapan Pb Jaringan

Kombinasi	1	2	3	Jumlah	Rata-rata
G0L0	0.02	0.09	0.06	0.18	0.06
G0L1	0.08	0.05	0.16	0.29	0.10
G0L2	0.02	0.08	0.08	0.18	0.06
G1L0	0.08	0.26	0.17	0.51	0.17
G1L1	0.04	0.14	0.19	0.37	0.12
G1L2	0.06	0.00	0.28	0.33	0.11
Jumlah	0.30	0.62	0.94	1.85	
Rata	0.05	0.10	0.16		0.10

Tabel Dua Arah Faktor G dan L

	G0	G1	Jumlah	rata-rata
L0	0.175	0.507	0.682	0.114
L1	0.285	0.369	0.654	0.109
L2	0.180	0.334	0.514	0.086
Jumlah	0.640	1.210	1.850	
rata-rata	0.071	0.134		0.103

FK 0.190

Anova

Sumber keragaman	dB	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-Tabel		
					5%	1%	
Ulangan	2	0.035	0.017	3.563	4.10	7.56	ns
Perlakuan	5	0.026	0.005	1.080	3.33	5.64	ns
G	1	0.018	0.018	3.721	4.96	10.04	ns
L	2	0.003	0.001	0.278	4.10	7.56	ns
GxL	2	0.005	0.003	0.562	4.10	7.56	ns
Error(Galat)	10	0.049	0.005				
Total	17	0.109	0.006				

Keterangan:
 ** Berbeda sangat nyata
 * Berbeda nyata
 ns Berbeda tidak nyata

7. Serapan Cd Jaringan

Kombinasi	UL1	UL2	UL3	Jumlah	Rata-rata
G0L0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
G0L1	0.037	0.100	0.000	0.137	0.046
G0L2	0.000	0.038	0.000	0.038	0.013
G1L0	0.040	0.087	0.083	0.210	0.070
G1L1	0.000	0.069	0.095	0.164	0.055
G1L2	0.000	0.000	0.093	0.093	0.031
Jumlah	0.077	0.294	0.271	0.642	
Rata	0.013	0.049	0.045		0.036

Tabel Dua Arah Faktor G dan L

	G0	G1	Jumlah	rata-rata
L0	0.000	0.210	0.210	0.035
L1	0.137	0.164	0.301	0.050
L2	0.038	0.093	0.131	0.022
Jumlah	0.175	0.467	0.642	
rata-rata	0.019	0.052		0.036

FK 0.023

Anova

Sumber keragaman	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-Tabel			
				5%	1%		
	dB						
Ulangan	2	0.005	0.002	1.783	4.10	7.56	ns
Perlakuan	5	0.010	0.002	1.564	3.33	5.64	ns
G	1	0.005	0.005	3.566	4.96	10.04	ns
L	2	0.002	0.001	0.908	4.10	7.56	ns
GxL	2	0.003	0.002	1.219	4.10	7.56	ns
Error(Galat)	10	0.013	0.001				
Total	17	0.028	0.002				

Keterangan:
 ** Berbeda sangat nyata
 * Berbeda nyata
 ns Berbeda tidak nyata

8. Berat Kering Tanaman

kombinasi	UL1	UL2	UL3	Jumlah	Rata-rata
G0L0	2.19	2.19	2.28	6.66	2.22
G0L1	2.00	2.00	2.77	6.77	2.26
G0L2	4.49	4.49	3.80	12.78	4.26
G1L0	8.72	8.72	9.04	26.48	8.83
G1L1	6.30	6.30	8.09	20.69	6.90
G1L2	8.27	8.27	9.31	25.85	8.62
Jumlah	31.97	31.97	35.29	99.23	
Rata	5.33	5.33	5.88		5.51

Tabel Dua Arah Faktor G dan L

	G0	G1	Jumlah	rata-rata
L0	6.66	26.48	33.14	5.52
L1	6.77	20.69	27.46	4.58
L2	12.78	25.85	38.63	6.44
Jumlah	26.21	73.02	99.23	
rata-rata	2.91	8.11		5.51

FK= 547.03

Anova

Sumber keragaman	dB	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-Tabel		
					5%	1%	
Ulangan	2	1.22	0.61	2.53	4.10	7.56	ns
Perlakuan	5	136.64	27.33	112.98	3.33	5.64	**
G	1	121.73	121.73	503.28	4.96	10.04	**
L	2	10.40	5.20	21.50	4.10	7.56	**
GxL	2	4.51	2.25	9.31	4.10	7.56	**
Error(Galat)	10	2.42	0.24				
Total	17	140.28	8.25				

Keterangan: ** Berbeda sangat nyata
 * Berbeda nyata
 ns Berbeda tidak nyata

Uji Duncan Pengaruh Sederhaana Faktor Tunggal G Berat Kering Tanaman

	G1	G0	Notasi
	8.11	2.91	
G1	8.11	0.00	a
G0	2.91	5.20	b

Uji Duncan Pengaruh Sederhaana Faktor Tunggal L Berat Kering Tanaman

	L2	L1	L0	Notasi
	6.44	5.52	4.58	
L1	6.44	0.00		a
L0	5.52	0.92	0.00	a
L2	4.58	1.86	0.95	b

Uji Duncan Pengaruh Interaksi GxL Berat Kering Tanaman

Guano	Limbah					
	L ₀		L ₁		L ₂	
G ₀	2.22	B / a	2.26	B / a	4.26	B / a
G ₁	8.83	A / b	6.90	A / b	8.62	A / b

9. Tinggi Tanaman

Kombunasi	UL1	UL2	UL3	Jumlah	Rata-rata
G0L0	18.20	25.30	19.30	62.80	20.93
G0L1	23.40	28.00	28.70	80.10	26.70
G0L2	29.00	25.50	27.80	82.30	27.43
G1L0	30.60	30.20	32.00	92.80	30.93
G1L1	32.70	30.90	29.30	92.90	30.97
G1L2	31.50	35.90	32.00	99.40	33.13
Jumlah	165.40	175.80	169.10	510.30	
Rata	27.57	29.30	28.18		28.35

Tabel Dua Arah Faktor G dan L

	G0	G1	Jumlah	rata-rata
L0	62.80	92.80	155.60	25.93
L1	80.10	92.90	173.00	28.83
L2	82.30	99.40	181.70	30.28
Jumlah	225.20	285.10	510.30	
rata-rata	25.02	31.68		28.35

FK 14467.01

Anova

Sumber keragaman	dB	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-Tabel		
					5%	1%	
Ulangan	2	9.26	4.63	0.75	4.10	7.56	ns
Perlakuan	5	284.91	56.98	9.19	3.33	5.64	**
G	1	199.33	199.33	32.14	4.96	10.04	**
L	2	58.87	29.44	4.75	4.10	7.56	*
GxL	2	26.71	13.35	2.15	4.10	7.56	ns
Error(Galat)	10	62.03	6.20				
Total	17	356.21	20.95				

Uji Duncan Pengaruh Sederhaana Faktor Tunggal G Tinggi Tanaman

	G1	G0	Notasi	
	31.68	25.02		
G1	31.68	0.00	a	
G0	25.02	6.66	0.00	b

Uji Duncan Pengaruh Sederhaana Faktor Tunggal L Tinggi Tanaman

	L2	L1	L0	Notasi	
	30.28	28.83	25.93		
L2	30.28	0.00		a	
L1	28.83	1.45	0.00	a	
L0	25.93	4.35	2.90	0.00	a

10. P Tersedia Dalam Tanah

Kombinasi	UL1	UL2	UL3	Jumlah	Rata-rata
G0L0	2.53	2.33	3.28	8.13	2.71
G0L1	3.66	3.84	3.74	11.24	3.75
G0L2	3.38	4.11	3.74	11.23	3.74
G1L0	3.24	3.14	2.69	9.08	3.03
G1L1	6.39	4.89	3.46	14.74	4.91
G1L2	3.73	4.88	4.06	12.66	4.22
Jumlah	22.92	23.18	20.97	67.07	
Rata	3.82	3.86	3.49		3.73

Tabel Dua Arah Faktor G dan L

	G0	G1	Jumlah	rata-rata
L0	8.13	9.08	17.20	2.87
L1	11.24	14.74	25.98	4.33
L2	11.23	12.66	23.88	3.98
Jumlah	30.59	36.48	67.07	
rata-rata	3.40	4.05		3.73

FK 249.90

Anova

Sumber keragaman	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-Hitung	F-Tabel		
				5%	1%	
	dB					
Ulangan	2	0.49	0.24	0.45	4.10	7.56 ns
Perlakuan	5	9.55	1.91	3.49	3.33	5.64 *
G	1	1.92	1.92	3.51	4.96	10.04 ns
L	2	7.01	3.51	6.40	4.10	7.56 *
GxL	2	0.61	0.31	0.56	4.10	7.56 ns
Error(Galat)	10	5.48	0.55			
Total	17	15.51	0.91			

Uji Duncan Pengaruh Sederhana Faktor Tunggal L P Tersedia Dalam Tanah

	L1	L2	L0	Notasi
	4.33	3.98	2.87	
L1	4.33	0.00		a
L2	3.98	0.35	0.00	a
L0	2.87	1.46	1.11	0.00

Lampiran 1. Foto Penelitian (Dokumentasi)



