



**UJI TANAMAN BAYAM (*Amaranthus tricolor*) DAN RUMPUT GAJAH
(*Pennisetum purpureum*) SEBAGAI AGEN FITOREMEDIASI PADA
TANAH TERCEMAR LOGAM Pb DAN Cd**

SKRIPSI

OLEH:

ROBBI KHAIRUR RAZIKIN

101510501142

PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI

FAKULTAS PERTANIAN

UNIVERSITAS JEMBER

2015



**UJI TANAMAN BAYAM (*Amaranthus tricolor*) DAN RUMPUT GAJAH
(*Pennisetum purpureum*) SEBAGAI AGEN FITOREMEDIASI PADA
TANAH TERCEMAR LOGAM Pb DAN Cd**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Agroteknologi (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Pertanian

Oleh:

ROBBI KHAIRUR RAZIKIN

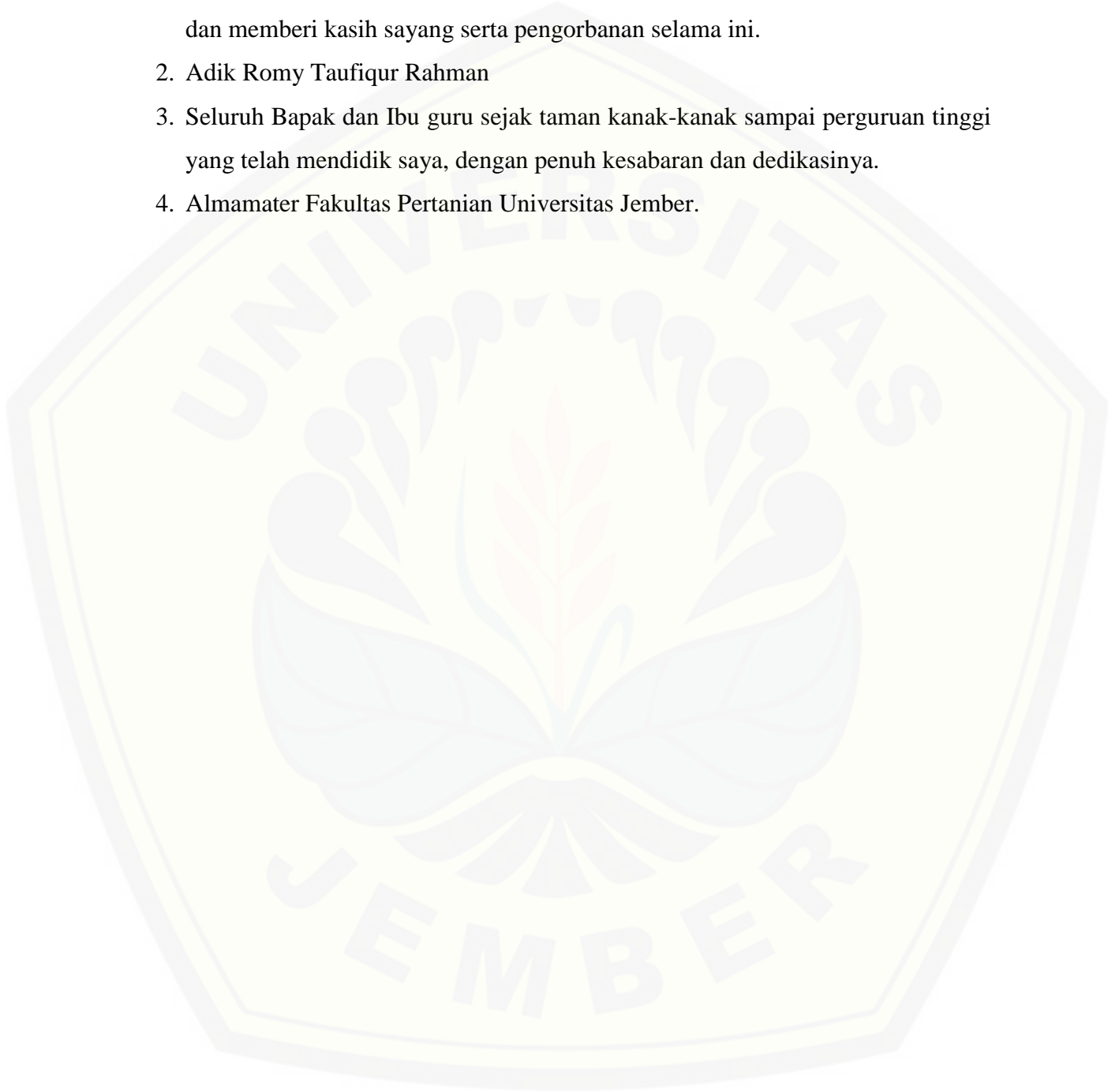
101510501142

**PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER**

2015

HALAMAN PERSEMBAHAN

1. Ibunda Susiyana Insufiah dan Ayahanda Rasidi tercinta, yang telah mendoakan dan memberi kasih sayang serta pengorbanan selama ini.
2. Adik Romy Taufiqur Rahman
3. Seluruh Bapak dan Ibu guru sejak taman kanak-kanak sampai perguruan tinggi yang telah mendidik saya, dengan penuh kesabaran dan dedikasinya.
4. Almamater Fakultas Pertanian Universitas Jember.



MOTTO

Dan Kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada antara keduanya tanpa hikmah/guna/manfaat.

(QS. Şād : 27)

Dan Kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada antara keduanya dengan bermain-main. Kami tidak menciptakan keduanya melainkan dengan haq, tetapi kebanyakan mereka tidak mengetahui.

(QS. Ad Dukhan : 38-39)

Big things begins with a single and a little step.

(Confucius)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Robbi Khairur Razikin

NIM : 101510501142

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “**Uji Tanaman Bayam (*Amaranthus tricolor*) dan Rumput Gajah (*Pennisetum purpureum*) sebagai Agen Fitoremediasi pada Tanah Tercemar Logam Pb dan Cd**” adalah benar –benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada instansi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya 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, 3 Juni 2015

Yang Menyatakan,

Robbi Khairur Razikin

NIM. 101510501142

SKRIPSI

**UJI TANAMAN BAYAM (*Amaranthus tricolor*) DAN RUMPUT GAJAH
(*Pennisetum purpureum*) SEBAGAI AGEN FITOREMEDIASI PADA
TANAH TERCEMAR LOGAM Pb DAN Cd**

Oleh

Robbi Khairur Razikin
NIM 101510501142

Pembimbing:

Dosen Pembimbing utama : Ir. Arie Mudjiharjati, MS
NIP. 195007151977032001

Dosen Pembimbingan Anggota : Dr. Ir. Tri Candra Setiawati, M. Si
NIP. 196505231993022001

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “**Uji Tanaman Bayam (*Amaranthus tricolor*) dan Rumput Gajah (*Pennisetum purpureum*) sebagai Agen Fitoremediasi pada Tanah Tercemar Logam Pb dan Cd**” telah diuji dan disahkan pada:

Hari : Rabu,

Tanggal : 3 Juni 2015

Tempat : Fakultas Pertanian Universitas Jember.

Dosen Pembimbing Utama,

Ir. Arie Mudjiharjati, MS
NIP. 195007151977032001

Dosen Pembimbing Anggot,

Dr. Ir. Tri Candra Setiawati, M. Si
NIP. 196505231993022001

Dosen Penguji,

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

**Mengesahkan
Dekan,**

Dr. Ir. Jani Januar, M.T.
NIP 195901021988031002

RINGKASAN

Uji Tanaman Bayam (*Amaranthus tricolor*) dan Rumput Gajah (*Pennisetum purpureum*) sebagai Agen Fitoremediasi pada Tanah Tercemar Logam Pb dan Cd: Robbi Khairur Razikin, 101510501142; 2015: 40 halaman; Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Jember.

Logam Pb dan Cd banyak digunakan sebagai bahan proses industri salah satunya adalah daur ulang koran bekas. Dari kegiatan ini, banyak limbah yang mengandung logam Pb dan Cd yang terbuang di lingkungan dari proses deinking. Keberadaan logam Pb dan Cd di dalam tanah sangat mudah diserap oleh tanaman yang dibudidayakan seperti tanaman semusim dan tanaman hortikultura.

Penelitian dilakukan pada bulan Juni sampai November 2014, melalui tiga tahap, yaitu tahap pertama adalah analisis pendahuluan (analisis tanah, limbah dan pupuk guano) yang dilaksanakan di laboratorium kesuburan tanah. Identifikasi karakteristik dan pembibitan tanaman hiperakumulator (*Amaranthus tricolor* dan *Pennisetum purpureum*) yang dilaksanakan di Agrotechno Park, Fakultas Pertanian, Universitas Jember. Tahap kedua adalah tahap aplikasi yang akan dilakukan di green house Agrotechnopark, Universitas Jember. Pengaplikasian perlakuan menggunakan rancangan percobaan Split Plot rancangan acak kelompok (RAK) faktorial yang meliputi tanaman hiperakumulator (H), dan limbah kertas koran yang mengandung logam Pb dan Cd (L) dengan nilai ketepatan 95% dan dilanjutkan dengan uji Duncan pada taraf 5%. Faktor pertama atau main plot yaitu tanaman hiperakumulator yang terdiri dari dua taraf, yaitu (T1) Tanaman Rumput Gajah (*Pennisetum purpureum*), (T2) Tanaman Bayam (*Amaranthus tricolor*). Faktor kedua atau sub plot yaitu dosis logam Pb dan Cd yang terdiri dari taraf yaitu: (L0) Dosis limbah 0 gram, (L1) Dosis limbah 1 mg/kg (Cd) dan (L2) Dosis limbah 2 mg/kg (Pb). Tahap ketiga adalah tahap analisis hasil penelitian menganalisis tanah, nilai BAF dan jaringan tanaman di laboratorium kesuburan tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Jember, serta analisis kandungan logam Pb dan Cd.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, kemampuan serapan logam Cd pada tanaman rumput gajah 0,744 mg/kg dan pada tanaman bayam 0,117 mg/kg. Kemampuan serapan logam Pb pada tanaman rumput gajah 0,839 mg/kg dan pada tanaman bayam 0,440 mg/kg. Rumput gajah lebih efektif mengakumulasi logam Pb daripada tanaman bayam. Sedangkan tanaman bayam lebih efektif mengakumulasi logam Cd daripada tanaman rumput gajah. Tanaman rumput gajah menunjukkan gejala keracunan pada warna daun. Daun memiliki nilai 7,5 GY (5/6) atau hijau tua. Parameter tinggi tanaman menunjukkan gejala keracunan (tanaman semakin kecil) akibat logam Pb dan Cd. Bayam tidak terlalu menunjukkan keracunan pada warna daun dan pada tinggi tanamannya tidak terganggu.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. Atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Uji Tanaman Bayam (*Amaranthus tricolor*) dan Rumput Gajah (*Pennisetum purpureum*) sebagai Agen Fitoremediasi pada Tanah Tercemar Logam Pb dan Cd**”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Agroteknologi Fakultas pertanian Universitas Jember.

Keberhasilan selama penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Arie Mudjiharjati, MS, selaku Dosen Pembimbing Utama, Dr. Ir. Tri Candra Setiawati, M. Si, selaku Dosen Pembimbing Anggota, Dr. Ir. Sugeng Winarso, M. Si., selaku Dosen Penguji yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan ini;
2. Ir. Didik Pudji Restanto, MS., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama menjadi mahasiswa;
3. Ir. Martinus H. Pandutama, M.Sc., Ph.D. yang telah membantu dan membimbing dalam proses dan penyelesaian penulisan ini;
4. Bapak Rasidi, Ibu Susiyana Insufiah, dan adik Romy Taufiqur Rahman sekeluarga yang telah memberikan dorongan, serta do'a demi terselesaikannya skripsi ini;
5. Sahabat annisa, rudi, galuh, riski ndut, risky wonk, dan teman kontrakan yang telah mendukung dan membantu dalam penelitian ini;
6. Keluarga Besar Agroteknologi 2010; Rahmat, Wahyu K, Wahyu Abdur, Novia, Rossy, Nungky, Lutfi, Yesy, Almansyah, Vedry, dkk yang telah memberikan semangat dan dukungan selama ini;
7. Keluarga besar IMAGRO; Sulton, Alam, Jefry, Fuad, Udin, dan teman-teman yang tidak dapat disebut satu persatu, yang telah memberikan bantuan selama ini;

8. Semua pihak yang telah mendukung dan membantu dalam kelancaran penelitian ini yang tidak dapat disebut satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 3 Juni 2015

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Hipotesis	15
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Limbah Logam Berat	5
2.2.1 Logam Pb	7
2.2.2 Logam Cd	8
2.2 Fitoremediasi	8
2.3 Tanaman Hiperakumulator	10
2.3.1 Tanaman Bayam	12
2.3.2 Tanaman Graminae atau Poaceae (Rumput Gajah)	13
BAB 3. METODOLOGI	15
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	15

3.2 Bahan dan Alat Penelitian	15
3.2.1 Bahan Penelitian	15
3.2.2 Alat Penelitian	15
3.3 Rancangan Percobaan	16
3.4 Pelaksanaan Penelitian	17
3.4.1 Tahap Analisis Pendahuluan	17
3.4.1.1 Analisis Tanah Inceptisol	17
3.4.1.2 Analisis Limbah Koran	17
3.4.1.3 Analisis Pupuk Guano	17
3.4.2 Tahap Pra Tanam	18
3.4.2.1 Tahap Persiapan Tanaman Hiperakumulator	18
3.4.2.2 Tahap Persiapan Limbah	18
3.4.2.3 Tahap Persiapan Tanah	18
3.4.2.4 Tahap Inkubasi Media	19
3.4.3 Penanaman	19
3.4.4 Pengamatan	19
3.4.5 Tahap Analisis Hasil Penelitian	19
3.4.5.1 Analisis Tanah Setelah Percobaan	20
3.4.5.2 Analisis Berat Basah dan Berat Kering Tanaman	20
3.4.5.3 Analisis Jaringan Tanaman	20
3.4.5.4 Penghitungan Nilai <i>Bioaccumulation Factor</i> (BAF)	20
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Hasil Analisis Pendahuluan	22
4.1.1 Hasil Analisis Inceptisol	22
4.1.2 Hasil Analisis Limbah Tercemar Logam Pb dan Cd	23
4.1.3 Hasil Analisis Pupuk Guano	23
4.2 Rangkuman Hasil Sidik Ragam Parameter Pengamatan	24
4.3 Pengaruh Penambahan Limbah terhadap Sifat Kimia Tanah	25
4.3.1 Kadar Logam Cd	26
4.3.2 Kadar Logam Pb	27
4.3.3 Nilai pH Tanah	28

4.4 Hubungan antara Logam dalam Limbah dan Serapan Tanaman	29
4.4.1 Hubungan antara Logam Cd Dalam Limbah dan Serapan Tanaman	29
4.4.2 Hubungan antara Logam Pb Dalam Limbah dan Serapan Tanaman	32
4.5. Tinggi Tanaman	37
4.6. Warna daun	38
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1. Kesimpulan	41
5.1. Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	46

DAFTAR TABEL

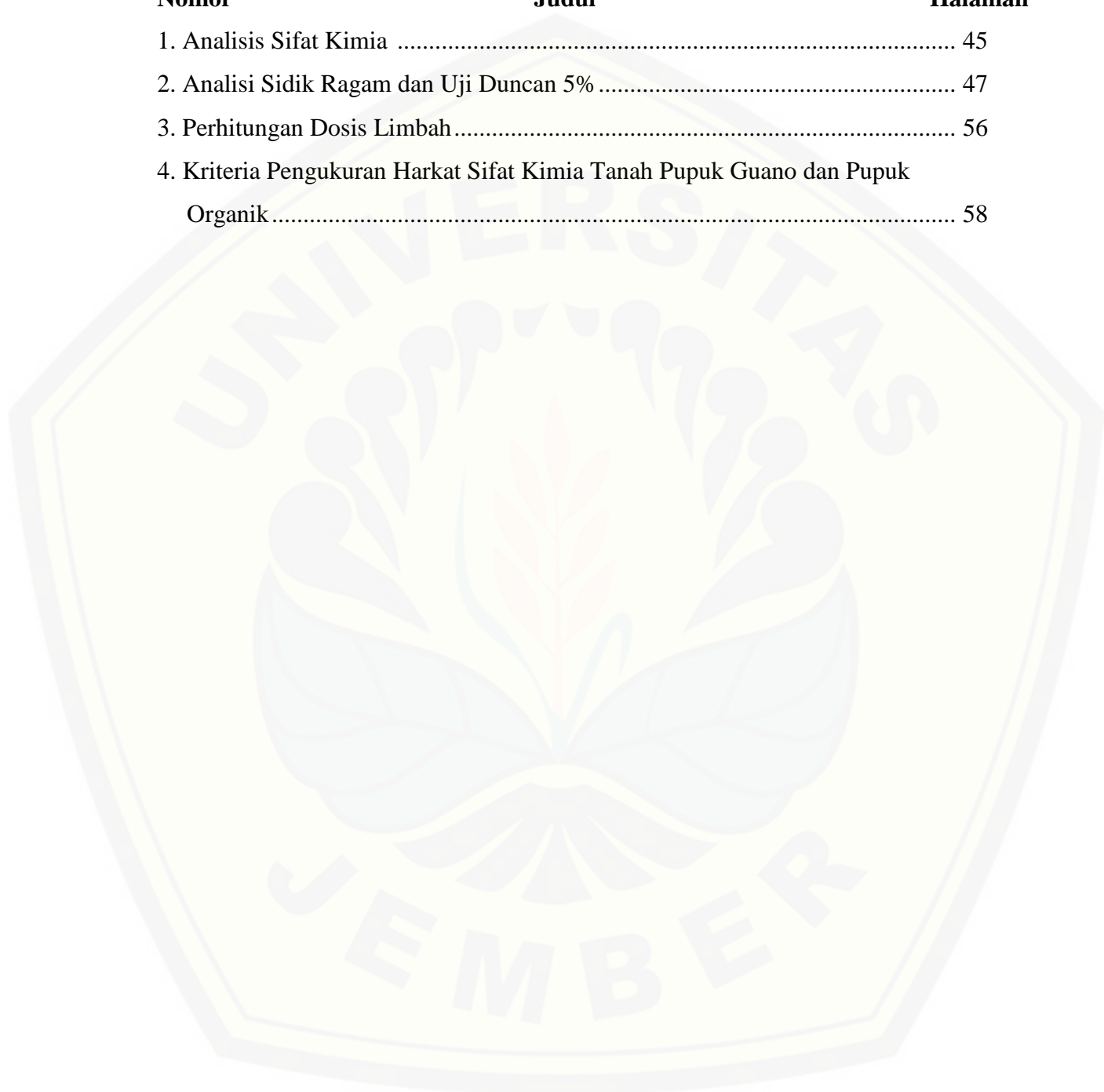
Nomor	Judul	Halaman
1.1	Kandungan Logam Berat dalam Tanah Secara Alamiah	6
3.1	Metode Analisis Tanah yang Digunakan	18
3.2	Metode Analisis Limbah yang Digunakan.....	18
3.3	Metode Analisis Guano yang Digunakan	19
3.4	Parameter Selama di Rumah Kasa	20
3.5	Metode Analisis Tanah yang Digunakan	21
3.6	Metode Analisis Jaringan Tanaman yang Digunakan.....	21
4.1	Kandungan Unsur Hara dan Logam Toksik Inceptisol.....	23
4.2	Kandungan Logam Berat Asal Limbah Pabrik Kertas PT. Adiprima.....	24
4.3	Kandungan Unsur Hara dan Logam Toksik pada Pupuk Guano	25
4.4	Rangkuman Sidik Ragam Parameter Pengamatan.....	26
4.5	Tinggi Tanaman 28 Hari Setelah Tanam	37
4.6	Warna Daun dengan <i>Munsell Plant Colour Chart</i> pada Rumput Gajah.....	39
4.7	Warna Daun dengan <i>Munsell Plant Colour Chart</i> pada Bayam.....	40

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul	Halaman
3.1	Denah Percobaan	16
4.1	Hasil Analisis Kadar Cd di dalam tanah	26
4.2	Hasil Analisis Kadar Pb dalam tanah	27
4.3	Hasil Analisis pH di dalam Tanah	29
4.4	Berat Kering Tanaman pada Media yang Tercemar Limbah logam Cd	31
4.5	Nilai BAF Logam Cd pada Tanaman Rumput Gajah dan Bayam	32
4.6	Analisis Kadar Pb dalam Jaringan Tanaman	33
4.7	Analisis Serapan Logam Berat Pb.....	34
4.8	Berat Kering Tanaman pada Media yang Tercemar Limbah logam Pb.....	35
4.9	Nilai BAF Logam Pb Tanaman Rumput Gajah dan Bayam	36
4.10	Warna Daun Rumput Gajah pada Media Limbah Logam Cd dan Pb Usia 28 Hari Setelah Tanam	39
4.11	Warna Daun Bayam pada Media Limbah Logam Cd dan Pb Usia 28 Hari Setelah Tanam	40

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul	Halaman
1.	Analisis Sifat Kimia	45
2.	Analisi Sidik Ragam dan Uji Duncan 5%	47
3.	Perhitungan Dosis Limbah.....	56
4.	Kriteria Pengukuran Harkat Sifat Kimia Tanah Pupuk Guano dan Pupuk Organik.....	58



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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.

Penggunaan tanaman hiperakumulator merupakan salah satu cara dari remediasi logam-logam berat yang mencemari tanah 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 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 yaitu rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) serta jenis tanaman bayam-bayaman yang dapat juga digunakan sebagai tanaman hiperakumulator karena kemampuan menyerap unsur dari dalam tanah sangat besar.

Pennisetum purpureum atau yang sering dikenal dengan rumput gajah banyak dan sering dibudidayakan sebagai pakan ternak sapi. Rumput gajah dapat dikembang biakkan dengan cara vegetatif yaitu dengan menanam buku-buku pada batangnya. Rumput ini dapat tumbuh dalam berbagai macam keadaan tanah. Pembudidayaannya tidak membutuhkan waktu yang lama dan lahan yang luas. Kemampuannya dalam menyerap unsur hara yang ada di dalam tanah sangat cepat dan sangat besar. Berdasarkan kemampuan menyerap hara sangat cepat dan besar

maka, rumput ini diyakini memiliki kemampuan dalam meremidiasi tanah tercemar logam berat dan membersihkan lingkungan yang tercemar.

Bayam (*Amaranthus tricolor*) merupakan tanaman yang hortikultura yang dapat dikonsumsi oleh manusia dan memiliki kandungan zat besi yang tinggi. Tidak semua tanaman bayam bisa dikonsumsi, karena bayam salah satunya yaitu bayam berduri yang banyak tumbuh liar di pekarangan rumah. Tanaman bayam memiliki kemampuan menyerap unsur logam Fe yang sangat besar sehingga tanaman ini dikenal dengan tanaman hiperakumulator. Untuk membantu pertumbuhan kedua tanaman hiperakumulator ini perlu ditambah dengan memberikan pupuk dasar untuk membantu dalam pertumbuhannya, salah satu pupuk dasar tersebut adalah pupuk guano. Pupuk guano sendiri merupakan kotoran kelelawar atau burung laut yang menjadi sumber fosfat alami yang memiliki fungsi ganda, yaitu sebagai pemberi unsur makro yang dibutuhkan oleh tanaman dan agen pengkhalat logam berat. Penggunaan pupuk guano mampu bekerja maksimal sesuai dengan fungsi ganda yang dimilikinya. Oleh karena itu pupuk guano ini akan dijadikan sebagai pupuk dasar agar mampu membantu kerja tanaman hiperakumulator.

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 rumput-rumputan yang mudah sekali tumbuh di berbagai macam keadaan lingkungan tanah dan juga mempunyai kemampuan menyerap unsur hara sangat besar.

1.2 Rumusan Masalah

Tanah-tanah di daerah pabrik kertas koran sangat berpotensi memiliki kandungan logam Pb dan Cd yang sangat tinggi yang disebabkan proses *deinking* (proses pemisahan tinta dari kertas koran). Dampak pencemaran pada tanah diantaranya adalah menurunnya tingkat kesuburan dan bagi tanaman akan terhambat pertumbuhannya. Agar tanah yang tercemar limbah logam Pb dan Cd dapat dimanfaatkan, salah satunya adalah dengan penggunaan tanaman

hiperakumulator (dalam penelitian ini tanaman yang digunakan adalah *Amaranthus tricolor* dan *Pennisetum purpureum*) yang diharapkan mampu menyerap logam Pb dan Cd, sehingga kadar logam Pb dan Cd di dalam tanah menurun. Berdasarkan pada hal tersebut, maka didapat tiga rumusan masalah, yaitu:

1. Bagaimana interaksi logam Pb dan Cd pada tanaman hiperakumulator (*Amaranthus tricolor* dan *Pennisetum purpureum*)?
2. Tanaman apa yang paling efektif dan memiliki kemampuan yang paling besar dalam menyerap logam Pb dan Cd?

2.4 Hipotesis

1. Tanah tercemar logam Pb dan Cd berpengaruh positif pada pertumbuhan bayam (*Amaranthus tricolor*) dan rumput gajah (*Pennisetum purpureum*).
2. Bayam (*Amaranthus tricolor*) dan rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) dalam proses fitoremediasi mampu menurunkan kadar logam Pb dan Cd dalam tanah.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui kemampuan tanaman bayam (*Amaranthus tricolor*) dan rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) dalam menyerap logam Pb dan Cd.
2. Untuk mengetahui jenis tanaman yang paling efektif dalam menyerap logam Pb dan Cd berdasarkan nilai BAF (*Bioaccumulation Factor*).

1.4 Manfaat

Hasil dari penelitian ini diharapkan memberi manfaat untuk:

1. Dapat memanfaatkan atau menggunakan tanaman-tanaman yang sering dianggap gulma menjadi tanaman yang berguna dan bermanfaat dalam memperbaiki lingkungan terutama di lahan pertanian.
2. Dapat digunakan sebagai rekomendasi di daerah yang tercemar oleh logam Pb dan Cd sehingga lahan tersebut lebih sehat dan lebih produktif lagi.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Semakin berkembangnya zaman semakin banyak industri-industri yang didirikan untuk membentuk suatu produk yang baru dan inovatif. Mulai dari industri tekstil, industri elektronik, industri kertas maupun industri yang berbahan tambang. Semua kegiatan-kegiatan tersebut tentunya menghasilkan limbah yang dapat mencemari lingkungan termasuk air dan tanah.

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 Kandungan Logam Berat dalam Tanah Secara Alamiah

Logam Metal	Kandungan dalam tanah (Rata-rata, mg/kg) Content on soil (Average, mg/kg)
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 & Peterson (1995).

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.

Subowo et al., dalam 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. Penelitian Garber dalam Onggo (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 diakibatkan karena logam Pb menutupi stomata yang mempunyai fungsi sebagai keluar masuknya O_2 dan CO_2 .

Novita dkk (2012) menyatakan bahwa terjadi penurunan kadar klorofil total *Eloдея 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 (Singh, dalam Novita dkk, 2012) 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 (Brass dan Strauss, dalam Sembiring dan Sulistyowati, 2006). Pengaruh efek negatif yang

ditimbulkan logam Pb yang terakumulasi pada tanaman yang pada tanaman yang dapat dikonsumsi oleh manusia, penyakit kanker yang ditimbulkan dan kelainan pada generasi berikutnya dapat terjadi akibat mutasi gen.

2.1.2 Logam Cd

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 (Wagner, dalam Liong dkk. 2009). Karena selektivitasnya yang rendah tanaman dapat menyerap sekaligus mengakumulasi Cd yang jika berlebih dapat mengakibatkan reduksi pertumbuhan, dan kematian tanaman (Barcelo and 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 Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah salah satu upaya untuk mengurangi kerusakan tanah akibat tingginya akumulasi logam berat dengan memanfaatkan tanaman yang dapat menyerap logam berat (Thamrin dkk dalam 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 metode 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. (Kelly, dalam Sukakusumah, 2012). Fitoekstraksi merupakan penyerapan polutan oleh tanaman dari air atau tanah dan kemudian diakumulasi/disimpan di dalam 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 Priyanto dan Prayitno dalam 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 Fitter dan Hay dalam 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 (Kurniawan, dalam Estuningsih dkk, 2013).

2.3 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 (Priyanto & Prayitno dalam 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 *et al.*, 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 (Brown *et al*, dalam 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, dan
3. Tumbuhan memiliki laju translokasi logam berat dari akar ke tajuk yang tinggi sehingga akumulasinya pada tajuk lebih tinggi dari pada akar.

Tanaman-tanaman yang memiliki kemampuan atau sifat-sifat seperti diatas banyak di temui pada tanaman *Gramine* atau suku *Poaceae* seperti *Pennisetum purpureum*, tanaman bayam-bayaman dan lain-lain.

2.3.1 Tanaman Bayam

Dalam sistematika tumbuhan (taksonomi), tanaman bayam diklasifikasikan sebagai berikut Tjitrosoepomo, (1985):

Kingdom : Plantae
Divisi : Spermatophyta
Sub Divisi : Angiospermae
Kelas : Dicotyledonae
Ordo : Caryophyllales
Famili : Amaranthaceae
Genus : Amaranthus
Species : *Amaranthus hybridus L*

Tanaman bayam termasuk semak, berbatang tegak, bentuk bulat, warna hijau kekuningan. Daun tunggal, berseling, bentuk bulat telur (ovatus), tepi rata (integer), ujung runcing (acutus), pangkal tumpul, warna hijau muda sampai hijau kekuningan. Perbungaan bentuk malai, melekat di ketiak daun, kelopak berbagi lima, mahkota bunga berwarna hijau keunguan. Buah batu, biji bulat, mengkilat, warna coklat kehitaman. Habitatnya tumbuh liar dan sebagai tanaman budidaya, sebagai sayuran, hidup pada tanah lembab.

Menurut Mohamad dalam Irsyad dkk (2014) tanaman bayam duri dapat meremediasi cadmium (Cd), dengan demikian tanaman bayam dapat dikatakan sebagai tanaman hiperakumulator yang mampu menyerap logam berat yang ada di dalam tanah.

Bayam duri (*Amaranthus spinosus*) adalah merupakan tumbuhan liar, yang mudah didapat dan tersedia dalam jumlah banyak, yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal, walaupun tanaman ini merupakan kelas bayam, namun dianggap merupakan tumbuhan gulma bagi tanaman lain. Akan tetapi tanaman bayam duri mempunyai komponen utama yang dapat digunakan yaitu protein sekitar 8,9 % dengan gugus amina (-NH₂), gugus karboksil(-COOH), juga gugus sulfidril (-SH) dan selulosa 53,10% dengan gugus hidroksil(-OH) sehingga bayam duri mempunyai reaktifitas kimia yang tinggi dan menyebabkan sifat poliektrolit kation sehingga dapat berperan sebagai absorben terhadap logam berat pada tanah yang tercemar. Bayam duri (*Amaranthus spinosus L.*) senyawa kimia lain spinasterol, hentriakontan, tanin, kalium nitrat, kalsium oksalat, garam fosfat,

zat besi, serta Vitamin (A, C, K dan piridoksin (B6) Moelyono M, dkk. dalam Mohammad (2013).

Di Nigeria, efek penggunaan pestisida terhadap kandungan Cd, Pb dan Cu pada 2 spesies bayam (merah dan hijau) telah diukur. Akumulasi tertinggi terdapat pada daun dibandingkan pada batang dan akar. Pada bayam merah, kandungan Cd, Pb dan Cu berturut-turut adalah 6,8 ; 1,4 ; 18,6 kali lebih tinggi daripada maksimum tingkat yang dapat ditoleransi yaitu 30, 300, dan 100 mg/g. Sedangkan pada bayam hijau, kandungan Cd dan Cu adalah 4,9 dan 14,7 kali lebih tinggi daripada maksimum tingkat yang dapat ditoleransi (Chiroma et al., 2007).

2.3.2 Tanaman Graminae atau Poaceae (Rumput Gajah)

Secara garis besar suku Poaceae terdiri atas tiga anak suku (sub famili), yaitu: Bambusoideae, Pooideae dan Panicoideae (Gilliland *et al.*, 1971). Tanaman ini banyak dibudidayakan atau tumbuh liar pada berbagai macam jenis tanah dan besarnya intersepsi cahaya mulai dari tempat terbuka hingga teduh, dan dari kondisi tanah lembab hingga kering.

Rumput secara umum termasuk dalam anak suku Panicoideae dan Pooideae (suku Poaceae), banyak ditanam atau tumbuh liar. Rumput merupakan tumbuhan yang dapat tumbuh dan hidup hampir di seluruh daerah terbuka atau terlindung baik di daerah tropis maupun sub tropis. Rumput mempunyai ciri tumbuh berumpun dan jarang soliter. Batang pada permukaan tanah merayap, beruas, stolon di bawah permukaan tanah menjalar, bagian dalam batang berongga atau masif, tidak berkayu, pada ruas-ruas sering tumbuh akar; daunnya tunggal, tersebar berseling, bentuknya bulat memanjang, lanset atau pita, tulang daun sejajar, permukaannya kadang-kadang berbulu, berpelepah, namun tidak bertangkai semu, bunga majemuk, bulir, tandan atau malai, umumnya terminal. Benang sari umumnya berjumlah 3 (Backer dan Backuizen van den Brink, 1968). Salah satunya adalah tanaman rumput gajah.

Rumput Gajah (*Pennisetum purpureum* Schumacher) memiliki taksonomi tanaman sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Divisi : Magnoliophyta
Kelas : Liliopsida
Ordo : Poales
Famili : Poaceae
Genus : Pennisetum
Spesies : *Pennisetum purpureum* Schumacher

Rumput gajah merupakan tumbuhan yang memerlukan hari dengan waktu siang yang pendek, dengan fotoperiode kritis antara 13-12 jam. Namun kelangsungan hidup serbuk sari sangat kurang sehingga menjadi penyebab utama dari penentuan biji yang lazimnya buruk. Disamping itu, kecambahnya lemah dan lambat. Oleh karenanya rumput ini secara umum ditanam dan diperbanyak secara vegetatif. Bila ditanam pada kondisi yang baik, bibit vegetatif tumbuh dengan cepat dan dapat mencapai ketinggian sampai 2-3 meter dalam waktu 2 bulan (Lesman, 2013).

Rumput gajah ditanam pada lingkungan hawa panas yang lembab, tetapi tahan terhadap musim panas yang cukup tinggi dan dapat tumbuh dalam keadaan yang tidak seberapa dingin. Rumput ini juga dapat tumbuh dan beradaptasi pada berbagai macam tanah meskipun hasilnya akan berbeda. Akan tetapi rumput ini tidak tahan hidup di daerah hujan yang terus menerus. Secara alamiah rumput ini dapat dijumpai terutama di sepanjang pinggiran hutan.

Beberapa spesies rumput-rumputan (*Poaceae*) telah diuji pula kemampuannya dalam mengakumulasi logam. *Panicum maximum* diketahui dapat mengakumulasi logam Cd sebesar 175 mg/kg dan *Zea mays* diketahui mengakumulasi logam Aluminium (Al) sebesar 107 mg/kg. Berdasarkan penelitian Sagita (2002) menyatakan bahwa famili *Poaceae* memiliki kemampuan mengkhelat logam dan membawanya ke dalam sel akar melalui proses transport aktif sehingga tidak menghambat metabolisme tanaman tersebut.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Juni sampai November 2014, yang dilakukan dengan tiga tahap, yaitu tahap pertama adalah analisis pendahuluan (analisis tanah, limbah dan pupuk guano) yang dilaksanakan di laboratorium kesuburan tanah serta identifikasi karakteristik dan pembibitan tanaman hiperakumulator (*Amaranthus tricolor* dan *Pennisetum purpureum*). Tahap kedua adalah tahap aplikasi yang akan dilakukan di *green house* Agrotechno Park, Universitas Jember. Tahap ketiga adalah tahap analisis hasil penelitian menganalisis tanah, nilai BAF dan jaringan tanaman di laboratorium kesuburan tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Jember, serta analisis kandungan logam Pb dan Cd.

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. Bayam (*Amaranthus tricolor*)
6. Rumput gajah (*Pennisetum purpureum*)

3.2.2 Alat Penelitian

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

3.3 Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan rancangan percobaan Split Plot rancangan acak kelompok (RAK) faktorial yang meliputi tanaman hiperakumulator (H), dan limbah kertas koran yang mengandung logam Pb dan Cd (L) dengan nilai ketepatan 95% dan dilanjutkan dengan uji Duncan pada taraf 5%. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali yaitu:

1. Faktor pertama atau main plot yaitu tanaman hiperakumulator yang terdiri dari:

T1 : Tanaman Rumput Gajah (*Pennisetum purpureum*)

T2 : Tanaman Bayam (*Amaranthus tricolor*)

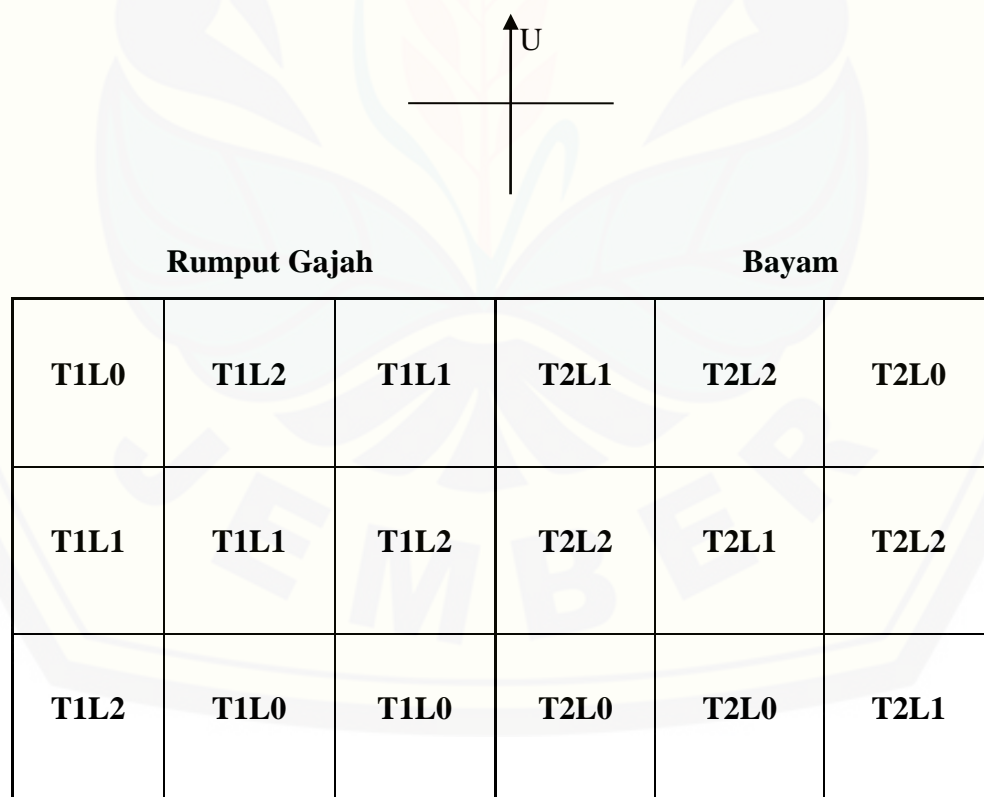
2. Faktor kedua sub plot yaitu dosis logam Pb dan Cd yang terdiri dari:

L0 : Dosis limbah 0 gram

L1 : Dosis limbah 1400 kg = 1 mg/kg Cd

L2 : Dosis limbah 1260 kg = 2 mg/kg Pb

Sehingga didapat kombinasi perlakuan dengan urutan:



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.

Tabel 3.1 Metode analisis tanah yang digunakan

Parameter	Metode
Analisis pH total	-
Analisis N total	Kjedahl
Analisis P tersedia	Bray I
Analisis K total	-
Analisis C-organik	Curmis
Analisis Pb total	Metode AOAC
Analisis Cd total	Metode AOAC

3.4.1.2 Analisis Limbah Koran

Limbah yang digunakan adalah limbah kertas koran yang diidentifikasi dengan menganalisis kandungan unsur Pb dan Cd. Berikut ini rencana analisis limbah koran:

Tabel 3.2 Metode analisis limbah yang digunakan

Parameter	Metode
Analisis Pb total	Metode AOAC
Analisis Cd total	Metode AOAC

3.4.1.3 Analisis Pupuk Guano

Pupuk guano yang dijadikan pupuk dasar ini terlebih dahulu dianalisis kandungan N, P, dan K.

Tabel 3.3 Metode analisis guano yang digunakan

Parameter	Metode
Analisis N	Kjedahl
Analisis P Tersedia	Bray
Analisis K	-

3.4.2 Tahap Pra Tanam

3.4.2.1 Tahap Persiapan Tanaman Hiperakumulator

Tahap ini dilakukan untuk mempersiapkan tanaman-tanaman hiperakumulator yaitu dengan membibitkan terlebih dahulu tanaman rumput gajah (*Pennisetum purpureum*). Proses pembibitan tanaman rumput ini dilakukan di lahan pembibitan dengan luas lahan 6x3 meter. Penanaman rumput gajah yaitu dengan menanam buku-buku dari tiap ruas batang. Sementara untuk tanaman bayam menyiapkan benih yang langsung disemai pada saat tahap aplikasi di media.

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. Penentuan dosis dilakukan dengan menghitung jumlah limbah yang akan dicampur sesuai perlakuan.

3.4.2.3 Tahap Persiapan Tanah

Tahap ini dilakukan untuk mempersiapkan tanah yang akan digunakan sebagai media tanam dari penelitian. Tanah yang digunakan yaitu tanah yang berasal dari Agroteknopark Jubung. Tanah dikering-anginkan terlebih dahulu dan digemburkan. Dilakukan pengayakan dengan menggunakan ayakan yang berukuran 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 menutup rapat media. Kegiatan ini dilakukan agar tidak terjadi reaksi oksidasi serta untuk menghomogenkan media sehingga kondisi kimia didalam media tidak berubah.

3.4.3 Penanaman

Penanaman yaitu tanaman rumput gajah yang sudah siap transplanting dan penyemaian bibit bayam ke media yang telah diberi perlakuan. Media yang digunakan adalah campuran dari tanah, guano dan limbah kertas dengan berat 8,5 kg/polibag.

3.4.4 Pengamatan

Pengamatan yaitu dilakukan pengukuran tinggi tanaman dan warna daun dari masing-masing jenis tanaman hiperakumulator. Pengamatan dilakukan setiap satu minggu sekali. kedua parameter yang dilakukan pada saat proses aplikasi dilapang dapat membantu dalam pengamatan seberapa besar limbah Pb dan Cd dalam mempengaruhi pertumbuhan dan perubahan fisiologi tanaman hiperakumulator.

Tabel 3.4 Parameter selama di rumah kaca

Parameter	Metode	Waktu Pengamatan
Tinggi tanaman (rumput gajah)	Pengukuran	1 minggu sekali
Warna daun	Musell plant colour chart	1 minggu sekali

3.4.5 Tahap Analisis Hasil Penelitian

Tahap akhir dari penelitian ini adalah analisis hasil penelitian yang dilakukan di rumah kaca. Setelah tanaman hiperakumulator dipanen, selanjutnya dianalisis jaringan tanamannya, berat basah, berat kering tanaman, analisis tanah dan perhitungan BAF sebagai indikator kemampuan tanaman dalam menyerap logam Pb dan Cd.

3.4.5.1 Analisis Tanah Setelah Percobaan

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

Tabel 3.5 Metode analisis tanah yang digunakan

Parameter	Metode
Analisis pH total	Metode pH meter
Analisis Pb total	Metode AOAC
Analisis Cd total	Metode AOAC

3.4.5.2 Analisis Berat Basah dan Berat Kering Tanaman

Berat basah dan berat kering tanaman dianalisis dengan mengambil bagian atas tanaman. Berat basah tanaman diukur setelah tanaman dipanen dan dibersihkan dari sisa kotoran dan tanah. Berat kering tanaman dihitung setelah tanaman dikeringkan dalam oven.

3.4.5.3 Analisis Jaringan Tanaman

Tanaman hiperakumulator dilakukan analisis jaringan tanaman dengan tujuan untuk mengetahui penyerapan logam Pb dan Cd. Hasil analisis dapat digunakan untuk perhitungan nilai *Bioaccumulation Factor* (BAF).

Tabel 3.6 Metode analisis jaringan tanaman yang digunakan

Parameter	Metode
Analisis serapan Pb	Metode AAS
Analisis serapan Cd	Metode AAS

3.4.5.4 Perhitungan Nilai *Bioaccumulation Factor* (BAF)

Bioaccumulation 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 tingkat pencemarannya. Nilai BAF dapat dihitung dengan rumus:

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

Keterangan: C_{pt} = konsentrasi logam berat di jaringan tanaman

C_s = konsentrasi logam berat di dalam tanah



BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Analisis Pendahuluan

Analisis pendahuluan dilakukan terhadap bahan yang diperlakukan yaitu tanah, limbah kertas koran dan guano. Hasil analisis pendahuluan yang dilakukan terhadap 3 komponen tersebut didapat sebagai berikut.

4.1.1 Hasil Analisis Inceptisol

Tanah yang digunakan, dianalisis terlebih dahulu agar diketahui nilai unsur hara yang terkandung didalamnya, berikut hasil analisis tanah sebelum diaplikasikan.

Tabel 4.1 Kandungan Unsur Hara dan Logam Toksik Inceptisol

Parameter	Metode	Hasil Analisis	Harkat (*)
pH H ₂ O	pH meter	6,09	Agak masam
N total (%)	Kjedahl	0,14	Sangat tinggi
P ₂ O ₅ tersedia (mg/kg)	Bray I	10,4	Sedang
K ₂ O (mg/kg)	AAS	18,0	Rendah
C-organik (%)	Curmis	0,8	Rendah
Pb (mg/kg)	AOAC	3,05	Tinggi
Cd (mg/kg)	AOAC	0,55	Tinggi

Keterangan (*): Balai Penelitian Tanah, 2005.

Berdasarkan hasil analisis pendahuluan tanah inceptisol (Table 4.1) menunjukkan sifat-sifat kimia tanah antara lain pH tanah, N total, P₂O₅, K₂O, C-organik, logam Pb dan logam Cd. pH tanah inceptisol memiliki nilai 6,09 (agak asam). Kandungan N total tanah inceptisol sebesar 0,14% (sangat tinggi) yang dapat membantu pertumbuhan fase vegetatif tanaman yang digunakan untuk percobaan. P₂O₅ yang terkandung yaitu 10,4 mg/kg (sedang). Nilai K₂O sebesar 18,0 mg/kg (rendah). C-organik tanah sebesar 0,8% (rendah). Logam Pb memiliki kadar 3,05 mg/kg (tinggi) dan kadar logam Cd sebesar 0,55 mg/kg (tinggi). Kadar kedua jenis logam (Pb dan Cd) melebihi ambang batas di dalam tanah (ambang batas Pb = 1 mg/kg dan batas ambang Cd = < 1 mg/kg). Kandungan kedua logam

berat tersebut sangat mengganggu terhadap pertumbuhan tanaman dan kesehatan tanah sendiri.

4.1.2 Hasil Analisis Limbah Tercemar Logam Pb dan Cd

Limbah yang digunakan merupakan limbah padat pabrik kertas PT. Adiprima Krian – Sidoarjo. Limbah dianalisis kadar logam Pb dan Cd untuk diketahui tingkat toksisitas limbah yang akan digunakan. Berikut hasil analisis limbah:

Tabel 4.2 Kandungan Logam Berat Asal Limbah Pabrik Kertas PT. Adiprima

Parameter	Metode	Hasil Analisis	Satuan	Ambang batas
Pb	AOAC	15,45	mg/kg	1 mg/kg
Cd	AOAC	7,05	mg/kg	< 1 mg/kg
pH	pH meter	7,68	-	Basa/Alkali

Berdasarkan hasil analisis pendahuluan kandungan logam Pb, Cd dan pH limbah kertas (Tabel 4.2) menunjukkan kadar logam Pb dan Cd memiliki kandungan sebesar 15,45 mg/kg dan 7,05 mg/kg. Kadar kedua logam sangat mencemari lingkungan terutama mencemari tanah. Jika tanah tercemar oleh dua jenis logam berat (Pb dan Cd) ditanami, akan meracuni tanaman seperti salah satunya menghambat pertumbuhan tinggi tanaman. pH limbah mencapai 7,68 yang merupakan limbah dalam keadaan basa/alkali.

4.1.3 Hasil Analisis Pupuk Guano

Pupuk guano yang digunakan berasal dari Mataram – Nusa Tenggara Timur. Pupuk guano dianalisis secara lengkap, hasil analisis pendahuluan pupuk guano sebagai berikut (Tabel 4.3).

Tabel 4.3 Kandungan Unsur Hara dan Logam Toksik pada Pupuk Guano

Parameter	Metode	Hasil Analisis	Harkat (*)
N total (%)	Kjedahl	3,11	Rendah
P total (mg/kg)	-	3,18	Sangat rendah
K total (mg/kg)	AAS	7,21	-
C-organik (%)	Curmis	9,0	-
Cd (mg/kg)	AOAC	0,5	Rendah
Pb (mg/kg)	AOAC	1,5	Sangat rendah
pH H ₂ O (-)	pH meter	5,6	Agak masam

Keterangan (*): Balai Penelitian Tanah, 2005.

Berdasarkan hasil analisis pendahuluan kandungan kimia pupuk guano (Tabel 4.3) menunjukkan bahwa N total memiliki nilai 3,11% (rendah). P total yang terkandung 3,18 mg/kg (sangat rendah). K total yang terkandung yaitu 7,21 mg/kg. C-organik yang terkandung 9,0%. Guano memiliki pH sebesar 5,6 (agak masam). Nilai keadaan kimia yang rendah dipengaruhi oleh keadaan pH yang rendah dan pada dasarnya, kandungan unsur makro pupuk organik memang sangat kecil tetapi memiliki fungsi yang lebih lengkap.

Pupuk guano yang digunakan mengandung logam berat Pb dan Cd. Kadar logam Pb dan Cd dalam guano yaitu 1,5 mg/kg dan 0,5 mg/kg. Nilai kadar kedua jenis logam tersebut sangat rendah untuk kandungan pupuk organik.

4.2 Rangkuman Hasil Sidik Ragam Parameter Pengamatan

Rangkuman hasil sidik ragam dari parameter pengamatan disajikan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 4.4 Rangkuman Sidik Ragam Parameter Pengamatan

No	Parameter Pengamatan (satuan)	F-Hitung		
		Faktor Tanaman (T)	Faktor Limbah (L)	Interaksi T x L
1.	Kadar Pb Tanah (mg/kg)	0,25 ns	20,32 **	0,16 ns
2.	Kadar Cd Tanah (mg/kg)	0,25 ns	8,91 **	1,27 ns
3.	pH Tanah (-)	1,78 ns	224,00 **	1,87 ns
4.	Kadar Pb Tanaman (mg/kg)	4,00 ns	2,63 ns	0,87 ns
5.	Kadar Cd Tanaman (mg/kg)	0,57 ns	0,42 ns	0,27 ns
6.	Serapan Pb (mg/kg)	20,16 *	6,37 *	1,57 ns
7.	Serapan Cd (mg/kg)	93,86 *	1,59 ns	0,71 ns
8.	Berat Kering (gram)	535,87 **	1,18 ns	0,45 ns
9.	Tinggi Tanaman (cm)	7139,46 **	3,36 ns	5,15 *

Keterangan : (**) berbeda sangat nyata; (*) berbeda nyata; (ns) berbeda tidak nyata.

Berdasarkan rangkuman sidik ragam (Tabel 4.4) sembilan parameter menunjukkan bahwa:

1. Parameter kadar logam Pb, Cd tanah, pH tanah, dan serapan Pb menunjukkan pengaruh yang berbeda nyata pada faktor limbah (L), karena ada penambahan dosis limbah yang mengandung logam Pb dan Cd.
2. Parameter serapan Pb dan serapan Cd berbeda nyata serta pada parameter berat kering dan tinggi tanaman menunjukkan pengaruh yang berbeda nyata pada faktor tanaman (T), karena penggunaan dua jenis tanaman berbeda.
3. Satu parameter yang menunjukkan interaksi, yaitu pada tinggi tanaman. Tinggi tanaman menunjukkan interaksi karena kedua jenis tanaman merespon terhadap dosis limbah yang diberikan.

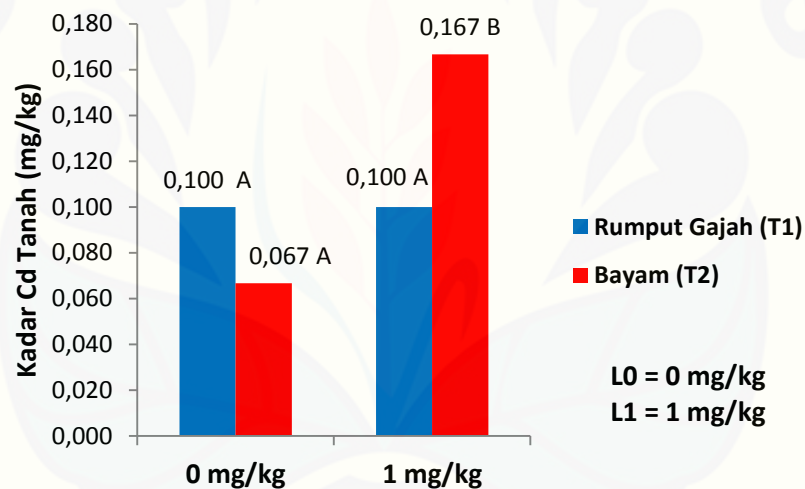
4.3 Pengaruh Penambahan Limbah terhadap Beberapa Sifat Kimia Tanah

Penambahan limbah kertas yang berasal dari Pabrik Kertas PT. Adiprima memberikan pengaruh terhadap keadaan atau sifat kimia tanah, antara lain kadar logam Cd, Pb dan nilai pH tanah.

4.3.1 Kadar Logam Cd

Media tanam yang digunakan memiliki kadar logam Cd dan Pb yang berasal dari tanah, limbah kertas, dan guano. Total kadar logam Cd yang ada di media penelitian yaitu $\pm 2,05$ mg/kg, jumlah kadar logam Cd berasal dari dalam tanah, limbah dan guano (Tabel 4.1, dosis limbah L1, dan Tabel 4.3). Nilai kadar logam Cd yang ada di dalam tanah merupakan nilai yang melebihi ambang batas (< 1 mg/kg) yang ada di dalam tanah, dengan kata lain kadar Cd sangat tinggi dan sangat mencemari media tanam.

Hasil sidik ragam kadar logam Cd tanah setelah percobaan (Tabel 4.4) menunjukkan tidak ada interaksi antara tanaman (T) dengan limbah (L) sedangkan pada faktor limbah (L) menunjukkan pengaruh yang berbeda sangat nyata. Berikut hasil uji lanjut Duncan 5% kadar logam Cd dalam tanah.



Gambar 4.1 Hasil Analisis Kadar Cd di dalam tanah

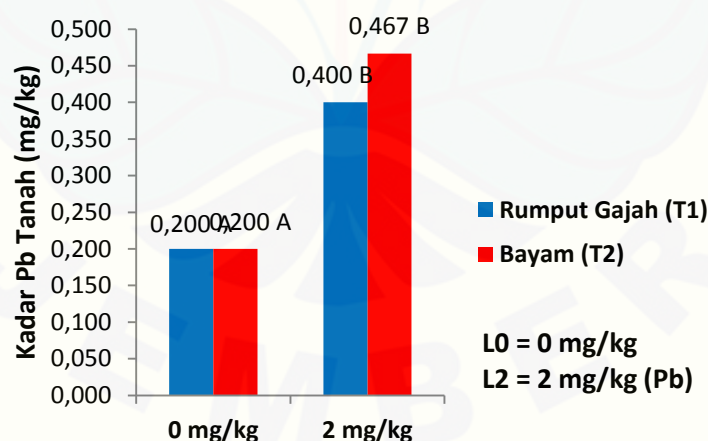
Berdasarkan hasil uji lanjut kadar Cd dalam tanah (Gambar 4.1), perlakuan rumput gajah (T1) berbeda tidak nyata antara kontrol (L0) dengan limbah 1 mg/kg Cd (L1) karena kadar logam Cd yang tersisa memiliki jumlah yang sama yaitu 0,100 mg/kg. Sisa nilai kadar logam Cd yang sama (L0 dan L1) pada tanaman rumput gajah (T1) disebabkan pada perlakuan kontrol (L0) sudah memiliki kadar logam Cd yang cukup besar yang berasal dari tanah dan guano (Tabel 4.1 dan Tabel 4.3). Sedangkan pada perlakuan bayam (T2) menunjukkan pengaruh yang berbeda nyata antara L0 dengan dosis limbah L1. L1 memiliki sisa kadar logam

Cd yang lebih banyak dibandingkan dengan L0, karena pada L1 ada penambahan limbah yang mengandung kadar logam Cd sebesar 1 mg/kg. Semakin besar konsentrasi logam Cd dalam tanah semakin tinggi kadar yang tersisa pada tanah yang telah ditanami.

Kadar Cd dalam tanah dipengaruhi oleh reaksi tanah dan fraksi-fraksi tanah yang bersifat mengikat ion Cd. Dengan peningkatan pH kadar Cd dalam fase larutan menurun akibat meningkatnya reaksi hidrolisis, kerapatan kompleks adsorpsi dan muatan yang dimiliki koloid tanah.

4.3.2 Kadar Logam Pb

Kadar logam Pb yang ada di media percobaan yaitu $\pm 6,55$ mg/kg, jumlah kadar logam Pb berasal dari dalam tanah, limbah dan guano (Tabel 4.1, dosis limbah L2, dan Tabel 4.3). Nilai kadar logam Pb yang ada di dalam tanah tersebut sangat tinggi dan sangat mencemari tanah (maksimal 1 mg/kg). Hasil sidik ragam kadar logam Pb tanah setelah percobaan (Tabel 4.4) menunjukkan tidak ada interaksi (T x L), sedangkan pada faktor limbah (L) menunjukkan pengaruh yang berbeda sangat nyata. Berikut hasil uji lanjut Duncan 5% kadar logam Pb dalam tanah.



Gambar 4.2 Hasil Analisis Kadar Pb dalam tanah

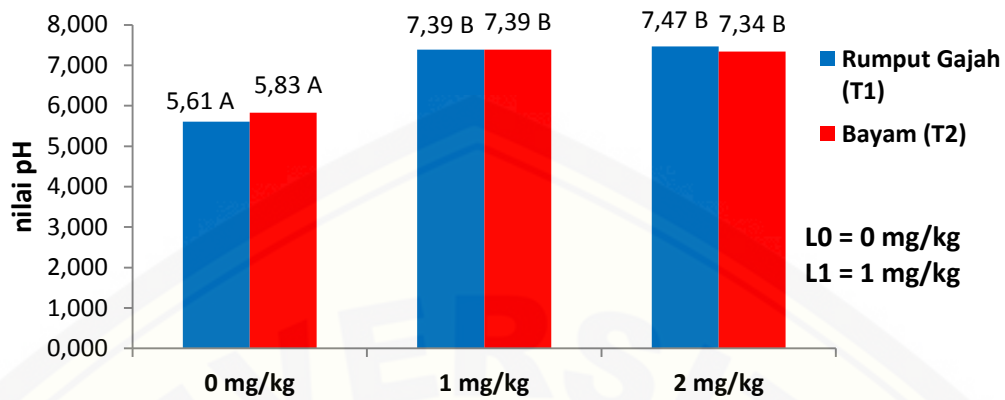
Berdasarkan hasil uji lanjut kadar Pb dalam tanah (Gambar 4.2), perlakuan rumput gajah (T1L0) dengan kadar Pb 0,20 mg/kg menunjukkan berbeda nyata dengan perlakuan T1L2 dengan kadar Pb 0,40 mg/kg. Perlakuan bayam (T2L0)

dengan kadar Pb 0,20 mg/kg juga menunjukkan berbeda nyata pada perlakuan bayam (T2L2) dengan kadar Pb 0,47 mg/kg. Sisa kadar logam Pb pada dosis limbah L2 yang lebih besar dari L0 dipengaruhi oleh penambahan limbah yang mengandung 2 mg/kg kadar logam Pb. Setiap penambahan dosis limbah yang mengandung kadar logam Pb, kadar Pb yang tersisa di dalam tanah yang telah ditanami mengalami kenaikan. Lagerwerf (1972) mengatakan bahwa pH dan KTK berpengaruh dalam imobilisasi Pb dan dalam proses ini bahan organik sangat berperan daripada pengendapan dalam bentuk karbonat atau oksida-oksida hidrat. Sisa kadar logam Pb setelah tanaman memiliki nilai di bawah ambang batas yang ada di dalam tanah (Tabel 4.2) dan aman untuk aktifitas pertanian.

Gambar 4.2 menunjukkan kadar logam Pb dalam tanah mengalami penurunan setelah ditanami. Menurut (Triastuti, 2011) penurunan kadar Pb dalam tanah juga karena disebabkan oleh kemampuan Pb sebagai jenis logam berat yang mampu menguap ke atmosfer, di mana polutan Pb dari dalam tanah yang diserap oleh tanaman bayam ditransformasikan dan dikeluarkan dalam bentuk uap air ke atmosfer dalam proses transpirasi tanaman.

4.3.3 Nilai pH Tanah

Penambahan limbah mempengaruhi keadaan pH tanah. pH tanah pada semua perlakuan menunjukkan nilai pH tanah yang meningkat. Walaupun nilai pH tanah meningkat, tetapi tanaman (T) dan dosis limbah (L) tidak menunjukkan adanya interaksi, sedangkan pada faktor limbah (L) mempunyai pengaruh yang berbeda sangat nyata pada hasil analisis sidik ragam (Tabel 4.4). Perubahan pH tanah pada masing-masing perlakuan dapat dilihat pada tabel berikut.



Gambar 4.3 Hasil Analisis pH di dalam Tanah

Penggunaan tanaman rumput gajah (T1) pada perlakuan T1L0 mempunyai nilai pH tanah yang berbeda nyata terhadap T1L1 dan T1L2. Penggunaan tanaman bayam (T2) pada perlakuan T2L0 juga mempunyai pengaruh pH tanah yang berbeda nyata terhadap T2L1 dan T2L2. Naiknya pH media dipengaruhi oleh pH limbah yang bersifat basa (Tabel 4.2). Nilai pH tanah yang tinggi dapat merubah logam timbal (Pb) dan kadmium (Cd) menjadi senyawa yang mengendap sehingga logam Pb dan Cd sedikit ataupun tidak dapat diserap oleh tanaman. Penyerapan timbal dan kadmium oleh tanaman melalui akar hanya terjadi apabila timbal dan kadmium yang terdapat di dalam tanah berbentuk senyawa yang larut di dalam air. Sementara perbedaan jenis tanaman (rumput gajah dan bayam) tidak berbeda nyata pengaruhnya terhadap perubahan nilai pH tanah. Media yang terlalu asam maupun terlalu basa akan mencegah tanaman menyerap nutrisi dalam media meskipun unsur hara tersedia

4.4 Hubungan antara Logam dalam Limbah dan Serapan Tanaman

4.4.1 Hubungan antara Logam Cd dalam Limbah dan Serapan Tanaman

Cd (kadmium) dalam jumlah tertentu dapat menjalankan peran fisiologi tanaman, akan tetapi dalam jumlah yang banyak dapat meracuni tanaman. Penggunaan tanaman rumput gajah dan bayam diharapkan mampu menyerap logam Cd yang terkandung di dalam tanah. Hasil sidik ragam sisa kadar logam Cd jaringan (Tabel 4.4) menunjukkan tidak ada interaksi antara tanaman (T) dengan

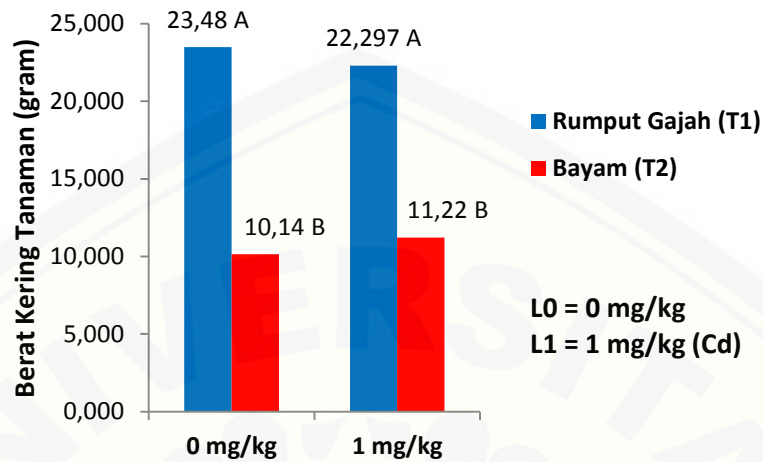
dosis limbah (L). Berdasarkan hasil uji lanjut kadar logam Cd yang ada di dalam tanaman menunjukkan pengaruh yang berbeda tidak nyata pada jenis tanaman yang sama rumput gajah (T1) dan bayam (T2) pada semua perlakuan antar limbah (L0 dan L1). Semua perlakuan antar tanaman, rumput gajah (T1) dan bayam (T2) menunjukkan pengaruh berbeda tidak nyata pada dosis limbah yang sama (L0 dan L1). Kecilnya nilai kadar logam Cd yang terkandung di dalam jaringan tanaman dan tidak berbeda kandungannya pada jenis tanaman yang berbeda dapat disebabkan adanya pengaruh khelasi yang disebabkan oleh pupuk guano. Hal ini diperkuat oleh Isrun (2009) selain sebagai sumber bahan organik, pupuk guano merupakan sumber fosfat alami yang memiliki fungsi ganda, yaitu sebagai pupuk organik dan agen pengkhat.

Hasil analisis kadar logam Cd dalam jaringan berpengaruh pada hasil analisis serapan logam Cd yang didapat. Namun, Hasil sidik ragam serapan Cd (Tabel 4.4) menunjukkan tidak ada interaksi antara tanaman (T) dengan dosis limbah (L) sedangkan pada faktor tanaman (T) menunjukkan pengaruh yang berbeda nyata. Seperti pada kadar logam Cd, berdasarkan hasil uji lanjut serapan logam Cd menunjukkan semua perlakuan antar limbah (L0 dan L1) memiliki pengaruh yang berbeda tidak nyata pada jenis tanaman yang sama, rumput gajah (T1) dan bayam (T2). Semua perlakuan antar tanaman, rumput gajah (T1) dan bayam (T2) juga menunjukkan pengaruh berbeda tidak nyata pada dosis limbah yang sama (L0 dan L1).

Kemampuan serapan Cd tergantung oleh jenis tanaman dan sifat fisiologinya. Mekanisme serapan Cd yaitu akar memindahkan logam Cd ke bagian pucuk melalui jalur transpirasi tanaman (xylem), penyerapan ion ke dalam akar tanaman melalui dua cara yaitu aliran massa, ion dalam air bergerak menuju akar oleh transpirasi serta difusi, pengambilan ion pada permukaan akar dihasilkan oleh perbedaan konsentrasi.

Selain itu, besarnya serapan logam Cd dipengaruhi oleh berat kering tanaman yang dihasilkan. Hasil sidik ragam serapan Pb (Tabel 4.4) menunjukkan tidak ada interaksi antara tanaman (T) dengan dosis limbah (L) sedangkan pada

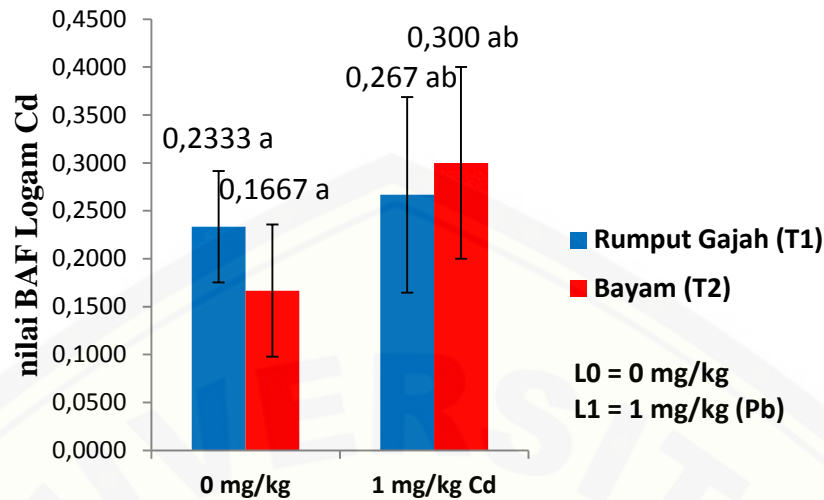
faktor tanaman (T) menunjukkan pengaruh yang berbeda sangat nyata. Berikut hasil uji lanjut Duncan 5% berat kering tanaman.



Gambar 4.4 Berat Kering Tanaman pada Media yang Tercemar Limbah logam Cd

Berdasarkan hasil uji lanjut berat kering tanaman (Gambar 4.4) menunjukkan pengaruh yang berbeda nyata pada faktor tanaman dapat dibuktikan dengan berat kering rumput gajah (T1) memiliki pengaruh yang berbeda nyata terhadap bayam (T2). Pada perlakuan rumput gajah (T1L0) dengan berat 23,48 gram berbeda nyata dengan perlakuan bayam (T2L0) dengan berat 10,14 gram pada perlakuan tanpa penambahan limbah yang mengandung logam (L0). Perlakuan rumput gajah (T1L1) dengan berat 22,29 gram juga berbeda nyata dengan perlakuan bayam (T2L1) dengan berat 11,22 pada penambahan limbah 1 mg/kg Cd (L2). Berat kering tanaman tidak dipengaruhi oleh penambahan limbah yang mengandung logam Cd melainkan dipengaruhi oleh jenis tanaman yang digunakan, karena secara morfologi dan proses fisiologi kedua jenis tanaman sangat berbeda, sehingga biomassa kering yang dihasilkan juga berbeda.

Kadar logam Cd yang ada di jaringan tanaman dan kadar Cd yang ada di dalam tanah dapat digunakan untuk menghitung BAF (*Bio Acumulation Factor*) dari masing-masing tanaman. Gambar nilai BAF logam Cd dapat dilihat pada Gambar 4.5.



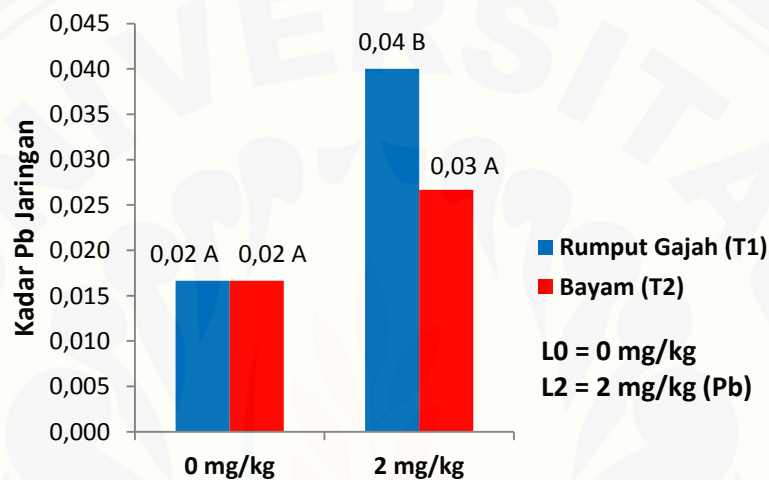
Gambar 4.5 Nilai BAF Logam Cd pada Tanaman Rumput Gajah dan Bayam

Kemampuan tanaman menyerap logam berat dari dalam tanah dievaluasi dengan nilai BAF (*Bio Accumulation Factor*). akumulasi logam dalam tanaman tergantung pada kandungan logam dalam tanah, pH tanah, dan spesies tanaman. Nilai BAF digunakan untuk mengetahui kemampuan tanaman dalam mengakumulasi logam dari tanah ke bagian tubuh tanaman. Gambar 4.1 menunjukkan bahwa nilai BAF logam Cd pada perlakuan tanpa penambahan dosis limbah (0 mg/kg) pada tanaman rumput gajah (T1) lebih besar yaitu 0,233 dibandingkan dengan 0,167 yang dimiliki oleh bayam (T2). Sementara pada perlakuan penambahan dosis limbah 1 mg/kg logam Cd menunjukkan nilai yang berbanding terbalik, dimana tanaman rumput gajah (T1) memiliki nilai BAF yang lebih kecil yaitu 0,267 dibandingkan tanaman bayam yang memiliki nilai BAF 0,300. Nilai akumulasi kadar logam Cd yang dihasilkan oleh tanaman bayam dua kali lebih besar dari kondisi yang tidak dicemari. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa bayam lebih efektif dalam mengakumulasi logam Cd dibandingkan rumput gajah.

4.4.2 Hubungan antara Logam Pb dalam Limbah dan Serapan Tanaman

Salah satu logam berat yang banyak mencemari lahan-lahan pertanian adalah timbal (Pb). Pencemaran logam Pb pada lingkungan (air, udara dan tanah)

menyebabkan timbal (Pb) disebut sebagai *non essential trace element* yang paling tinggi kadarnya. Logam timbal merupakan logam yang sangat rendah daya larutnya bersifat pasif, dan mempunyai daya translokasi yang rendah mulai dari akar sampai organ tumbuhan lainnya. Hasil sidik ragam kadar logam Pb dalam jaringan (Tabel 4.4) menunjukkan tidak ada interaksi antara tanaman (T) dengan dosis limbah (L). Berikut hasil uji lanjut Duncan 5% kadar logam Pb yang ada pada jaringan tanaman.

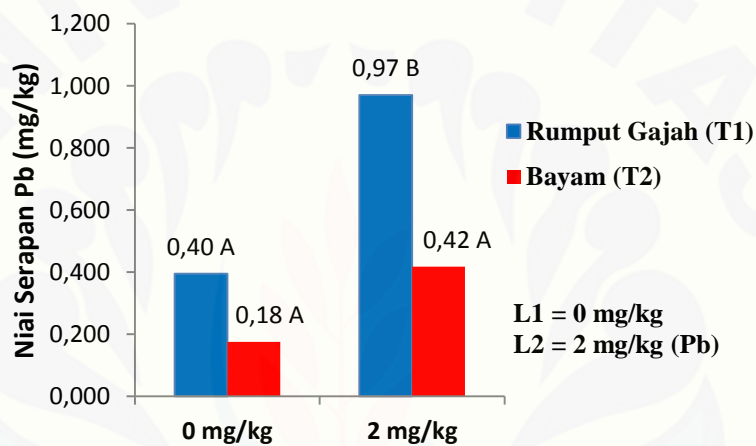


Gambar 4.6 Analisis Kadar Pb dalam Jaringan Tanaman

Berdasarkan hasil uji lanjut kadar Pb dalam jaringan tanaman (Gambar 4.6), menunjukkan kadar logam Pb pada jaringan tanaman berbeda nyata antara perlakuan T1L0 dengan T1L2 pada tanaman rumput gajah. Sisa kadar logam Pb dalam jaringan meningkat, hal ini dikarenakan adanya penambahan dosis limbah 2 mg/kg (L2). Kadar logam Pb yang ada di dalam jaringan sebelum dilakukan penambahan memiliki kadar logam yang terekstrak sebesar 0,02 mg/kg. Setelah dilakukan penambahan limbah, kadar logam Pb meningkat menjadi 0,04 mg/kg. Artinya pada tanaman rumput gajah ada peningkatan kadar logam Pb yang terekstrak dalam jaringan saat penambahan limbah yang mengandung logam 2 mg/kg (L2). Sementara pada perlakuan bayam (T2L0) berbeda tidak nyata dengan perlakuan bayam (T2L2). Rendahnya kadar logam Pb yang terekstrak pada kedua jenis tanaman yang digunakan, membuktikan bahwa kadar Pb yang terekstrak dalam tubuh tanaman berjumlah atau dalam keadaan sedikit/rendah (Wild, 1993).

Timbal masuk ke jaringan tanaman dalam bentuk Pb^{2+} . Pb^{2+} berakibat menghambat pembentukan klorofil (Novita *et al*, 2012), mengganggu kerja enzim asam aminolevulinic yang berperan sebagai pensintesis klorofil.

Hasil analisis kadar logam Pb yang ada di dalam jaringan (Gamabar 4.6) berpengaruh terhadap besar rerata serapan logam Pb. Hasil sidik ragam serapan logam Pb (Tabel 4.4) menunjukkan tidak ada interaksi antara tanaman (T) dengan dosis limbah (L) sedangkan pada faktor tanaman (T) dan faktor limbah (L) menunjukkan pengaruh yang berbeda nyata. Berikut hasil uji lanjut Duncan 5% serapan logam Pb dari kedua jenis tanaman.



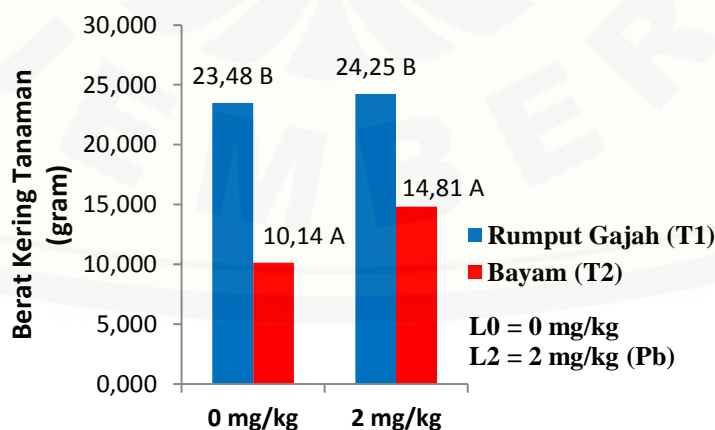
Gambar 4.7 Analisis Serapan Logam Berat Pb

Berdasarkan hasil uji lanjut serapan Pb (Gambar 4.7), perlakuan rumput gajah (T1L0) memiliki perbedaan serapan yang berbeda nyata dengan rumput gajah (T1L2). Penggunaan tanaman rumput gajah (T1) memiliki nilai serapan logam Pb sebesar 0,97 mg/kg dengan penambahan limbah logam Pb sebesar 2 mg/kg (L2) sedangkan pada perlakuan tanpa limbah (L0) mampu menyerap 0,40 mg/kg kadar logam Pb. Sementara pada bayam (T2L0) memiliki pengaruh yang berbeda tidak nyata dengan bayam (T2L2). Hal ini sama dengan kadar dalam jaringan (Tabel 4.9) yang menunjukkan pengaruh yang berbeda tidak nyata pada tanaman bayam walaupun jumlah serapan kadar logam Pb meningkat pada perlakuan penambahan limbah 2 mg/kg Pb (L2). Artinya pada penambahan limbah (L2) serapan kedua tanaman meningkat dibandingkan sebelum penambahan limbah/kontrol (L0). Liong dkk (2010) yang menyatakan bahwa

semakin tinggi tingkat konsentrasi logam Pb di dalam tanah, maka semakin tinggi tingkat penyerapan Pb pada tanaman.

Serapan Pb pada perlakuan rumput gajah (T1L0) tidak memiliki pengaruh yang nyata dengan perlakuan bayam (T2L0). Sedangkan serapan Pb pada perlakuan rumput gajah (T1L2) memiliki pengaruh yang berbeda nyata dengan perlakuan bayam (T2L2). Kemampuan serapan rumput gajah (T1) memiliki nilai 0,97 mg/kg yang lebih besar dibandingkan nilai serapan bayam (T2) yang memiliki nilai 0,42 mg/kg, artinya tanaman rumput gajah (T1) lebih efektif dan mampu menyerap lebih banyak logam Pb dari pada tanaman bayam (T2). Besarnya serapan logam Pb oleh rumput gajah dikarenakan rumput gajah memiliki kemampuan menyerap senyawa lebih besar dibandingkan tanaman bayam karena perbedaan morfologi. Menurut Antari dan Sandra (2002), terdapat perbedaan kadar Pb pada jenis tanaman yang berbeda. Selain itu, logam berat yang diserap oleh tanaman dapat dipengaruhi oleh luas daun dan tingkat defoliasi (bagian atas tanaman). Semakin banyak dan besar daun, maka semakin banyak kadar Pb yang terserap. Daun jarum lebih efektif dalam menyerap logam Pb dibandingkan tanaman berdaun lebar (Rachmawati, 2005).

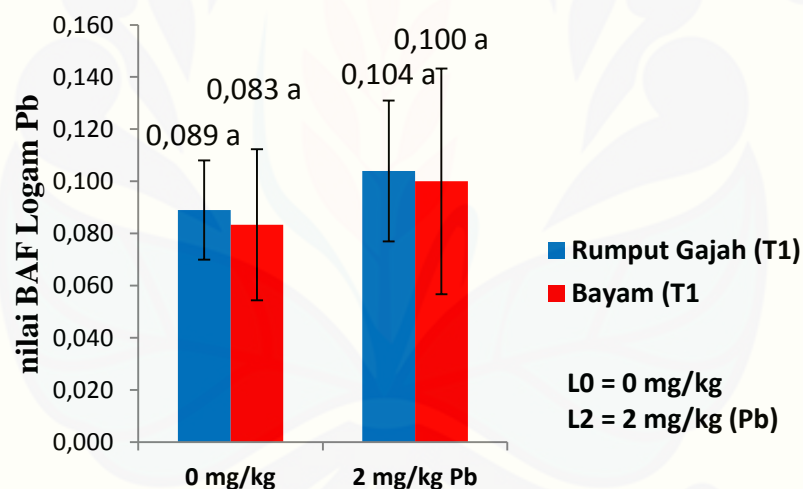
Selain kadar logam Pb jaringan tanaman (Gambar 4.6), besarnya serapan Pb dipengaruhi oleh berat kering tanaman. Hasil sidik ragam berat kering (Tabel 4.4) menunjukkan tidak ada interaksi antara tanaman (T) dengan dosis limbah (L), tetapi pada faktor limbah (L) menunjukkan pengaruh yang berbeda sangat nyata. Berikut hasil uji lanjut Duncan 5% berat kering kedua jenis tanaman.



Gambar 4.8 Berat Kering Tanaman pada Media yang Tercemar Limbah logam Pb

Berdasarkan hasil uji lanjut berat kering tanaman (Gambar 4.8), perlakuan rumput gajah (T1L0) dengan berat 23,48 gram berbeda nyata dengan perlakuan bayam (T2L0) dengan berat 10,14 gram pada perlakuan tanpa penambahan limbah (L0). Perlakuan rumput gajah (T1L2) dengan berat 24,25 gram juga berbeda nyata dengan perlakuan bayam (T2L2) dengan berat 14,81 gram pada penambahan limbah 2 mg/kg Pb (L2). Berat kering yang berbeda nyata ini dikarenakan jenis tanaman yang berbeda, hal ini dikuatkan dengan pernyataan (Purbajanti dkk, 2008) bahwa rumput gajah mempunyai batang lebih besar, sementara tanaman bayam hanya memiliki ukuran daun yang lebih lebar tetapi batangnya kecil.

Kadar logam Pb yang ada di jaringan tanaman (Gambar 4.6) dan Sisa kadar Pb yang ada di dalam tanah (Gambar 4.3) dapat digunakan untuk menghitung BAF (*Bio Accumulation Factor*) dari masing-masing tanaman. Berikut gambar dari nilai BAF logam Pb.



Gambar 4.9 Nilai BAF Logam Pb Tanaman Rumput Gajah dan Bayam

Akumulasi logam Pb dalam tanaman tergantung pada spesies tanaman. Nilai BAF merupakan ukuran seberapa besar suatu kontaminan diserap oleh tanaman terhadap besarnya kontaminan dalam tanah. Tanah yang mengandung bahan tercemar jika ditanami tanaman maka bahan pencemar dalam tubuh tanaman akan terakumulasi. Gambar 4.9 menunjukkan bahwa tanaman rumput gajah (T1) memiliki nilai BAF yang sedikit lebih besar dari pada tanaman bayam (T2) baik pada dosis limbah 0 mg/kg maupun pada dosis limbah 2 mg/kg logam

Pb. Sementara perlakuan antara L0 memiliki selisih yang lebih kecil daripada L2, karena pada L2 ada penambahan limbah sebesar 2 mg/kg Pb. Gambar 4.2 juga menunjukkan dengan penambahan dosis limbah yang mengandung logam Pb berpengaruh terhadap peningkatan keracunan tanaman terhadap logam Pb yang terekstrak di dalam tanaman. Penurunan nilai BAF sama dengan penurunan tingkat pencemaran dalam jaringan tanaman. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa tanaman rumput gajah mengakumulasi logam Pb lebih besar dibandingkan bayam. Artinya tanaman rumput gajah lebih efektif dalam mengakumulasi logam Pb dibandingkan dengan bayam.

4.5 Tinggi Tanaman

Tinggi tanaman merupakan parameter yang sangat mudah dilihat apabila suatu tanaman keracunan logam atau tidak selama pertumbuhan tanaman. Hasil sidik ragam serapan logam Pb (Tabel 4.4) menunjukkan ada interaksi antara tanaman (T) dengan dosis limbah (L). Berikut hasil uji lanjut Duncan 5% serapan logam Pb dari kedua jenis tanaman.

Tabel 4.5 Tinggi Tanaman 28 Hari Setelah Tanam

Tanaman	Limbah					
	L0 (cm)		L1 (cm)		L2 (cm)	
T1	86,722	A/a	70,056	A/a	65,722	B/a
T2	22,911	A/b	23,233	A/b	25,889	A/b

*Angka – angka yang diikuti dengan huruf yang sama berbeda tidak nyata pada Uji Duncan pada taraf kepercayaan 5%

*Huruf kapital untuk pembacaan secara horizontal, dan huruf kecil untuk pembacaan secara vertikal

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa rumput gajah merespon secara negatif dari dosis limbah yang diberi perlakuan, artinya rumput gajah keracunan dari limbah tersebut. Adanya kadar logam Cd dan Pb dalam jaringan tanaman yang dapat menghambat pembentukan klorofil dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Padmaja *et al.* (1990 dalam John *et al.* 2009) menyatakan bahwa kadmium dan timbal dapat menghambat sintesis klorofil dan fotosintesis pada tanaman sehingga dapat berakibat pada pengurangan pertumbuhan tanaman. Rata-rata tinggi

tanaman pada perlakuan 0 mg/kg dapat mencapai 86,722 cm. Pada perlakuan 1 mg/kg Cd (L1) tinggi tanaman menurun dengan rata-rata 70,056 cm, sedangkan pada perlakuan 2 mg/kg Pb (L2), tinggi tanaman tambah menurun dengan rata-rata 65,722 cm.

Tinggi tanaman bayam (T2) menunjukkan semakin tinggi dosis limbah, baik Cd (L1) maupun Pb (L2) tidak menghambat pertumbuhan tinggi tanaman bayam. Penambahan dosis limbah justru membantu dalam pertumbuhan tinggi tanaman. Tanaman yang diberi perlakuan limbah lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa pemberian limbah (0 mg/kg). Pada perlakuan 0 mg/kg memiliki tinggi rata-rata 22,911 cm, pada dosis limbah 1 mg/kg Cd (L1) memiliki tinggi rata-rata 23,233 cm. Pada perlakuan penambahan limbah 2 mg/kg Pb (L2) memiliki rata-rata tinggi tanaman sebesar 25,899 cm.

Perbedaan respon pertumbuhan tinggi tanaman oleh kedua jenis tanaman (rumput gajah dan bayam) terhadap penambahan dosis limbah, menunjukkan bahwa tanaman bayam lebih bisa menerima terhadap keadaan tanah yang dicemari dibandingkan rumput gajah yang menunjukkan gejala keracunan.

4.6 Warna Daun

Daun merupakan indikator dilapang yang dapat digunakan sebagai penentu seberapa parah tanaman mengalami keracunan yang dialami. Berikut ini adalah perubahan warna daun pada tanaman bayam dan rumput gajah yang telah diberi perlakuan dosis limbah yang mengandung logam.



Gambar 4.10 Warna Daun Rumput Gajah pada Media Limbah Logam Cd dan Pb Usia 28 Hari Setelah Tanam

Tabel 4.6 Warna Daun dengan *Munsell Plant Colour Chart* pada Rumput Gajah

T1L0	T1L1	T1L2
7,5 GY (5/6)	7,5 GY (5/6)	7,5 GY (5/6)

Hasil pengamatan warna daun (Tabel 4.12) pada tanaman rumput gajah untuk semua perlakuan menunjukkan nilai yang sama, yaitu 7,5 GY (5/6). Nilai 7,5 GY (5/6) berarti kekuatan warna kromatik 7,5 yang berwarna dasar *green yellow* dan tingkat kecerahan warnanya 5/6. Warna daun yang sama antara kontrol/tanpa limbah (T1L0) memiliki warna daun yang sama dengan tanaman pada perlakuan penambahan limbah 1 mg/kg Cd (T1L1) dan 2 mg/kg Pb (T1L2), artinya tanaman rumput gajah yang diberi penambahan limbah yang mengandung logam berat (Cd dan Pb) tidak menunjukkan gejala keracunan pada warna daun yang dihasilkan.



Gambar 4.11 Warna Daun Bayam pada Media Limbah Logam Cd dan Pb Usia 28 Hari Setelah Tanam

Tabel 4.7 Warna Daun dengan *Munsell Plant Colour Chart* pada Bayam

T2L0	T2L1	T2L2
7,5 GY (4/4)	7,5 GY (4/4)	7,5 GY (4/4)

Hasil pengamatan warna daun (Tabel 4.13) pada tanaman bayam untuk semua perlakuan menunjukkan nilai yang sama, yaitu 7,5 GY (4/4). Nilai 7,5 GY (4/4) berarti kekuatan warna kromatik 7,5 yang berwarna dasar *green yellow* dan tingkat kecerahan warnanya 4/4. Warna daun yang sama antara kontrol/tanpa limbah (T2L0) memiliki warna daun yang sama dengan tanaman pada perlakuan penambahan limbah 1 mg/kg Cd (T2L1) dan 2 mg/kg Pb (T2L2), keseluruhan tanaman bayam pada semua perlakuan tidak mengalami gangguan (klorosis) dari dampak yang ditimbulkan oleh penambahan dosis limbah yang mengandung logam Cd dan Pb.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Kemampuan serapan logam Cd pada tanaman rumput gajah 0,744 mg/kg dan pada tanaman bayam 0,117 mg/kg. Kemampuan serapan logam Pb pada tanaman rumput gajah 0,839 mg/kg dan pada tanaman bayam 0,440 mg/kg.
2. Rumput gajah lebih efektif mengakumulasi kadar logam Pb daripada tanaman bayam. Sedangkan tanaman bayam lebih efektif mengakumulasi kadar logam Cd daripada tanaman rumput gajah.
3. Semua jenis tanaman (rumput gajah dan bayam) tidak menunjukkan perbedaan warna daun walaupun ada penambahan limbah 1 mg/kg logam Cd dan 2 mg/kg logam Pb. Variabel tinggi tanaman menunjukkan gejala keracunan (tanaman semakin kecil) akibat kadar logam Cd dan Pb yang terakumulasi pada rumput gajah. Bayam tidak menunjukkan keracunan pada pertumbuhan tinggi.

5.2 Saran

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

1. Tanaman hiperakumulator pada umumnya mengakumulasi logam berat pada tajuk dan bagian akar, oleh sebab itu akar tanaman sebaiknya dilakukan analisis agar diketahui seberapa besar akar mengakumulasi logam sehingga mengetahui secara keseluruhan tanaman dalam menyerap logam berat.
2. Zat Hijau Daun (Klorofil) merupakan komponen penyusun utama dari warna daun tanaman, sehingga perlu diukur menggunakan klorofil meter untuk mengetahui seberapa besar logam Cd dan Pb meracuni atau merusak warna daun terutama klorofil.

DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B. J. and Peterson. 1995. *Heavy Metals in Soils*. New York: Springer Publisher.
- Antari, Ayu., Raka Juni., dan I Komang Sundra. 2002. Kandungan Pb pada Tanaman Peneduh Jalan di Kota Denpasar. *Jurnal universitas udayana* 1-7.
- Backer, C.A. dan Bakhuizen van den Brink Jr. 1968. *Flora of Java*. Vol. III. Groningen: Wolters Noordhof.
- 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.
- Chiroma, T.M., Abdulkarim., and Kefas. 1997. The impact of pesticide application on heavy metal (Cd, Pb and Cu) levels in Spinach. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*. ISSN 1583-1078. Vol 11: 117-122. July-December 2007.
- Darmono, 1995. *Logam Berat dalam Sistem Biologi*. UI Press, Jakarta.
- Estuningsih, Pertiwi, Hidayati, dan Syarif. 2013. Potensi Tanaman Rumput Sebagai Agen Fitoremediasi Tanah Terkontaminasi Limbah Minyak Bumi. *Prosiding Semirata* 1:360-370.
- Gilliland, H. B., R. E. Holtum, and Neil Bor. 1971. Grasses of Malaya. *In: Burkill H.M. (ed.). Flora of Malaya*. Singapura.: Lim Bian Han, Government Printer.
- Hardiani, Henggar. 2009. Potensi Tanaman dalam Mengakumulasi Logam Cu pada Media Tanah Terkontaminasi Limbah Padat Industri Kertas. *BS* 44(1) 27 – 40.
- Irsyad, Muhammad., Rismawaty Sikanna., dan Musafira. Translokasi Merkuri (Hg) pada Daun Tanaman Bayam Duri (*Amaranthus Spinusus* L) dari Tanah Tercemar. *Online Jurnal of Natural Science*, 3(1): 8-17.
- Isrun. 2009. Respon Inceptisol terhadap Pupuk Guano dan Pupuk P serta Pengaruhnya Terhadap Serapan P Tanaman Kacang Tanah. *Jurnal Agroland*. Vol 16 (1):40 – 44

- John, Ahmad, Gadgil, and Sharma S (2009) Heavy metal toxicity: Effect on plant growth, biochemical parameters and metal accumulation by *Brassica juncea* L. International Journal of Plant Production 1-8.
- Juhaeti, Tit.i, Fauzia Syarif., dan Nuril Hidayati. Inventarisasi Tumbuhan Potensial Untuk Fitoremediasi Lahan dan Air Terdegradasi Penambangan Emas. *Biodiversitas* 6(1): 31-33.
- Kabata, Pedias. 2006. *Difference in Uptake Characteristics of Plant*. University of Pretoria etd, Maladewa.
- Khan, M. Ashraf., K. Ahmad., E. E. Valeem, Z.A. Shah and I.R. Mcdowell, Levels of total amino acids, soluble proteins and phenolic compounds in forages in relation to requirements of ruminants grazing in the salt range (Punjab), Pakistan, *Pak. J. Bot.*, 41(3) (2009), 1521- 1526.
- Lagerwerf, J. V. 1972. *Lead Mercury and Cadmium as Environmental Contaminants*. Micronutrients in Agriculture. Soil Sci. Madison, USA.
- Lesman. 2013. *Rumput Gajah*. Diakses di <http://manglayang.blogsome.com> pada tanggal 24 Mei 2014.
- Liong, Syarifuddin., Alfian Noor., Paulina Taba., Hazirin Zubair. 2009. Dinamika Akumulasi Kadmium pada Tanaman Kangkung Darat (*Ipomoea raptans* Poir). *Jurnal Indonesia Chimica Acta*. Vol 2 (1):1-7.
- Mohamad, Erni. 2013. Pengaruh Variasi Waktu Kontak Tanaman Bayam Duri terhadap Adsorpsi Logam Berat Kadmium (Cd). *Entropi*, 8 (1), 562-571.
- 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.
- 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 Spinacia. *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).
- Purbajanti, Anwar, Widyati dan Kusmiati. 2008. Kandungan Protein dan Serat Kasar Rumput Benggala (*Panicum Maximum*) dan Rumput Gajah (*Pennisetum Purpureum*) pada Cekaman Stres Kering.
- Rachmawati, Diana. 2005. *Peranan Hutan dalam Menjerap dan Menyerap Pb ddi Udara Ambien (Studi Kasus)*. Institut Pertanian Bogor.
- Rosseli W., C. Kelleer and K. Boschi. 2003. Phytoextraction Capacity of Trees Growing on a Metal Contaminated soil. *Plant and Soil* 256: 265-272.
- Sagita, W. A. 2002. *Uji Kemampuan Akumulasi Logam Kadmium dari Media oleh Rumput Gagajahan (Panicum maximum Jacq)* Skripsi S1 Biologi ITB.
- Sembiring, Ebynthalina., dan Endah Sulistyawati. 2006. Akumulasi Pb dan Pengaruhnya pada Kondisi Daun *Swietenia macrophylla* King. *Seminar Nasional Penelitian Lingkungan* 1:1-10.
- Sukakusumah, Wahyu. 2012. *Fitoremediasi dan Pembangunan Berkelanjutan*. Diakses di <http://file.upi.edu/Direktori/FPMIPA/JUR. PEND. BIOLOGI> pada tanggal 30 April 2014.
- Tjitrosoepomo, Gembong. 1985, *Morfologi Tumbuhan*. Gajah Mada University, Yogyakarta.
- Triastuti, Yuli. 2011. *Fitoremediasi Tanah Tercemar Merkuri (Hg²⁺) Menggunakan Tanaman Akar Wangi (Vetiver zizanioides) Pada Lahan Eks-TPA Keputih, Surabaya*. *Sains dan Terapan Kimia* 2: 53-63.
- Widaningrum, Miskiyah., dan Suismono. 2007. *Bahaya Kontaminasi Logam Berat dalam Sayuran dan Alternatif Pencegahan Cemarannya*. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian* 3: 16-27.
- Wild, Alan. 1993. *Soil and The Environment*. Cambridge University Press, United Kingkom.

- 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.
- Wulanjari, Distiana., Arie Mudjiharjati., dan Tri Candra Setiawati. 2013. Pengaruh Penambahan Guano Sebagai Agen Pengkhelat pada Tanah Tercemar Limbah Logam Pb dan Cd Serta Uji Tanaman Sawi (*Brassica Juncea*) sebagai Hiperakumulator. *Skripsi*. Universitas Jember.
- Zhuang P., Z. H. Ye, C. Y. Lan, Z.W. Xie and W. S. 2005. Chemically Assisted Phytoextraction of Heavy Metal Contaminated Soil Using Trees Plant Species. *Plant and Soil* 278: 153-162.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Analisis Sifat Kimia

1.1 Metode pH meter

Alat:

1. Botol kocok 100 ml
2. Neraca analitik ketelitian dua desimal
3. Gelas ukur 50 ml
4. Mesin pengocok
5. pH meter
6. labu semprot 500 ml

Bahan:

1. Air bebas ion
2. Larutan *buffer* pH 7,0, 10 dan 4,0

Cara Kerja:

1. Timbang 10 gram contoh tanah sebanyak dua kali, masing – masing dimasukkan kedalam botol kocok
2. Tambahkan 50 ml air bebas ion ke botol yang satu (pH H₂O) dan 50 ml KCL 1 M ke dalam botol lainnya (pH KCL)
3. Kocok dengan mesin pengocok selama 30 menit
4. Suspensi tanah diukur dengan pH meter yang telah dikalibrasi menggunakan larutan *buffer* pH 7,0 dan 4,0
5. Nilai pH dilaporkan dalam 1 desimal

1.2 Penetapan Logam Pb dan Cd dengan Metode AOAC

Alat:

1. Labu digest
2. Kertas saring
3. AAS

Bahan:

1. HNO₃
2. HClO₄

Prosedur:

1. Timbang tanah sebanyak 5 gram.
2. Digest dengan 5 ml HNO₃ dan 1 ml HClO₄ sampai larutan jernih.
3. Dinginkan, tambahkan aquadest dan saring dengan kertas saring.
4. Tetapkan dengan AAS (Automatic Absorption Spectrofotometri).

Lampiran 2. Analisis Sidik Ragam dan Uji Duncan 5 %

2.1 Hasil Analisis Kadar Pb dalam Jaringan Tanaman

Tanaman	Limbah	Replikasi			Total	Rata-rata
		1	2	3		
T1	L1	0,02	0,01	0,02	0,05	0,02
	L2	0,02	0,02	0,01	0,05	0,02
	L3	0,04	0,04	0,04	0,12	0,04
T2	L1	0,02	0,02	0,01	0,05	0,02
	L2	0,01	0,02	0,04	0,07	0,02
	L3	0,05	0,02	0,01	0,08	0,03
Total		0,16	0,13	0,13	0,42	0,14

Hasil Analisis Anova Kadar Pb dalam Jaringan

SR	DB	JK	KT	F HIT	F 0.05	F 0.01
kelompok	2	100,08	50,05	9,00	19,00	99,00
tanaman	1	22,24	22,24	4,00	18,51	98,50
galat a	2	11,12	5,56			
dosis Pb	2	0,000933	0,000467	2,63	4,46	8,65
a x b	2	0,000311	0,000156	0,87	4,46	8,65
galat b	8	0,001422	0,000178			
total	17	0,0028	0,000165			

Hasil Uji Duncan 5%

Tanaman	Limbah					
	L0		L1		L2	
T1	0,017	A	0,017	A	0,040	B
	A		a		a	
T2	0,017	A	0,023	A	0,027	A
	A		a		a	

*Angka – angka yang diikuti dengan huruf yang sama berbeda tidak nyata pada Uji Duncan pada taraf kepercayaan 5%

*Huruf kapital untuk pembacaan secara horizontal, dan huruf kecil untuk pembacaan secara vertikal

2.2 Hasil Analisis Serapan Pb

Tanaman	Limbah	Replikasi			Total	Rata-rata
		1	2	3		
T1	L1	0,576	0,383	0,225	1,184	0,3947
	L2	0,483	0,429	0,213	1,125	0,3750
	L3	0,770	1,170	0,970	2,91	0,9700
T2	L1	0,246	0,200	0,081	0,5271	0,1757
	L2	0,123	0,217	0,422	0,7613	0,2538
	L3	0,833	0,283	0,136	1,2522	0,4174
Total		3,0305	2,682	2,0471	7,7596	2,5865

Hasil Analisis Anova Serapan Pb

SR	DB	JK	KT	F HIT	F 0.05	F 0.01
kelompok	2	0,083	0,041	2,096 (ns)	19,00	99,00
tanaman	1	0,399	0,399	20,162 (*)	18,51	98,50
galat a	2	0,040	0,020			
Dosis Limbah	2	0,623	0,312	6,374 (*)	4,46	8,65
a x b	2	0,153	0,077	1,569 (ns)	4,46	8,65
galat b	8	0,391	0,049			
total	17	1,689	0,099			

Hasil Uji Duncan 5%

Tanaman	Limbah					
	L0		L1		L2	
T1	0,395	A	0,375	A	0,970	B
	A		a		b	
T2	0,176	A	0,254	A	0,417	A
	A		a		a	

*Angka – angka yang diikuti dengan huruf yang sama berbeda tidak nyata pada Uji Duncan pada taraf kepercayaan 5%

*Huruf kapital untuk pembacaan secara horizontal, dan huruf kecil untuk pembacaan secara vertikal

2.3 Berat Kering

Tanaman	Limbah	Replikasi			Total	Rata-rata
		1	2	3		
T1	L1	28,80	19,14	22,49	70,43	23,48
	L2	24,15	21,44	21,30	66,89	22,30
	L3	19,25	29,25	24,24	72,74	24,25
T2	L1	12,28	10,02	8,11	30,41	10,14
	L2	12,29	10,84	10,54	33,67	11,22
	L3	16,66	14,14	13,64	44,44	14,81
Total		113,43	104,83	100,32	318,58	106,19

Hasil Analisis Anova Berat Kering

SR	DB	JK	KT	F HIT	F 0.05	F 0.01
kelompok	2	14,79	7,39	6,92 (ns)	19,00	99,00
tanaman	1	572,80	572,80	535,87 (**)	18,51	98,50
galat a	2	2,14	1,07			
Dosis Limbah	2	30,18	15,09	1,18 (ns)	4,46	8,65
a x b	2	11,54	5,77	0,45 (ns)	4,46	8,65
galat b	8	102,06	12,76			
total	17	733,51	43,15			

Hasil Uji Duncan 5%

Tanaman	Limbah					
	L0		L1		L2	
T1	23,477	AB	22,297	A	24,247	B
	B		b		b	
T2	10,137	A	11,223	AB	14,813	B
	A		a		a	

*Angka – angka yang diikuti dengan huruf yang sama berbeda tidak nyata pada Uji Duncan pada taraf kepercayaan 5%

*Huruf kapital untuk pembacaan secara horizontal, dan huruf kecil untuk pembacaan secara vertikal

2.4 Hasil Analisis Kadar Pb dalam Tanah

Tanaman	Limbah	Replikasi			Total	Rata-rata
		1	2	3		
T1	L1	0,20	0,10	0,30	0,60	0,20
	L2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	L3	0,40	0,50	0,30	1,20	0,40
T2	L1	0,20	0,20	0,20	0,60	0,20
	L2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	L3	0,20	0,60	0,60	1,40	0,47
Total		1,00	1,40	1,40	3,80	1,27

Hasil Analisis Anova Kadar Pb dalam Tanah

SR	DB	JK	KT	F HIT	F 0.05	F 0.01
kelompok	2	0,02	0,01	1,00 (ns)	19,00	99,00
tanaman	1	0,00	0,00	0,25 (ns)	18,51	98,50
galat a	2	0,02	0,01			
Dosis Limbah	2	0,56	0,28	20,32 (**)	4,46	8,65
a x b	2	0,00	0,00	0,16 (ns)	4,46	8,65
galat b	8	0,11	0,01			
total	17	0,72	0,04			

Hasil Uji Duncan 5%

Tanaman	Limbah					
	L0		L1		L2	
T1	0,200	A	0,000	A	0,400	A
	B		a		c	
T2	0,200	A	0,000	A	0,467	A
	B		a		c	

*Angka – angka yang diikuti dengan huruf yang sama berbeda tidak nyata pada Uji Duncan pada taraf kepercayaan 5%

*Huruf kapital untuk pembacaan secara horizontal, dan huruf kecil untuk pembacaan secara vertikal

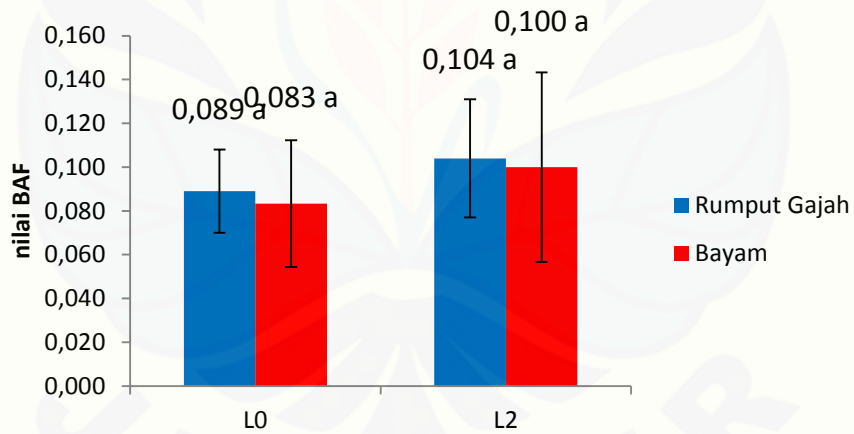
2.5 Hasil Perhitungan BAF Pb

Tanaman	Limbah	Replikasi			Total	Rata-rata
		1	2	3		
T1	L1	0,100	0,100	0,067	0,27	0,09
	L2	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
	L3	0,100	0,080	0,133	0,31	0,10
T2	L1	0,100	0,100	0,050	0,25	0,08
	L2	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
	L3	0,250	0,033	0,017	0,30	0,10
Total		0,55	0,31	0,27	1,13	0,38

Rata-rata

Tanaman	L0	L1	L2
Rumput Gajah	0,0890	0,000	0,1043
Bayam	0,0833	0,000	0,1000

BAF Logam Pb



2.6 Hasil Analisis Kadar Cd dalam Jaringan Tanaman

Tanaman	Limbah	Replikasi			Total	Rata-rata
		1	2	3		
T1	L1	0,02	0,01	0,02	0,05	0,02
	L2	0,02	0,02	0,01	0,05	0,02
	L3	0,04	0,04	0,04	0,12	0,04
T2	L1	0,02	0,02	0,01	0,05	0,02
	L2	0,01	0,02	0,04	0,07	0,02
	L3	0,05	0,02	0,01	0,08	0,03
Total		0,16	0,13	0,13	0,42	0,14

Hasil Analisis Anova Kadar Cd dalam Jaringan

SR	DB	JK	KT	F HIT	F 0.05	F 0.01
kelompok	2	100,08	50,05	9,00	19,00	99,00
tanaman	1	22,24	22,24	4,00	18,51	98,50
galat a	2	11,12	5,56			
dosis Pb	2	0,000933	0,000467	2,63	4,46	8,65
a x b	2	0,000311	0,000156	0,87	4,46	8,65
galat b	8	0,001422	0,000178			
total	17	0,0028	0,000165			

Hasil Uji Duncan 5%

Tanaman	Limbah					
	L0		L1		L2	
T1	0,017	A	0,017	A	0,040	B
	A		a		a	
T2	0,017	A	0,023	A	0,027	A
	A		a		a	

*Angka – angka yang diikuti dengan huruf yang sama berbeda tidak nyata pada Uji Duncan pada taraf kepercayaan 5%

*Huruf kapital untuk pembacaan secara horizontal, dan huruf kecil untuk pembacaan secara vertikal

2.7 Hasil Analisis Serapan Cd

Tanaman	Limbah	Replikasi			Total	Rata-rata
		1	2	3		
T1	L1	0,55	0,58	0,58	1,71	0,57
	L2	0,58	0,77	1,17	2,52	0,84
	L3	0,36	0,90	1,45	2,72	0,91
T2	L1	0,03	0,49	0,33	0,86	0,29
	L2	0,07	0,40	0,85	1,32	0,44
	L3	0,08	0,32	0,55	0,95	0,32
Total		1,68	3,46	4,93	10,07	3,36

Hasil Analisis Anova Serapan Cd

SR	DB	JK	KT	F HIT	F 0.05	F 0.01
kelompok	2	0,88	0,44	51,19 (*)	19,00	99,00
tanaman	1	0,81	0,81	93,86 (*)	18,51	98,50
galat a	2	0,02	0,01			
Dosis Limbah	2	0,16	0,08	1,59 (ns)	4,46	8,65
a x b	2	0,07	0,04	0,71 (ns)	4,46	8,65
galat b	8	0,40	0,05			
total	17	2,33	0,14			

Hasil Uji Duncan 5%

Tanaman	Limbah					
	L0		L1		L2	
T1	0,569	A	0,839	A	0,905	B
	a		a		a	
T2	0,286	A	0,440	A	0,318	A
	a		a		a	

*Angka – angka yang diikuti dengan huruf yang sama berbeda tidak nyata pada Uji Duncan pada taraf kepercayaan 5%

*Huruf kapital untuk pembacaan secara horizontal, dan huruf kecil untuk pembacaan secara vertikal

2.8 Hasil Analisis Kadar Cd dalam Tanah

Tanaman	Limbah	Replikasi			Total	Rata-rata
		1	2	3		
T1	L1	0,10	0,10	0,10	0,30	0,10
	L2	0,10	0,20	0,00	0,30	0,10
	L3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T2	L1	0,10	0,10	0,00	0,20	0,07
	L2	0,20	0,10	0,20	0,50	0,17
	L3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total		0,50	0,50	0,30	1,30	0,43

Hasil Analisis Anova Kadar Cd dalam Tanah

SR	DB	JK	KT	F HIT	F 0.05	F 0.01
kelompok	2	0,0044	0,0022	1,0000 (ns)	19,00	99,00
tanaman	1	0,0006	0,0006	0,2500 (ns)	18,51	98,50
galat a	2	0,0044	0,0022			
Dosis Limbah	2	0,0544	0,0272	8,9091 (**)	4,46	8,65
a x b	2	0,0078	0,0039	1,2727 (ns)	4,46	8,65
galat b	8	0,0244	0,0031			
total	17	0,0961	0,0057			

Hasil Uji Duncan 5%

Tanaman	Limbah					
	L0		L1		L2	
T1	0,100	B	0,100	B	0,000	A
	a		a		a	
T2	0,067	A	0,167	C	0,000	A
	a		b		a	

*Angka – angka yang diikuti dengan huruf yang sama berbeda tidak nyata pada Uji Duncan pada taraf kepercayaan 5%

*Huruf kapital untuk pembacaan secara horizontal, dan huruf kecil untuk pembacaan secara vertikal

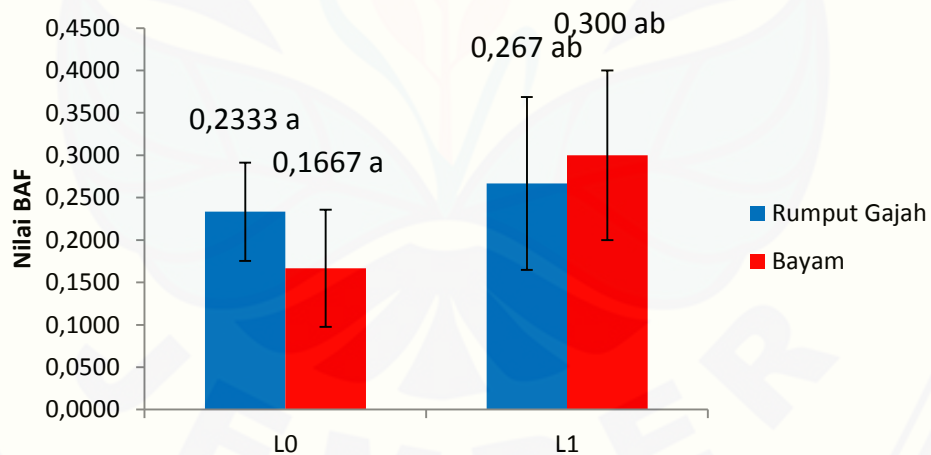
2.9 Hasil Perhitungan BAF Cd

Tanaman	Limbah	Replikasi			Total	Rata-rata
		1	2	3		
T1	L1	0,200	0,200	0,300	0,7	0,2333
	L2	0,600	0,200	0,000	0,8	0,2667
	L3	0,000	0,000	0,000	0	0,0000
T2	L1	0,100	0,400	0,000	0,5	0,1667
	L2	0,200	0,400	0,300	0,9	0,3000
	L3	0,000	0,000	0,000	0	0,0000
Total		1,1	1,2	0,6	2,9	0,966667

Rata-rata

Tanaman	L0	L1	L2
Rumput Gajah	0,2333	0,267	0,0000
Bayam	0,1667	0,300	0,0000

BAF Logam Cd



Lampiran 3. Perhitungan Dosis Limbah

Kebutuhan tanah per satu perlakuan = 8,5 kg X 6 kotak
= 51 kg tanah

Diket : konsentrasi logam Pb = 15,45 ppm

konsentrasi logam Cd = 7,25 ppm

Hitung : a. 1 ppm Pb

b. 2 ppm logam Cd

jawab :

a. 1 ppm Pb = $\frac{15,45 \text{ mg}}{15,45 \text{ kg media}}$ → 1kg limbah + 14,45 kg tanah → 15,45 kg media/6 pot

$\frac{51 \text{ kg tanah}}{15,45 \text{ ppm}}$ = 3,301 kg limbah

15,45 ppm

= 3,301 kg limbah kertas + 47,699 kg tanah = 51 media

2 ppm Pb = $\frac{51 \text{ kg tanah}}{7,725 \text{ ppm}}$ = 6,602 kg limbah

7,725 ppm

= 6,602 kg limbah kertas + 44,398 kg tanah = 51

kg media

2 ppm Pb

$\frac{6,602 \text{ kg limbah}}{44,398 \text{ kg tanah}} = \frac{X}{8,5 \text{ kg}}$

= 1,264 kg/ pot

= 1260 gram limbah/ pot

b. 1 ppm Cd = $\frac{7,25 \text{ mg}}{\text{media/6 kotak}}$ → 1kg limbah + 6,25 kg tanah → 7,25 kg

7,25 kg media

$$\frac{51 \text{ kg tanah}}{7,25 \text{ ppm}} = 7,034 \text{ kg limbah}$$

$$7,25 \text{ ppm}$$

$$= 7,034 \text{ kg limbah kertas} + 43,966 \text{ kg tanah} = 51 \text{ media}$$

$$2 \text{ ppm Pb} = \frac{51 \text{ kg tanah}}{3,625 \text{ ppm}} = 14,069 \text{ kg limbah}$$

$$3,625 \text{ ppm}$$

$$= 14,069 \text{ kg limbah kertas} + 36,931 \text{ kg tanah} = 51$$

kg media

1 ppm Cd

$$\frac{7,034 \text{ kg limbah}}{43,966 \text{ kg tanah}} = \frac{X}{8,5 \text{ kg}}$$

$$= 1,359 \text{ kg/ pot}$$

$$= 1400 \text{ gram}$$

Lampiran 4. Kriteria Pengukuran Harkat Sifat Kimia Tanah Pupuk Guano dan Pupuk Organik

4.1 Pengukuran Harkat Sifat Kimia Tanah

No.	Parameter	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi	
1	DHL (mS/cm)	< 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	> 4	
2	KPK(Cmol+)/kg)	< 5	5 - 16	17 - 24	25 - 40	> 40	
3	C Organik (%)	< 0,60	0,60 - 1,25	1,26 - 2,50	2,50 - 3,50	> 3,5	
4	Bahan Organik (%)	< 1,00	1,00 - 2,00	2,10 - 4,20	4,30- 6,00	> 6,00	
5	N total (%)	< 0,1	0,1 - 0,2	0,21 - 0,5	0,51 - 0,75	> 0,75	
6	P total (mg/100g)	< 15	15 - 20	21 - 40	41 - 60	> 60	
7	P tersedia (ppm)	< 4	5 - 7	8 - 10	11 - 15	> 15	
8	K total (mg/100g)	< 10	Okt-20	21 - 40	41 - 60	> 40	
9	K (ppm)	8	12	21	36	58	
10	Cl (ppm)	30	50	100	325	600	
		Sangat Masam	Masam	Agak Masam	Netral	Agak Alkalin	Alkalin
11	PH	< 4,5	4,5 - 5,5	5,6 - 6,5	6,6 - 7,5	7,6 - 8,5	> 8,5

Sumber: Balai Penelitian Tanah, 2005

4.2 Syarat Mutu Pupuk Guano

No.	Jenis uji	Satuan	Persyaratan
1	Kadar air	%	Maksimal 10
2	Total N	%	Minimal 3,5
3	Fosfat sebagai P ₂ O ₅	%	Minimal 10
4	Kalium sebagai K ₂ O	%	Minimal
5	Khlorida sebagai Cl	%	Maksimal 0,5
6	Berbau khas		

Sumber: Balai Penelitian Tanah, 2005

4.3 Syarat Mutu Pupuk Guano

No.	Jenis uji	Satuan	Persyaratan
1	Kadar air	%	50
2	Suhu	$^{\circ}\text{C}$	Suhu air tanah
3	Warna		Kehitaman
4	Bau		Berbau tanah
5	Ukuran partikel	mm	0,55 – 25
6	Kemampuan ikat air	%	58
7	pH		6,80 – 7,49
8	Bahan asing	%	1,5*
9	Bahan organik	%	27– 58
10	Nitrogen	%	0,40
11	Karbon	%	9,80 – 32
12	C/N rasio		0,10
13	Fosfor (P_2O_5)	%	10 – 20
14	Kalium (K_2O)	%	0,20*
15	Arsen	mg kg^{-1}	13*
16	Kadmium	mg kg^{-1}	3*
17	Kobal	mg kg^{-1}	34*
18	Kromium	mg kg^{-1}	210*
19	Tembaga	mg kg^{-1}	100*
20	Merkuri	mg kg^{-1}	0,8*
21	Nikel	mg kg^{-1}	62*
22	Timbal	mg kg^{-1}	150*
23	Selenium	mg kg^{-1}	2*
24	Seng	mg kg^{-1}	500*
25	Kalsium	%	25,50*
26	Magnesium	%	0,60*
27	Besi	%	2,00*
28	Aluminium	%	2,20*
29	Mangan	%	0,10*
30	Bakteri fecal coli	MPN g^{-1}	1.000
31	Salmonella sp.	MPN 4 g^{-1}	3

* Nilainya lebih besar dari minimum atau lebih kecil dari maksimum.

Sumber: Balai Penelitian Tanah, 2005