

TUGAS AKHIR

**FITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR LOGAM TIMBAL (Pb) DAN
CADMIUM (Cd) DENGAN *VETIVERIA ZIZANIOIDES* PADA
MEDIA TANAH BERKOMPOS**



RESKIANINGSIH SAMPE BUNTU

D121 15 503

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

2020



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
JL. POROS MALINO KM 6 BONTOMARANNU KAB. GOWA

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Judul : **Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) Dengan *Vetiveria Zizanioides* Pada Media Tanah Berkompos.**

Disusun Oleh :

Nama : Reskianingsih Sampe Buntu D121 15 503

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 21 Januari 2020

Pembimbing I

Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, MSc.
NIDK : 8827760018

Pembimbing II

Dr. Roslinda Ibrahim, S.P., M.T.
NIP. 197506232015042001

Menyetujui,
Ketua Departemen Teknik Lingkungan



Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T.
NIP. 197204242000122001

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) dengan *Vetiveria Zizanioides* Pada Media Tanah Berkompos”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan kelulusan pada jenjang S1 Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis banyak mengalami hambatan, namun berkat bantuan, bimbingan, nasehat, dan doa dari berbagai pihak yang membuat penulis semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya.

Penyelesaian tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua yakni Ayahanda Alm. Thomas Sampe Buntu dan Ibunda Maryones yang tiada hentinya memberikan dukungan, nasehat, doa serta segala bentuk motivasi yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan hingga saat ini.
2. Supriadi, Pangalinan, Alfeus, Bontong dan Amon selaku saudara kandung yang selalu memberikan semangat, kasih sayang serta nasehat hingga penulis dapat menyelesaikan semua tanggung jawab selama berkuliah.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Prof. Baharuddin Hamzah, ST., M. Arch., Ph. D., selaku Wakil Dekan dan Pembantu Dekan I Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Ibu Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, MSc., selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Dr. Roslinda Ibrahim, SP. MT., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan bimbingan, meluangkan waktu di tengah kesibukan selama penulis melaksanakan penelitian dan penyusunan tugas akhir ini dan

juga selalu memberikan semangat selama penulis melaksanakan penelitian dan penyusunan tugas akhir.

7. Bapak Dr. Ir. Achmad Zubair, MSc selaku Kepala Laboratorium Kualitas Air Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik
8. Pak Syarifuddin selaku laboran laboratorium kualitas air yang telah membantu penulis selama penelitian.
9. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Departemen Teknik Lingkungan atas bimbingan, arahan, didikan, dan motivasi yang telah diberikan selama menempuh pendidikan di kampus.
10. Ibu Sumiati dan Kak Olan selaku staf karyawan Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang sudah membantu setiap administrasi selama penulis melaksanakan perkuliahan.
11. *Special thanks* Widya, Reka, dan Gaby selaku teman kos yang selalu setia membantu, menyemangati, menemani penulis selama penyusunan dan pengambilan data serta selalu berbagi segalanya selama berkuliah.
12. BPNPA yang selalu mendukung dan mendoakan selama mengerjakan tugas akhir ini dan selalu memberikan semangat.
13. Kaspar, Apri, Elvys, Egi, dan Yance yang sudah membantu mulai dari mengantar surat, pengambilan bibit, pengambilan tanah sampai pemindahan sampel ke kampus.
14. Sahabat-sahabat setia Tiwii, Desy, Opi, Joy, Andrie, dan Gita yang selalu menyemangati penulis dari jarak jauh, memberikan semangat, dan selalu mendoakan penulis selama penyelesaian tugas akhir ini.
15. Teman-teman *Gold Fish* dan Persekutuan Sehat yang telah menjadi teman seperjuangan selama menempuh perkuliahan dan membantu penulis dalam berbagai hal
16. Gabriel Niswar, Gabriella Aurellia, dan Rahmat selaku teman berjuang di tempat KP
17. Syiffah Rizky selaku teman seperjuangan selama pengambilan data di laboratorium dan juga *partner* dalam segala pengurusan.

18. Teman-teman Teknik Lingkungan 2015 dan Patron 2016 atas segala bantuan, cerita, dan kenangan selama masa perkuliahan.
19. Teman-teman Lab Kualitas Air yang telah berjuang bersama-sama dalam menyelesaikan tugas akhir.
20. Teman-teman grup Ubi Goreng yang selalu membantu penulis dalam segala hal
21. Teman-teman KKN Gel 99 Kecamatan Tondong Tallasa Desa Tondongkura yang telah bersama-sama berjuang di lokasi knn, memberikan warna dan cerita baru di bangku perkuliahan.
22. Kepada rekan-rekan dan berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-satu, penulis ucapkan banya terima kasih atas setiap bantuan serta doa yang diberikan.

Semoga Tuhan yang membalaskan kebaikan kalian semua. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Namun, penulis berharap tugas akhir ini memberikan manfaat bagi pembaca. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan guna melengkapi segala kekurangan dan keterbatasan dalam penyusunan tugas akhir ini. Akhir kata semoga tugas akhir ini memberikan manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan dan lingkungan.

Gowa, Oktober 2019
Penulis,

Reskianingsih Sampe Buntu
D121 15 503

FITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR LOGAM TIMBAL (Pb) DAN
CADMIUM (Cd) DENGAN *VETIVERIA ZIZANIOIDES* PADA MEDIA
TANAH BERKOMPOS

Reskianingsih Sampe Buntu¹⁾, Mary Selitung²⁾, dan Roslinda Ibrahim³⁾

Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Jl. Poros Malino KM 6, Bontomarannu (92172) Gowa, Sulawesi Selatan

Telp. (0411) 586015 Fax (0411) 586015

Email : thithi.sbuntu@gmail.com

ABSTRAK

Pencemaran tanah merupakan masuk atau dimasukkannya zat atau sesuatu ke dalam tanah baik secara sengaja maupun tidak sengaja yang merusak tatanan kimia tanah sehingga berubah dari kondisi awalnya. Pencemaran lingkungan, khususnya tanah membutuhkan suatu tindakan pemulihan sehingga dapat digunakan kembali dengan aman. Tumbuhan yang digunakan dalam metode fitoremediasi ini adalah tumbuhan *vetiver*. Salah satu tumbuhan *vetiver* yang sering digunakan yaitu akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) dan juga dengan menggunakan stimulan kombinasi kompos. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui seberapa besar efisiensi penyisihan logam Pb dan Cd pada media tanam menggunakan akar wangi. Metode penentuan sampel yang digunakan pada penelitian ini menggunakan teknik *purposive sampling* dengan variasi pengambilan sampel tiap hari ke-7, 14 dan 21. Hasil penelitian ini menunjukkan analisa tertinggi penyisihan logam timbal (Pb) pada media tanam terjadi pada minggu ke-3 pada variasi M2T3 yakni 55,74% dan penyisihan logam terendah pada variasi M2T2 yakni 20,26%. Sedangkan untuk analisa penyisihan logam cadmium (Cd) yang tertinggi pada variasi M1K3 yakni 57,21% dan penyisihan logam terendah pada variasi M2K1 yakni 42,46%. Selain itu, analisa penyisihan logam pada akar wangi untuk logam timbal (Pb) variasi tertinggi pada M2T3 yakni 92,21% dan analisa penyisihan logam cadmium (Cd) variasi tertinggi pada M2K1 yakni 75,99%.

Kata Kunci: Timbal, Cadmium, Fitoremediasi, Kompos, Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*)

SOILS PHYTOREMEDIATION CONTAMINATED BY METALS (Pb) AND
CADMIUM (Cd) USING *VETIVERIA ZIZANIOIDES* ON COMPOSTED SOIL
MEDIA

Reskianingsih Sampe Buntu¹⁾, Mary Selitung²⁾, dan Roslinda Ibrahim³⁾

Environmental Engineering department, Faculty of Engineering, University of Hasanuddin

Jl. Poros Malino KM. 6, Bontomarannu (92172) Gowa, Sulawesi Selatan

Telp. (0411)58660115 Fax (0411)5866015

Email : thithi.sbuntu@gmail.com

ABSTRACT

Soil pollution is the entry or insertion of substances or something into the soil either intentionally or unintentionally that damages the chemical order of the soil so that it changes from its initial condition. Environmental pollution, especially land requires remedial action so that it can be reused safely. The plants used in this phytoremediation method are *vetiver* plants. One of the *vetiver* plants that is often used is the fragrant root (*Vetiveria zizanioides*) and also by using a compost combination stimulant. This study aims to determine how much the removal efficiency of Pb and Cd metals in planting media using fragrant roots. The sampling method used in this study used a purposive sampling technique with variations of sampling every 7th, 14th and 21st days. The results of this study indicate the highest analysis of lead metal removal (Pb) in the planting medium occurred in the 3rd weeks on M2T3 variations namely 55,74% and the lowest metal removal in the M2T2 variation of 20,26%. As for the analysis of the highest cadmium metal removal (Cd) in the M1K3 variation that is 57,21% and the lowest metal removal in the M2K1 variation is 42,46%. Also, analysis of metal removal in fragrant roots for lead metal (Pb) the highest variation on M2T3 was 92,21% and analysis of removal of cadmium metal (Cd) the highest variation on M2K1 was 75,99%.

Keywords: Lead, Cadmium, Phytoremediation, Compost, Fragrant Roots (*Vetiveria zizanioides*)

DAFTAR ISI

	halaman
SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian dan Manfaat Penelitian	4
D. Ruang Lingkup	4
E. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Pencemaran Lingkungan	7
B. Pencemaran Tanah	8
1. Pengertian Pencemaran Tanah	8
2. Sumber Pencemaran Tanah	9
3. Komponen - Komponen Bahan Pencemaran Tanah	9

4. Dampak Pencemaran Tanah	12
5. Penanganan Pencemaran Tanah	13
6. Baku Mutu	16
C. Pencemaran Logam Berat	17
D. Jenis Logam	19
1. Logam Timbal (Pb)	19
2. Logam Cadmium (Cd)	21
E. Fitoremediasi	23
1. Pengertian Fitoremediasi	23
2. Keuntungan dan Kekurangan Fitoremediasi	24
3. Mekanisme Fitoremediasi	26
4. Persyaratan Tanaman Untuk Fitoremediasi	28
F. Tanaman Akar Wangi (<i>Vetiveria Zizanioides</i>)	28
1. Morfologi Tanaman Akar Wangi (<i>Vetiveria Zizanioides</i>)	28
2. Peranan Akar Wangi (<i>Vetiveria Zizanioides</i>) Dalam Memulihkan Tanah Tercemar	31
G. Jurnal yang Terkait Dengan Penelitian	32

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian	34
B. Lokasi dan Waktu Penelitian	35
C. Bahan dan Alat Penelitian	35
D. Populasi dan Sampel	36
E. Pelaksanaan Penelitian	36

F. Teknik Pengumpulan Data	38
G. Teknik Analisis	39
H. Diagram Alir Penelitian	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Tahap Aklimatisasi	43
B. Konsentrasi Awal Logam Berat pada Tanah dan Tanaman	43
C. Analisis Penyisihan Logam Berat pada Media Tanam	44
1. Analisis Penyisihan Logam Timbal (Pb) pada Media Tanam	44
2. Analisis Penyisihan Logam Cadmium (Cd) pada Media Tanam	46
D. Pengaruh Komposisi Media Tanam, Konsentrasi Logam dan Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Penyisihan	48
E. Efisiensi Penyisihan Logam Pb dan Cd pada Tanaman Akar Wangi	51
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan	55
B. Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	59

DAFTAR TABEL

	halaman
1. Kisaran Logam Berat Dalam Tanah	16
2. Batas Kritis Unsur-unsur Logam Berat Dalam Tanah, Air, Tanaman, dan Beras	17
3. Jurnal Terkait Penelitian	32
4. Variasi Penelitian Menggunakan Konsentrasi Pb	34
5. Variasi Penelitian Menggunakan Konsentrasi Cd	35
6. Pengamatan Awal Logam Terhadap Tanaman dan Media Tanam	44
7. Rata-rata Pengukuran Konsentrasi Logam Timbal (Pb) pada Tanah	45
8. Rata-rata Pengukuran Konsentrasi Logam Cadmium (Cd) pada Tanah	46
9. Nilai Rata-Rata Analisa Regresi Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Penyisihan Logam Pb dalam Tanah	49
10. Nilai Rata-Rata Analisa Regresi Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Penyisihan Logam Cd dalam Tanah	50
11. Rata-rata Efisiensi Penyisihan Logam Pb pada Tanaman Akar Wangi	52
12. Rata-rata Efisiensi Penyisihan Logam Cd pada Tanaman Akar Wangi	54

DAFTAR GAMBAR

	halaman
1. Jalur Penyerapan Pada Proses Fitoremediasi	27
2. Akar Wangi (<i>Vetiveria Zizanioides</i>)	30
3. Tampak Potongan Reaktor Proses	36
4. Denah Percobaan Penelitian Ulangan 1	37
5. Denah Percobaan Penelitian Ulangan 2	38
6. Diagram Alir Penelitian	41
7. Grafik Efisiensi Penyisihan Kadar Logam Pb Dalam Tanah	45
8. Grafik Efisiensi Penyisihan Kadar Logam Cd Dalam Tanah	47
9. Grafik Efisiensi Penyisihan Kadar Logam Pb Dalam Tanaman	53
10. Grafik Efisiensi Penyisihan Kadar Logam Pb Dalam Tanaman	54

DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
A. Data Penelitian	60
B. Dokumentasi Penelitian	65
1. Alat dan Bahan	65
2. Proses Penelitian	70
C. Lampiran Perhitungan	76
1. Larutan Standar Pb	77
2. Larutan Standar Cd	77
3. Penyerapan Logam Dalam Tanah	78
4. Penyerapan Logam Pada Tanaman	79

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang melaksanakan pembangunan diberbagai sektor seperti bidang ekonomi, sosial dan budaya. Salah satu pembangunan di sektor ekonomi adalah kegiatan industri. Kegiatan industri dalam menghasilkan bahan tidak terlepas dari limbah yang mengakibatkan pencemaran lingkungan. Sebagaimana limbah industri mengandung bahan kimia yang beracun dan berbahaya (B3). Kontaminasi logam berat di lingkungan merupakan masalah besar saat ini. Dampak kontaminasi logam berat di lingkungan khususnya sektor industri menyebabkan terjadinya peningkatan jumlah dan jenis pencemar yang masuk ke lingkungan, sehingga kesetimbangan lingkungan menjadi terganggu.

Kandungan logam berat seperti Pb dan Cd bersumber dari buangan limbah industri, penggunaan agrokimia pupuk dan pestisida, limbah pertambangan, dan kegiatan manusia seperti pembakaran. Hal inilah yang mendasari pemilihan logam pencemar untuk penelitian ini. Adapun pencemar yang digunakan adalah limbah buatan sendiri yang mengandung logam Pb dan Cd, dimana baku mutu Pb dan Cd di dalam tanah yaitu >1500 ppm dan 20 – 80 ppm sedangkan ambang batas keberadaan Pb dan Cd di dalam tanaman yaitu >78 ppm dan 45 – 48 ppm (Troung, 2011).

Pencemaran lingkungan khususnya tanah, membutuhkan suatu tindakan pemulihan sehingga dapat digunakan kembali dengan aman. Tindakan yang dilakukan harus dapat mewakili kondisi riil di lapangan seperti kontur dan jenis tanah serta sifat aliran pencemar. Saat ini ada banyak teknologi yang digunakan untuk remediasi tanah yang tercemar logam berat. Salah satu cara untuk memulihkan tanah dari suatu kontaminan logam berat adalah dengan

menggunakan tanaman. Caranya dengan menanam tanaman yang mampu menyerap logam dari tanah (Hardiani, 2009).

Tanah merupakan sumber daya alam yang berfungsi penting dalam kelangsungan makhluk hidup. Bukan hanya berfungsi sebagai tempat berjangkarnya tanaman, penyedia sumber daya penting dan tempat berpijak tetapi juga berfungsi sebagai suatu bagian dari ekosistem. Selain dari pada itu, tanah juga merupakan suatu ekosistem tersendiri. Penurunan fungsi tanah tersebut dapat menyebabkan terganggunya ekosistem di sekitarnya termasuk juga manusia (Sutanto, 2005).

Pencemaran tanah merupakan masuk atau dimasukkannya zat atau sesuatu ke dalam tanah baik secara sengaja maupun tidak sengaja yang merusak tatanan kimia tanah sehingga berubah dari kondisi awalnya. Pencemaran tanah sebagian besar disebabkan oleh limbah padat berupa sampah baik sampah organik maupun sampah anorganik. Sampah-sampah ini kemudian masuk menyerap ke dalam tanah hingga beratus-ratus tahun lamanya karena tidak dapat terurai dalam tanah sedangkan yang dapat terurai kemudian akan menjadi tanah humus. Polutan yang terus menerus dalam tanah akan masuk ke dalam rantai makanan melalui tumbuhan sehingga menyebabkan menurunnya kualitas organisme (Bahtiar, 2007 dalam Patandangan, 2014).

Beberapa metode yang ada saat ini dalam remediasi logam berat antara lain adalah metode isolasi, imobilisasi, penurunan toksisitas/mobilitas, pemisahan fisika dan metode ekstraksi. Salah satu metode penurunan toksisitas/mobilitas logam berat yang aplikatif baik secara *ex situ* maupun *in situ*, mudah pengerjaannya, relatif murah dan bersahabat dengan lingkungan adalah teknik fitoremediasi.

Fitoremediasi merupakan teknik pemulihan lahan tercemar dengan menggunakan tumbuhan untuk membersihkan, menyerap, mendegradasi, mentransformasi dan mengimobilisasi bahan pencemar, baik itu logam berat maupun senyawa organik dan anorganik. Menurut Mangkoediharjo (2010) tumbuhan hiperkumulator bahkan mampu juga mendektosifikasi (menurunkan tingkat toksifitas) logam berat. Selanjutnya, Palar (2008) mengatakan dalam rantai

makanan, logam berat dapat mengancam kehidupan manusia karena jika terakumulasi di dalam tubuh dapat mengakibatkan kelumpuhan bahkan kematian.

Tumbuhan yang digunakan dalam metode fitoremediasi ini adalah tumbuhan *vetiver*. Salah satu tumbuhan *vetiver* yang sering digunakan yaitu rumput akar wangi (*vetiveria zizanioides*). Tanaman ini sejenis rumput yang dapat tumbuh sepanjang tahun dan dapat dengan mudah ditemukan di Indonesia. Tanaman ini berpotensi meremediasi logam berat termasuk timbal dan cadmium karena merupakan tanaman hiperakumulator. Selain itu, tanaman ini memiliki banyak manfaat salah satunya dapat digunakan untuk stabilisasi lereng curam, dapat hidup diberbagai kondisi lingkungan, dan mudah didapatkan.

Penggunaan tanaman akar wangi dalam proses fitoremediasi sangat diharapkan dapat memulihkan kualitas tanah tercemar lebih cepat, mudah dengan menawarkan biaya lebih rendah dibanding tanpa adanya proses fitoremediasi ataupun dengan penggunaan metode berbasis rekayasa seperti pencucian secara kimiawi dan pengerukan.

Berdasarkan uraian diatas maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui besarnya penyisihan logam timbal dan cadmium pada tanah dengan menggunakan tanaman akar wangi (*vetiveria zizanioides*). Judul Penelitian ini adalah “Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) Dengan *Vetiveria Zizanioides* Pada Media Tanah Berkompos”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, maka permasalahan yang dapat dirumuskan adalah :

- 1) Seberapa besar efisiensi penyisihan logam Pb dan Cd pada media tanam menggunakan akar wangi.
- 2) Bagaimana pengaruh komposisi media tanam, konsentrasi logam berat, dan waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan.
- 3) Bagaimana efisiensi penyisihan logam Pb dan Cd pada tanaman akar wangi.

C. Tujuan dan Manfaat Penelitian

1. Tujuan Penelitian:

- a) Untuk menganalisis efisiensi penyisihan logam Pb dan Cd pada media tanam menggunakan akar wangi.
- b) Untuk menganalisis pengaruh komposisi media tanam, konsentrasi logam berat, dan waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan.
- c) Untuk menganalisis efisiensi penyisihan logam Pb dan Cd pada tanaman akar wangi.

2. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini, yaitu:

- a) Bagi Penulis
Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapat gelar ST (Sarjana Teknik) di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- b) Bagi Universitas
Dapat dijadikan sebagai referensi bagi generasi-generasi selanjutnya yang berada di Departemen Teknik Lingkungan khususnya yang mengambil konsentrasi keairan dalam pengerjaan tugas, pembuatan laporan praktikum atau dalam tahap penyusunan tugas akhir.
- c) Bagi Masyarakat
Memberikan pengetahuan bagi masyarakat mengenai manfaat tanaman akar wangi yang dapat digunakan sebagai tanaman penyerap logam.

D. Ruang Lingkup

Adapun batasan-batasan dari masalah ini yaitu :

- 1) Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Air Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

- 2) Parameter logam yang digunakan dalam pencemaran tanah ini adalah logam timbal (Pb) dan cadmium (Cd).
- 3) Konsentrasi logam pencemar Pb yang digunakan adalah 200 ppm, 400 ppm dan 600 ppm.
- 4) Konsentrasi logam pencemar Cd yang digunakan adalah 40 ppm, 60 ppm dan 80 ppm.
- 5) Variasi tanah yang digunakan ada 2 yakni perbandingan tanah dan kompos 30% : 70% dan perbandingan tanah dan kompos 70% : 30%.
- 6) Tumbuhan yang dijadikan objek penelitian adalah tumbuhan akar wangi (*vetiveria zizanioides*).
- 7) Pengukuran efisiensi fitoremediasi dalam penelitian ini menggunakan interval waktu 7, 14 dan 21 hari.

E. Sistematika Penulisan

Tugas Akhir ini terdiri dari beberapa bab, dimana masing-masing bab membahas masalah tersendiri, selanjutnya sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, identifikasi permasalahan objek, maksud dan tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORITIS

Dalam bab ini akan membahas teori-teori yang akan digunakan dalam penyelesaian masalah yang ada.

BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini diuraikan kerangka fikir, ruang lingkup, metode pengumpulan data dan analisis data pada permasalahan yang diteliti.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan data-data hasil penelitian yang telah dikumpulkan, analisis data, hasil analisis data dan pembahasannya.

BAB V PENUTUP

Bab ini mencakup hal-hal yang menjadi kesimpulan beserta saran-saran yang terkait dengan materi penyusunan laporan.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pencemaran Lingkungan

Lingkungan adalah segala sesuatu di luar objek tinjauan. Dalam hal objek tinjauan adalah manusia maka lingkungan manusia adalah aktivitas hidupnya, udara, tanah, hewan, tumbuhan dan segala sesuatu yang terkandung di dalamnya. Undang-undang RI nomor 4 tahun 1982 menyebutkan bahwa lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup, termasuk di dalamnya manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi kelangsungan perikehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lainnya.

Pencemaran lingkungan adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi (Amzani, 2012). Pencemaran lingkungan disebabkan oleh beberapa faktor antara lain:

- 1) Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh alam.

Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh lingkungan merupakan pencemaran yang terjadi secara alamiah disebabkan oleh faktor alam. Misalnya: meletusnya gunung merapi yang berdampak pada semua makhluk hidup akibat paparan asap dan awan panas yang dikeluarkan.

- 2) Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh perbuatan manusia.

Pencemaran ini diakibatkan oleh ulah tangan manusia, misalnya: pembuangan limbah secara sembarangan akibat maraknya pembangunan industri (Bahtiar, 2007 dalam Patandungan, 2014).

Lingkungan dapat dikatakan tercemar jika di masuki oleh zat pencemar yang dapat merusak lingkungan serta makhluk hidup yang ada di dalamnya. Zat pencemar (polutan) yang masuk ke dalam lingkungan dapat berdampak secara

akut (keracunan dalam waktu yang singkat) dan kronis (keracunan dalam waktu yang cukup lama) bagi hewan, tumbuhan maupun manusia.

B. Pencemaran Tanah

1) Pengertian Pencemaran Tanah

Tanah merupakan sumber daya alam yang mengandung benda organik dan anorganik yang mampu mendukung pertumbuhan tanaman. Sebagai faktor produksi pertanian tanah mengandung hara dan air, yang perlu di tambah untuk pengganti yang habis dipakai. Pencemaran tanah dapat terjadi karena hal-hal berikut: pertama, pencemaran secara langsung. Misalnya karena menggunakan pupuk secara berlebihan, pemberian pestisida atau insektisida, dan pembuangan limbah yang tidak dapat diuraikan seperti plastik. Pencemaran juga dapat melalui air. Air yang mengandung bahan pencemar atau polutan akan mengubah susunan kimia tanah sehingga mengganggu jasad yang hidup di dalam atau di permukaan tanah (Budihardjo, 2003).

Menurut Peraturan Pemerintah RI No. 150 tahun 2000 tentang pengendalian kerusakan tanah untuk produksi biomassa yakni tanah adalah salah satu komponen lahan, berupa lapisan teratas kerak bumi yang terdiri dari bahan mineral dan bahan organik serta mempunyai sifat fisik, kimia, biologi, dan mempunyai kemampuan menunjang kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Tetapi yang terjadi akibat kegiatan manusia banyak terjadi kerusakan tanah. Di dalam PP No. 150 tahun 2000 disebutkan bahwa kerusakan tanah untuk produksi biomassa adalah berubahnya sifat dasar tanah yang melampaui kriteria baku kerusakan tanah.

Pencemaran tanah merupakan masuk atau dimasukkannya sesuatu/zat ke dalam tanah baik secara sengaja maupun tidak sengaja yang menyebabkan rusaknya sifat kimia tanah sehingga tidak lagi berfungsi sebagaimana awalnya. Pencemaran tanah sebagian besar disebabkan oleh limbah padat berupa sampah baik sampah organik maupun sampah anorganik. Sampah-sampah ini kemudian

masuk menyerap ke dalam tanah hingga beratus-ratus tahun lamanya karena tidak dapat terurai dalam tanah sedangkan yang dapat terurai kemudian akan menjadi tanah humus. Polutan yang terus menerus dalam tanah akan masuk ke dalam rantai makanan melalui tumbuhan sehingga menyebabkan menurunnya kualitas organisme (Bahtiar, 2007 dalam Patandungan, 2014).

2) Sumber Pencemaran Tanah

Pencemaran tanah tidak jauh beda atau bisa dikatakan mempunyai hubungan yang erat dengan pencemaran udara dan pencemaran air, maka sumber pencemar udara dan sumber pencemar air pada umumnya juga merupakan sumber pencemar tanah. Sebagai contoh gas-gas karbon oksida, nitrogen oksida, belerang oksida yang menjadi bahan pencemar udara yang larut dalam air hujan dan turun ke tanah dapat menyebabkan terjadinya hujan asam sehingga menimbulkan terjadinya pencemaran pada tanah (Patandungan, 2014).

Air permukaan tanah yang mengandung bahan pencemar misalnya tercemari zat radioaktif, logam berat dalam limbah industri, sampah rumah tangga, limbah rumah sakit, sisa-sisa pupuk dan pestisida dari daerah pertanian, limbah detergen, akhirnya juga dapat menyebabkan terjadinya pencemaran pada tanah daerah tempat air permukaan ataupun tanah daerah yang dilalui air permukaan tanah yang tercemar tersebut. Maka sumber bahan pencemar tanah dapat dikelompokkan juga menjadi sumber pencemar yang berasal dari sampah rumah tangga, sampah pasar, sampah rumah sakit, gunung berapi yang meletus/kendaraan bermotor dan limbah industri (Patandungan, 2014).

3) Komponen - Komponen Bahan Pencemar Tanah

Komponen-komponen bahan pencemar yang diperoleh dari sumber-sumber bahan pencemar tersebut di atas antara lain berupa (Muslimah, 2015):

- a) Senyawa organik yang dapat membusuk karena diuraikan oleh mikroorganisme, seperti sisa-sisa makanan, daun, tumbuh-tumbuhan dan hewan yang mati.

- b) Senyawa organik dan senyawa anorganik yang tidak dapat dimusnahkan/diuraikan oleh mikroorganisme seperti plastik, serat, keramik, kaleng-kaleng dan bekas bahan bangunan, menyebabkan tanah menjadi kurang subur.
- c) Pencemar udara berupa gas yang larut dalam air hujan seperti oksida nitrogen (NO dan NO₂), oksida belerang (SO₂ dan SO₃), oksida karbon (CO dan CO₂), menghasilkan hujan asam yang akan menyebabkan tanah bersifat asam dan merusak kesuburan tanah/ tanaman.
- d) Pencemar berupa logam-logam berat yang dihasilkan dari limbah industri seperti Hg, Zn, Pb, Cd dapat mencemari tanah.
- e) Zat radioaktif yang dihasilkan dari PLTN, reaktor atom atau dari percobaan lain yang menggunakan atau menghasikan zat radioaktif.

Pencemaran tanah bisa disebabkan limbah domestik, limbah industri dan limbah pertanian (Amzani, 2012) :

a) Limbah Domestik

Limbah domestik dapat berasal dari daerah: pemukiman penduduk, perdagangan/pasar/tempat usaha hotel dan lain-lain, kelembagaan misalnya kantor-kantor pemerintahan dan swasta, dan wisata dapat berupa limbah padat dan cair.

1) Limbah Padat

Berupa senyawa anorganik yang tidak dapat dimusnahkan atau diuraikan oleh mikroorganisme seperti plastik, serat, keramik, kaleng-kaleng dan bekas bahan bangunan, menyebabkan tanah menjadi kurang subur. Bahan pencemar itu akan tetap utuh hingga 300 tahun yang akan datang. Bungkus plastik yang kita buang ke lingkungan akan tetap ada dan mungkin akan ditemukan oleh anak cucu kita setelah ratusan tahun kemudian.

Sampah anorganik tidak terbiodegradasi, yang menyebabkan lapisan tanah tidak dapat ditembus oleh akar tanaman dan tidak tembus air sehingga peresapan air dan mineral yang dapat menyuburkan tanah hilang dan jumlah mikroorganisme di dalam tanah pun akan berkurang

akibatnya tanaman sulit tumbuh bahkan mati karena tidak memperoleh makanan untuk berkembang.

2) Limbah Cair

Berupa tinja, deterjen, oli, cat jika meresap kedalam tanah akan merusak kandungan air tanah bahkan dapat membunuh mikroorganisme di dalam tanah.

b) Limbah Industri

Limbah industri berasal dari sisa-sisa produksi industri. Limbah cair yang merupakan hasil pengolahan dalam suatu proses produksi, misalnya sisa-sisa pengolahan industri pelapisan logam dan industri kimia lainnya. Tembaga, timbal, perak, krom, arsen dan boron adalah zat-zat yang dihasilkan dari proses industri pelapisan logam seperti Hg, Zn, Pb, Cd dapat mencemari tanah. Merupakan zat yang sangat beracun terhadap mikroorganisme. Jika meresap ke dalam tanah akan mengakibatkan kematian bagi mikroorganisme yang memiliki fungsi sangat penting terhadap kesuburan tanah.

c) Limbah Pertanian

Limbah pertanian dapat berupa sisa-sisa pupuk sintetis untuk menyuburkan tanah atau tanaman, misalnya pupuk urea dan pestisida untuk pemberantas hama tanaman. Penggunaan pupuk yang terus menerus dalam pertanian akan merusak struktur tanah yang menyebabkan kesuburan tanah berkurang dan tidak dapat ditanami jenis tanaman tertentu karena hara tanah semakin berkurang. Penggunaan pestisida bukan saja mematikan hama tanaman tetapi juga mikroorganisme yang berguna di dalam tanah. Padahal kesuburan tanah tergantung pada jumlah organisme di dalamnya. Selain itu penggunaan pestisida yang terus menerus akan mengakibatkan hama tanaman kebal terhadap pestisida tersebut.

4) Dampak Pencemaran Tanah

Berbagai dampak yang ditimbulkan akibat pencemaran tanah diantaranya (Amzani, 2012) :

a) Dampak pada kesehatan

Dampak pencemaran tanah terhadap kesehatan tergantung jalur masuk ke dalam tubuh dan kerentanan populasi yang terkena. Kromium berbagai macam pestisida dan herbisida merupakan bahan karsinogenik untuk semua populasi. Timbal sangat berbahaya pada anak-anak, karena dapat menyebabkan kerusakan otak, serta kerusakan ginjal. Paparan kronis (terus-menerus) terhadap benzena pada konsentrasi tertentu dapat meningkatkan kemungkinan terkena leukemia. Merkuri (air raksa) dan siklodiena dikenal dapat menyebabkan kerusakan ginjal, dan mungkin tidak bisa diobati, PCB dan siklodiena terkait pada keracunan hati, organofosfat dan karmabat menyebabkan gangguan pada saraf otot. Ada beberapa macam dampak pada kesehatan seperti sakit kepala, pusing, letih, iritasi mata dan ruam kulit untuk paparan bahan kimia yang disebut di atas. Dosis yang besar pada pencemaran tanah dapat menyebabkan kematian.

b) Dampak pada lingkungan atau ekosistem

Dampak pada pertanian terutama perubahan metabolisme tanaman yang pada akhirnya dapat menyebabkan penurunan hasil pertanian. Hal ini dapat menyebabkan dampak lanjutan pada konservasi tanaman di mana tanaman tidak mampu menahan lapisan tanah dari erosi. Beberapa bahan pencemar ini memiliki waktu paruh yang panjang dan pada kasus lain bahan-bahan kimia derivatif akan terbentuk dari bahan pencemar tanah utama. Pencemaran tanah juga dapat memberikan dampak terhadap ekosistem. Perubahan kimiawi tanah yang radikal dapat timbul dari adanya bahan kimia beracun/berbahaya bahkan pada dosis yang rendah sekalipun. Perubahan ini dapat menyebabkan perubahan metabolisme dari mikroorganisme endemik dan antropoda yang hidup di lingkungan tanah tersebut. Akibatnya bahkan dapat memusnahkan beberapa spesies primer dari rantai makanan, yang

dapat memberi akibat yang besar terhadap predator atau tingkatan lain dari rantai makanan tersebut.

5) Penanganan Pencemaran Tanah

Pencegahan dan penanggulangan merupakan dua tindakan yang tidak dapat dipisahkan dalam arti biasanya kedua tindakan ini dilakukan untuk saling menunjang, apabila tindakan pencegahan sudah tidak dapat dilakukan, maka dilakukan langkah tindakan. Namun demikian pada dasarnya kita semua sependapat bahwa tindakan pencegahan lebih baik dan lebih diutamakan dilakukan sebelum pencemaran terjadi, apabila pencemaran sudah terjadi baik secara alami maupun akibat aktivitas manusia untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, baru kita lakukan tindakan penanggulangan.

Tindakan pencegahan dan tindakan penanggulangan terhadap terjadinya pencemaran dapat dilakukan dengan berbagai cara sesuai dengan macam bahan pencemar yang perlu ditanggulangi. Langkah-langkah pencegahan dan penanggulangan terhadap terjadinya pencemaran antara lain dapat dilakukan sebagai berikut: (Muslimah, 2015)

a) Langkah Pencegahan

Pada umumnya pencegahan ini pada prinsipnya adalah berusaha untuk tidak menyebabkan terjadinya pencemaran, misalnya mencegah/mengurangi terjadinya bahan pencemar, antara lain:

- 1) Sampah organik yang dapat membusuk/diuraikan oleh mikroorganisme antara lain dapat dilakukan dengan mengukur sampah-sampah dalam tanah secara tertutup dan terbuka, kemudian dapat diolah sebagai kompos/pupuk. Untuk mengurangi terciurnya bau busuk dari gas-gas yang timbul pada proses pembusukan, maka penguburan sampah dilakukan secara berlapis-lapis dengan tanah.
- 2) Sampah senyawa organik atau senyawa anorganik yang tidak dapat dimusnahkan oleh mikroorganisme dapat dilakukan dengan cara membakar sampah-sampah yang dapat terbakar seperti plastik dan serat

baik secara individual maupun dikumpulkan pada suatu tempat yang jauh dari pemukiman, sehingga tidak mencemari udara daerah pemukiman. Sampah yang tidak dapat dibakar dapat digiling/dipotong-potong menjadi partikel kecil, kemudian dikubur.

- 3) Pengolahan terhadap limbah industri yang mengandung logam berat yang akan mencemari tanah, sebelum dibuang ke sungai atau ke tempat pembuangan agar dilakukan proses pemurnian.
- 4) Sampah zat radioaktif sebelum dibuang, disimpan dahulu pada sumur-sumur atau tangki dalam jangka waktu yang cukup lama sampai tidak berbahaya, baru dibuang ke tempat yang jauh dari pemukiman, misalnya pulau karang, yang tidak berpenghuni atau ke dasar lautan yang sangat dalam.
- 5) Penggunaan pupuk pestisida tidak digunakan secara sembarangan namun sesuai dengan aturan dan tidak sampai berlebihan.
- 6) Usahakan membuang dan memakai detergen berupa senyawa organik yang dapat dimusnahkan/diuraikan oleh mikroorganisme.

b) Langkah Penanganan

Penanganan khusus terhadap limbah domestik yang berjumlah sangat banyak diperlukan agar tidak mencemari tanah. Pertama sampah tersebut kita pisahkan ke dalam sampah organik yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme (*biodegradable*) dan sampah yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme (*non-biodegradable*). Akan sangat baik jika setiap rumah tangga bisa memisahkan sampah atau limbah atas dua bagian yakni organik dan anorganik dalam dua wadah berbeda sebelum diangkut ketempat pembuangan akhir.

Sampah organik yang terbiodegradasi bisa diolah, misalnya dijadikan bahan urukan, kemudian kita tutup dengan tanah sehingga terdapat permukaan tanah yang dapat kita pakai lagi, dibuat kompos, khusus kotoran hewan dapat dibuat biogas dll sehingga dalam hal ini bukan pencemaran tanah yang terjadi tetapi proses pembusukan organik yang alami.

Sampah anorganik yang tidak dapat diurai oleh mikroorganisme. Cara penanganan yang terbaik dengan daur ulang. Kurangilah penggunaan pupuk sintetis dan berbagai bahan kimia untuk pemberantasan hama seperti pestisida. Limbah industri harus diolah dalam pengolahan limbah, sebelum dibuang ke sungai atau ke laut. Kurangilah penggunaan bahan-bahan yang tidak bisa diuraikan oleh mikroorganisme (*non-biodegradable*). Salah satu contohnya adalah dengan mengganti plastik sebagai bahan kemasan/pembungkus dengan bahan yang ramah lingkungan seperti dengan daun pisang atau daun jati. Ada beberapa langkah penanganan untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh pencemaran tanah diantaranya:

1. Remediasi

Remediasi adalah kegiatan untuk membersihkan permukaan tanah yang tercemar. Ada dua jenis remediasi tanah, yaitu *in-situ* (*on-site*) dan *ex-situ* (*off-site*). Pembersihan *on-site* adalah pembersihan di lokasi. Pembersihan ini lebih murah dan lebih mudah, terdiri dari pembersihan, *venting* (injeksi) dan bioremediasi.

Pembersihan *off-site* meliputi penggalian tanah yang tercemar dan kemudian dibawa ke daerah yang aman. Setelah itu di daerah aman, tanah tersebut dibersihkan dari zat pencemar. Caranya yaitu, tanah tersebut disimpan di bak/tanki yang kedap, kemudian zat pembersih dipompakan ke bak/tangki tersebut. Selanjutnya zat pencemar dipompakan keluar dari bak yang kemudian diolah dengan instalasi pengolahan air limbah. Pembersihan *off-site* ini jauh lebih mahal dan rumit.

2. Bioremediasi

Bioremediasi adalah proses pembersihan pencemaran tanah dengan menggunakan mikroorganisme (jamur, bakteri). Bioremediasi bertujuan untuk memecah atau mendegradasi zat pencemar menjadi bahan yang kurang beracun atau tidak beracun (karbondioksida dan air) (Muslimah, 2015).

6) Baku Mutu

Baku mutu lingkungan hidup adalah ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi, atau komponen yang ada atau harus ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam suatu sumber daya tertentu sebagai unsur lingkungan hidup. Sedangkan menurut USDA (2003) indikator mutu tanah adalah sifat fisik, kimia dan biologi tanah serta proses dan karakteristik yang dapat diukur untuk memantau berbagai perubahan dalam tanah. Indikator mutu tanah akan menentukan kemampuan tanah untuk memenuhi fungsinya.

Untuk mengetahui pencegahan dan penanggulangan pencemaran logam berat yang mencemari lingkungan sangat penting diketahui batas/nilai ambang logam. Nilai ambang logam berat yang tercemar dalam tanah berbeda pada masing-masing negara. Namun ada beberapa hasil penelitian yang dapat dijadikan sebagai acuan untuk tindakan reklamasi lahan. Pada Tabel 1 dicantumkan data kisaran nilai ambang logam berat dalam tanah. Dalam Tabel 2 tertera ambang batas yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk mengingatkan telah terjadi pencemaran pada suatu daerah, sehingga arahan penanggulangannya dapat ditetapkan. Hal untuk standarisasi mutu lingkungan, agar lingkungan hidup terjaga terutama sungai dan lahan pertanian.

Tabel 1. Kisaran logam berat dalam tanah

No.	Logam berat	Nilai ambang dalam tanah (ppm)
1	As	0,1 – 4,0
2	B	2 – 100
3	F	30 – 300
4	Cd	0,1 – 7,0
5	Mn	100 – 4000
6	Ni	10 – 1000
7	Zn	10 – 300
8	Cu	2 – 100
9	Pb	2 – 200

Sumber : Balitbangtan di Balai Penelitian Tanah

Tabel 2. Batas kritis unsur-unsur logam berat dalam tanah, air, tanaman, dan beras

Unsur logam berat	Tanah (ppm)	Air (ppm)	Tanaman (ppm)	Beras/tepung (ppm)
Pb	100	0,03	50	1,0
Cd	0,50	0,05 – 0,10	5 – 30	0,5
Co	10	0,4 -0,6	15 – 30	-
Cr	2,5	0,5 – 1,0	5 – 30	-
Ni	20	0,2 – 0,5	5 – 30	-
Cu	60-125	2 – 3	20 – 100	10
Mn	1.500	-	-	-
Zn	70	5 - 10	100 - 400	40

Sumber : Balitbangtan di Balai Penelitian Tanah

C. Pencemaran Logam Berat

Logam adalah zat dengan konduktivitas tinggi listrik, kelenturan, dan kilau, yang secara sukarela kehilangan trons pemilu mereka untuk membentuk kation. Distribusi logam di atmosfer dipantau oleh sifat dari logam yang diberikan dan oleh berbagai faktor lingkungan (Khlif & Hamza- Chaffai, 2010 dalam Rosihan & Husaini, 2017).

Logam berat tergolong kriteria yang sama dengan logam lainnya. Hal yang membedakan adalah pengaruh yang dihasilkan saat logam berat berikatan dan atau masuk ke dalam organisme hidup. Contoh ketika unsur logam besi atau Fe masuk ke dalam tubuh, walaupun dengan kadar berlebihan, seringkali tidak menimbulkan dampak negatif bagi tubuh. Karena sejatinya unsur besi (Fe) diperlukan dalam darah untuk mengikat oksigen. Lain hal dengan unsur logam berat, baik itu logam berat beracun yang dipentingkan seperti tembaga atau Cu, bila masuk ke dalam tubuh dengan kadar yang berlebih akan menimbulkan dampak negatif terhadap fungsi fisiologi tubuh. Ketika unsur logam berat beracun seperti hidrargyrum (Hg) atau disebut air raksa, masuk ke dalam tubuh organisme hidup maka dapat dipastikan organisme tersebut akan langsung keracunan (Khlif & Hamza- Chaffai, 2010 dalam Rosihan & Husaini, 2017).

Logam berat termasuk zat pencemar karena sifatnya yang stabil dan sulit diuraikan. Logam berat dalam tubuh yang membahayakan pada kehidupan organisme dan lingkungan adalah dalam bentuk terlarut. Di dalam tanah logam tersebut mampu membentuk kompleks dengan bahan organik dalam tanah sehingga menjadi logam yang tidak larut. Logam yang diikat menjadi kompleks organik ini sukar untuk dicuci serta relatif tidak tersedia bagi tanaman. Dengan demikian senyawa organik tanah mampu mengurai bahaya potensi yang disebabkan oleh logam berat beracun.

Menurut Widowati, *et al.*, (2008), penggunaan logam sebagai bahan baku berbagai jenis industri untuk memenuhi kebutuhan manusia akan mempengaruhi kesehatan manusia melalui 2 jalur, yaitu :

- 1) Kegiatan industri akan menambah polutan logam dalam lingkungan udara, air, tanah dan makanan.
- 2) Perubahan biokimia logam sebagai bahan baku berbagai jenis industri bisa mempengaruhi kesehatan manusia.

Pencemaran logam berat dalam lingkungan bisa menimbulkan bahaya bagi kesehatan, baik pada manusia, hewan, tanaman maupun lingkungan. Terdapat 80 jenis logam berat dari 109 unsur kimia di muka bumi ini. Logam berat dibagi ke dalam 2 jenis, yaitu :

- 1) Logam berat esensial yaitu logam dalam jumlah tertentu yang sangat dibutuhkan oleh organisme. Dalam jumlah yang berlebihan, logam tersebut bisa menimbulkan efek toksik. Contohnya adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan lain sebagainya.
- 2) Logam berat tidak esensial yaitu logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, bahkan bersifat toksik seperti Hg, Cd, Cr dan lain-lain.

Logam berat dapat menimbulkan efek gangguan terhadap kesehatan manusia, tergantung pada bagian mana dari logam berat tersebut yang terikat dalam tubuh serta besarnya dosis paparan. Efek toksik dari logam berat mampu menghalangi kerja enzim sehingga mengganggu metabolisme tubuh, menyebabkan alergi, bersifat mutagen, teratogen, atau karsinogen bagi manusia

maupun hewan. Tingkat toksisitas logam berat terhadap manusia dari yang paling toksik adalah Hg, Cd, Ag, Ni, Pb, As, Cr, Sn, Zn (Widowati, *et al.*, 2008).

D. Jenis Logam

1) Logam Timbal (Pb)

a) Pengertian Logam Timbal (Pb)

Timbal atau yang kita kenal sehari-hari dengan timah hitam dan dalam bahasa ilmiahnya dikenal dengan kata *Plumbum* dan logam ini disimpulkan dengan timbal (Pb). Logam ini termasuk ke dalam kelompok logam-logam golongan IV–A pada tabel periodik unsur kimia. Mempunyai nomor atom (NA) 82 dengan bobot atau berat (BA) 207,2 adalah suatu logam berat berwarna kelabu kebiruan dan lunak dengan titik leleh 327°C dan titik didih 1.620°C. Pada suhu 550-600 °C. Timbal (Pb) menguap dan membentuk oksigen dalam udara membentuk timbal oksida. Walaupun bersifat lunak dan lentur, timbal (Pb) sangat rapuh dan mengkerut pada pendinginan, sulit larut dalam air dingin, air panas dan air asam. Timbal (Pb) dapat larut dalam asam nitrit, asam asetat dan asam sulfat pekat (Palar, 2008).

Menurut Widowati, *et al.*, (2008), timbal pada awalnya adalah logam berat yang secara alami terdapat di dalam kerak bumi. Timbal adalah logam yang mendapat perhatian karena bersifat toksik melalui makanan, minuman, udara, air, serta debu yang tercemar timbal. Menurut Sunu dalam Sihite (2015), timbal merupakan logam yang sangat beracun yang pada dasarnya tidak dapat dimusnahkan serta tidak terurai menjadi zat lain.

b) Sifat-Sifat Logam Timbal (Pb)

Menurut Fardiaz (1992), timbal banyak digunakan untuk berbagai keperluan karena sifat-sifatnya sebagai berikut :

- 1) Timbal mempunyai titik cair rendah sehingga jika digunakan dalam bentuk cair dibutuhkan teknik yang cukup sederhana dan tidak mahal.

- 2) Timbal merupakan logam yang lunak sehingga mudah diubah menjadi berbagai bentuk.
- 3) Sifat-sifat kimia timbal menyebabkan logam ini berfungsi sebagai lapisan pelindung jika kontak dengan udara lembab.
- 4) Timbal dapat membentuk *alloy* dengan logam lainnya. *Alloy* yang terbentuk mempunyai sifat berbeda dengan timbal yang murni.
- 5) Densitas timbal lebih tinggi dibandingkan dengan logam lainnya kecuali emas dan merkuri.

c) Dampak Logam Timbal (Pb)

1) Udara

Pencemaran timbal di udara dapat disebabkan oleh asap yang berasal dari cerobong pabrik yang mengolah senyawa timbal dan knalpot kendaraan. Senyawa-senyawa timbal dalam keadaan kering dapat terdispersi di dalam udara, sehingga kemudian terhirup pada saat bernafas dan sebagian akan diserap kulit ataupun diserap oleh daun tumbuhan (Palar, 2008). Baku mutu udara ambien untuk timbal berdasarkan PP RI No. 41 Tahun 1999 yaitu sebesar 2,0 g/Nm.

2) Air

Timbal dapat masuk ke badan perairan melalui pengkristalan timbal di udara dengan bantuan air hujan. Pencemaran timbal di perairan juga dapat disebabkan oleh berbagai aktivitas manusia seperti dari air buangan (limbah) dari industri yang berkaitan dengan timbal. Limbah tersebut akan jatuh pada jalur-jalur perairan dan akan merusak tata lingkungan perairan yang dimasukinya. Badan perairan yang telah kemasukan senyawa atau ion-ion Pb dengan jumlah yang melebihi konsentrasi semestinya, dapat menyebabkan kematian bagi biota perairan tersebut. Konsentrasi Pb yang mencapai 188 mg/L dapat membunuh ikan-ikan (Palar, 2008). Baku mutu timbal di perairan berdasarkan PP No. 20 tahun 1990 adalah 0,1 mg/l.

3) Tanah

Pencemaran timbal di tanah dapat disebabkan oleh buangan sampah sisa produk konsumen yang mengandung timbal. Keberadaan timbal di dalam tanah dapat juga berasal dari emisi kendaraan bermotor, yang mana partikel timbal yang terlepas ke udara secara alami dengan adanya gaya gravitasi membuat timbal turun ke tanah. Rata-rata timbal yang terdapat di dalam tanah adalah sebesar 5 – 25 mg/kg (Widowati *et. al.* 2008).

2) Logam Kadmium (Cd)

a) Pengertian Logam Kadmium (Cd)

Logam Kadmium (Cd) merupakan logam yang bernomor atom 48 dan massa atom 112,41. Logam ini termasuk dalam logam transisi pada periode V dalam tabel periodik. Logam Cd dikenal sebagai unsur *chalcophile*, jadi cenderung ditemukan dalam deposit sulfid. Kelimpahan Cd pada kerak bumi adalah 0,13 µg/g. Pada lingkungan akuatik, Cd relatif bersifat mudah berpindah. Cd memasuki lingkungan akuatik terutama dari deposisi atmosferik dan efluen pabrik yang menggunakan logam ini dalam proses kerjanya. Di perairan umumnya Cd hadir dalam bentuk ion-ionnya yang terhidrasi, garam-garam klorida, terkomplekskan dengan ligan anorganik atau membentuk kompleks dengan ligan organik (Weiner, 2008).

b) Sifat-Sifat Logam Kadmium (Cd)

1. Logam berwarna putih keperakan.
2. Mengkilat.
3. Lunak/Mudah ditempa dan ditarik dengan titik lebur yang rendah.
4. Akan kehilangan kilapnya jika berada dalam udara yang basah atau lembab dan akan mengalami kerusakan bila terkena uap amonia dan sulfur hidroksida.
5. Tidak larut dalam basah.

6. Larut dalam H_2SO_4 encer dan HCl encer Cd.
7. Cd tidak menunjukkan sifat amfoterd.
8. Bereaksi dengan halogen dan non logam seperti S, Se, P.
9. Cd adalah logam yang cukup aktif.
10. Dalam udara terbuka, jika dipanaskan akan membentuk asap coklat CdOg.
11. Memiliki ketahanan korosi yang tinggi. (Angga, 2010)

c) Dampak Logam Kadmium (Cd)

Dalam lingkungan, logam cadmium (Cd) dan persenyawaannya ditemukan dalam banyak lapisan. Secara sederhana dapat diketahui bahwa kandungan logam Cd akan dapat dijumpai di daerah penimbunan sampah dan aliran air hujan, selain dalam air buangan. Logam Cd juga membawa sifat racun yang dapat sangat merugikan semua organisme hidup termasuk manusia. Dalam badan perairan, kelarutan Cd dalam konsentrasi tertentu dapat membunuh biota perairan. Biota-biota yang tergolong *crustacean* akan mengalami kematian dalam waktu 24-504 jam bila dalam badan air dimana rentang konsentrasi Cd dalam perairan adalah 0,005-0,15 ppm. Untuk biota yang tergolong *insect* akan mengalami kematian 24-672 jam dimana rentang konsentrasi Cd adalah 0,0028-4,6 ppm. Sedangkan untuk perairan tawar seperti ikan emas akan mengalami kematian dalam waktu 96 jam dengan rentang konsentrasi Cd dalam perairan yaitu 1,092-1,104 ppm (Angga, 2010).

Logam kadmium atau Cd juga akan mengalami proses biotransformasi dan bioakumulasi dalam organisme hidup. Logam ini masuk ke dalam tubuh bersama makanan yang dikonsumsi tetapi makanan tersebut telah terkontaminasi oleh logam Cd dan atau persenyawaannya. Dalam tubuh biota perairan, jumlah logam yang terakumulasi akan mengalami peningkatan dengan adanya proses biomagnifikasi badan air. Di samping itu, tingkatan biota dalam sistem rantai makanan turut menentukan jumlah Cd yang terakumulasi. Dimana pada biota yang lebih tinggi stratanya akan ditemukan akumulasi Cd yang lebih banyak, sedangkan pada biota level merupakan tempat akumulasi paling besar. Bila

jumlah Cd yang masuk tersebut telah melebihi nilai ambang batas maka biota dari suatu level atau strata tersebut akan mengalami kematian dan bahkan kemusnahan. Keadaan inilah yang menjadi penyebab kehancuran suatu tatanan sistem lingkungan (ekosistem) karena salah satu mata rantainya telah hilang. Pada hewan yang hidup di tanah dan bangsa mamalia, dimana dalam tubuh mereka telah terakumulasi oleh Cd, maka Cd yang terakumulasi akan ditransfer oleh *gut wall* (celah dinding/kulit).

Logam atau persenyawaan Cd yang terdapat di udara dalam bentuk partikular, akan dapat diserap oleh tumbuh-tumbuhan. Pada tumbuhan yang menyerap partikular Cd akan mengalami peristiwa terjadinya hambatan terhadap penyerapan zat besi yang sangat dibutuhkan oleh klorofil(zat hijau daun) tumbuhan.

E. Fitoremediasi

1) Pengertian Fitoremediasi

Ide dasar bahwa tumbuhan dapat digunakan untuk remediasi lingkungan dimulai dari tahun 1970-an. Seorang ahli geobotani di Caledonia menemukan tumbuhan *Sebertia Acuminata* yang dapat mengakumulasi hingga 20% Ni dalam Tajuknya dan pada tahun 1980-an beberapa penelitian mengenai akumulasi logam berat oleh tumbuhan sudah mengarah pada realisasi penggunaan tumbuhan untuk membersihkan polutan. Istilah fitoremediasi berasal dari kata Inggris *phytoremediation*, kata ini tersusun atas dua bagian kata, yaitu *phyto* yang berasal dari kata Yunani *phyton* (tumbuhan) dan *remediation* yang berasal dari kata latin *remedium* (menyembuhkan), dalam hal ini juga berarti menyelesaikan masalah dengan cara memperbaiki kesalahan atau kekurangan. Dengan demikian fitoremediasi merupakan penggunaan tanaman untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan atau menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik (Fahrudin, 2010).

Fitoremediasi didefinisikan sebagai pencucian polutan yang dimediasi oleh tumbuhan, termasuk pohon, rumput-rumputan dan tumbuhan air. Pencucian bisa berarti penghancuran, inaktivasi atau imobilisasi polutan ke bentuk yang tidak berbahaya (Chaney et al, 1995 dalam Hidayat, 2005). Fitoremediasi adalah sebuah teknologi untuk membersihkan daerah yang terkontaminasi dengan biaya rendah yang berpotensi diterapkan pada pencemaran lingkungan yang paling parah seperti kontaminasi arsen pada lahan bekas instalasi senjata kimia dan memiliki keuntungan estetis (Feller, 2000 dalam Hidayat, 2005).

Ada beberapa strategi fitoremediasi yang sudah digunakan secara komersial maupun masih dalam taraf riset yaitu strategi berlandaskan pada kemampuan mengakumulasi kontaminan (*phytoextraction*) atau pada kemampuan menyerap dan mentranspirasi air dari dalam tanah (*rhizofiltration*). Kemampuan akar menyerap kontaminasi dari air tanah (*rhizofiltration*) dan kemampuan tumbuhan dalam memetabolisme kontaminan di dalam jaringan (*phytotransformation*) juga digunakan dalam strategi fitoremediasi (Hidayat, 2005).

Fitoremediasi juga berlandaskan pada kemampuan tumbuhan dalam menstimulasi aktivitas biodegradasi oleh mikroba yang berasosiasi dengan akar (*phytostimulation*) dan imobilisasi kontaminan di dalam tanah oleh eksudat dari akar (*phytostabilization*) serta kemampuan tumbuhan dalam menyerap logam dari dalam tanah dalam jumlah besar dan secara ekonomis digunakan untuk meremediasi tanah yang bermasalah (*phytomining*) (Hidayat, 2005).

2) Keuntungan dan kekurangan fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan suatu teknik yang menjanjikan dapat mengatasi pencemaran dengan murah, efektif dan dapat digunakan secara langsung di tempat yang tercemar, serta dapat digunakan secara langsung di tempat yang tercemar, serta dapat digunakan secara langsung di tempat yang terkena pencemaran dengan menggunakan pepohonan, tanaman pangan dan tanaman berbunga (Fahrudin, 2010).

Teknologi ini potensial untuk diaplikasikan, aman digunakan dengan dampak negatif kecil, memberikan efek positif yang multiguna terhadap kebijakan pemerintah, komunitas masyarakat dan lingkungan, biaya relatif rendah, mampu mereduksi volume kontaminan dan memberikan keuntungan langsung bagi kesehatan masyarakat. Keuntungan paling besar dalam penggunaan fitoremediasi adalah biaya operasi yang lebih murah (Fahrudin, 2010).

Keuntungan utama dari aplikasi teknik fitoremediasi dibandingkan dengan sistem remediasi lainnya adalah kemampuannya untuk menghasilkan buangan sekunder yang lebih rendah sifat toksinya, lebih bersahabat dengan lingkungan serta lebih ekonomis. Kelemahan fitoremediasi adalah dari segi waktu yang dibutuhkan lebih lama dan juga terdapat kemungkinan masuknya kontaminan ke dalam rantai makanan melalui konsumsi hewan dari tanaman tersebut (Pratomo dkk, 2004 dalam Fahrudin, 2010).

Metode fitoremediasi sangat berkembang pesat karena metode ini mempunyai beberapa keunggulan diantaranya finansial relatif lebih murah dibandingkan dengan metoda konvensional biaya dapat dihemat sebesar 75-85%.

Penelitian yang menunjukkan kesuksesan metode fitoremediasi sudah banyak dilakukan diantaranya penelitian tanah dan air tanah yang tercemar oleh *trichloroethylen* (TCE) di *Naval Air Station Joint Resesrve Base Forth Worth* dengan menggunakan tanaman kapas setelah satu tahun terjadi pengurangan konsentrasi TCE di tanah dan air tanah. Penelitian yang lain yaitu di pabrik amunisi di Iowa yang terkontaminasi oleh TNT baik tanah dan air tanahnya konsentrasi TNT ditanah dapat berkurang sehingga tinggal 1-5% saja (Kelly, 1997 dalam Ady, 2014).

Penelitian metoda fitoremediasi yang disebabkan oleh kontaminan hidrokarbon juga banyak dilakukan diantaranya di Alabama tanah sekitar 1500 kubik yard tercemar oleh kontaminan hidrokarbon dan secara rata-rata kandungan TPH pada tanah melebihi 100 ppm, tetapi setelah satu tahun tanah tersebut ditutup oleh vegetasi kandungan dan TPH ditanah secara rata-rata kurang dari 10 ppm (Kelly, 1997 dalam Ady, 2014).

3) Mekanisme Fitoremediasi

Metode remediasi yang dikenal dengan fitoremediasi ini mengandalkan pada peranan tumbuhan yang menyerap, mendegradasi dan mentransformasi bahan pencemar, baik itu logam berat maupun senyawa organik.

Mekanisme kerja fitoremediasi terdiri dari beberapa konsep dasar yakni *fitoekstraksi*, *fitovolatilisasi*, *fitostabilisasi*, *rhizofiltrasi* dan interaksi dengan mikroorganisme pendegradasi polutan (Kelly, 1997 dalam Ady, 2014) :

a) Fitoekstraksi

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 di *landfiling*.

b) Fitovolatilisasi

Fitovolatilisasi merupakan proses penyerapan polutan oleh tanaman dan polutan tersebut diubah menjadi bersifat volatil dan kemudian ditranspirasikan oleh tanaman. Polutan yang dilepaskan oleh tanaman ke udara bisa sama seperti bentuk senyawa awal polutan, bisa juga menjadi senyawa yang berbeda dari senyawa awal. *Fitovolatilisasi* terjadi ketika tumbuhan menyerap kontaminan dan melepaskan ke atmosfer lewat daun.

c) Fitodegradasi

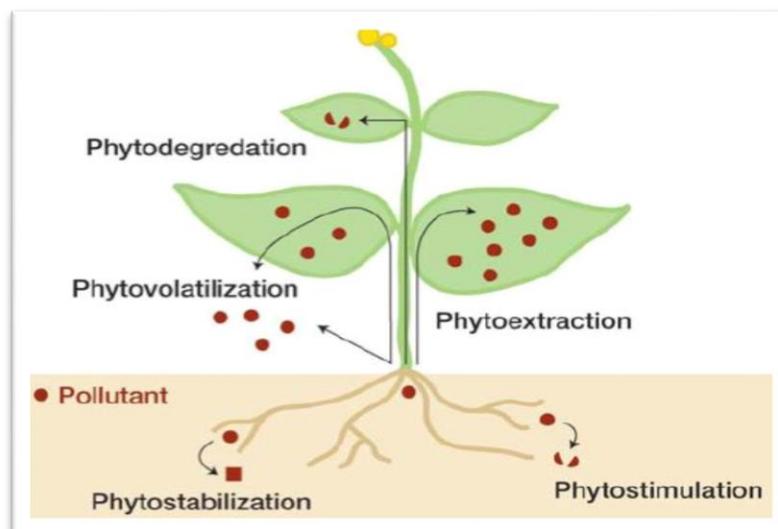
Fitodegradasi adalah metabolisme bahan pencemar di dalam jaringan tumbuhan. *Fitodegradasi* adalah proses penyerapan polutan oleh tanaman dan kemudian polutan tersebut mengalami metabolisme di dalam tanaman. Metabolisme polutan di dalam tanaman melibatkan enzim antara lain *nitroductase*, *laccase*, *dehalogenase* dan *nitrilase*.

d) Fitostabilisasi

Fitostabilisasi merupakan proses yang dilakukan oleh tanaman untuk mentransformasi polutan di dalam tanah menjadi senyawa yang non toksik tanpa menyerap terlebih dahulu polutan tersebut ke dalam tanaman. Hasil transformasi dari polutan tersebut tetap berada di dalam tanah. *Fitostabilisasi* adalah suatu fenomena diproduksinya senyawa kimia tertentu untuk mengimobilisasi kontaminan di daerah-daerah rizosfer atau akar untuk stabilisasi tanah yang tercemar.

e) Rizofiltrasi

Rhizofiltrasi adalah proses penyerapan polutan oleh tanaman tetapi biasanya konsep dasar ini berlaku apabila medium yang tercemarnya adalah badan perairan. Pemanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap, mengendapkan dan mengakumulasi logam dari aliran limbah ini umumnya dilakukan untuk membersihkan lingkungan akuatik yang tercemar.



Gambar 1. Jalur penyerapan pada proses fitoremediasi

Sumber : Komarawidjaja dan Garno (2015)

4) **Persyaratan Tanaman Untuk Fitoremediasi**

Pada penelitian fitoremediasi di lapangan ada beberapa persyaratan bagi tanaman yang akan digunakan dalam penelitian tersebut. Tidak semua tanaman dapat digunakan dalam penelitian tersebut. Tidak semua tanaman dapat digunakan dikarenakan semua tanaman tidak dapat melakukan metabolisme, voltilisasi dan akumulasi semua polutan dengan mekanisme yang sama. Menurut Youngman untuk menentukan tanaman yang dapat digunakan pada penelitian fitoremediasi dipilih tanaman yang mempunyai sifat :

- a) Cepat tumbuh.
- b) Mampu mengkonsumsi air dalam jumlah yang banyak pada waktu yang singkat.
- c) Mampu meremediasi lebih dari satu polutan.
- d) Toleransi yang tinggi terhadap polutan.

F. Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria Zizanioides*)

1. Morfologi Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria Zizanioides*)

Vetiveria zizanioides merupakan tanaman asli dari India dan Sri Lanka, tumbuh pada ketinggian antara 600 - 2500 m dari permukaan laut, membutuhkan iklim panas dan lembab. Penemuan penggunaan tanaman ini untuk fitoremediasi pada daerah yang terkontaminasi dapat digunakan untuk remediasi tanah tercemar yang ramah lingkungan. Di Australia telah berhasil digunakan untuk menstabilkan pertambangan yang sangat salin, sodik, atau tailing dari tambang batubara dan emas (Truong and Baker, 1998 dalam Ady, 2014).

Vetiver yang di Indonesia dikenal sebagai akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) adalah sejenis rumput-rumputan berukuran besar yang memiliki banyak keistimewaan. Di Indonesia rumput ajaib ini baru dimanfaatkan sebagai penghasil minyak atsirin melalui ekstraksi akar wangi, tetapi di mancanegara *vetiver* banyak dimanfaatkan untuk berbagai keperluan ekologis dan fitoremediasi (memperbaiki lingkungan dengan menggunakan tanaman) lahan dan air, seperti rehabilitasi

lahan bekas pertambangan, pencegah erosi lereng, penahan abrasi pantai dan stabilisasi tebing melalui teknologi yang disebut *Vetiver Grass Technology (VGT)* atau *Vetiver System (VS)*, sebuah teknologi yang sudah dikembangkan selama lebih dari 200 tahun di India (PSN, 2009 dalam Ady, 2014).

Vetiver system adalah sebuah teknologi sederhana yang berbiaya murah dengan memanfaatkan tanaman *vetiver* hidup untuk konservasi tanah dan air serta perlindungan lingkungan. *Vetiver system* sangat praktis, tidak mahal, mudah dipelihara, dan sangat efektif dalam mengontrol erosi dan sedimentasi tanah, konservasi air, serta stabilisasi dan rehabilitasi lahan. *Vetiver* juga mudah dikendalikan karena tidak menghasilkan bunga dan biji yang dapat cepat menyebar liar seperti alang-alang atau rerumputan lainnya.

Keistimewaan *vetiver* sebagai tanaman ekologis disebabkan oleh sistem perakarannya yang unik. Tanaman ini memiliki akar serabut yang masuk sangat jauh ke dalam tanah (saat ini rekor akar *vetiver* terpanjang adalah 5,2 meter yang ditemukan di Doi Tung, Thailand). Akar *vetiver* diketahui mampu menembus lapisan setebal 15 cm yang sangat keras. Di lereng-lereng yang keras dan berbatu, ujung-ujung akar *vetiver* mampu masuk menembus dan menjadi semacam jangkar yang kuat. Cara kerja akar ini seperti besi kolom yang masuk ke dalam menembus lapisan tekstur tanah dan pada saat yang sama menahan partikel-partikel tanah dengan akar serabutnya. Kondisi ini bisa mencegah erosi yang disebabkan oleh angin dan air sehingga *vetiver* dijuluki sebagai “kolom hidup” (PSN, 2009 dalam Ady, 2014).

Vetiveria zizanioides termasuk dalam divisi *magnoliophyta*, kelas *liliopsida*, ordo *poales*, famili *poaceae*, genus *vetiveria* dan spesies *vetiveria zizanioides*. Spesies tanaman ini memiliki dua genotipe, yakni *vetiveria zizanioides* yang fertile yang berasal dari India Utara dan genotipe lainnya ada di India Selatan yang biasa dipakai di negara Asia lainnya. Negara produsen terbesar yaitu Haiti, India dan Jawa (Indonesia).



Gambar 2. Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*)

Vetiver steril ini berkembang biak dengan stolon bawah tanah dan dapat dikontrol pertumbuhannya. Contoh genotipe steril yang berhasil dikembangkan oleh Australia adalah *genotype "monto"* dan tanaman genotip ini dapat digunakan lebih optimal sebagai makanan ternak hewan lokal Australia.

Faktor dan syarat pertumbuhan *vetiver* untuk tanah diperuntukkan tanah berpasir, tanah agak liat, tapi tanah liat tidak dapat ditumbuhi. Faktor topografi tanaman ini menghindari kemiringan yang tinggi karena dapat menyebabkan kelebihan air. Lokasi yang datar dianjurkan, tapi asupan air harus tetap dimonitor, *vetiver* dewasa tahan dikondisi yang penuh kandungan air. Syarat nutrisi yakni menyerap nutrisi terlarut seperti N dan P, toleran terhadap Sodium, Mg, Al dan Mn. Faktor pH dan kondisi tanahnya bertahan di pH 3,3 - 12,5, tahan terhadap kadar garam tinggi. Faktor cahaya dan temperatur dapat tumbuh di bawah naungan (*shading*), toleran tumbuh di suhu -15°C hingga 55°C , namun tumbuh optimal di temperatur 25°C serta akar berdomansi di suhu 5°C . Tanaman ini mampu bertahan di kekeringan, banjir dan air tergenang, Toleransi di tingkat presipitasi 6,4 - 41,0 tapi sekurang-kurangnya 225 mm (Truong et al, 2008 dalam Ady, 2014).

2. Peranan Akar Wangi (*Vetiveria Zizanioides*) Dalam Memulihkan Tanah Tercemar

Akar wangi (*vetiveria zizanioides*) merupakan tanaman perennial berbentuk rumpun dengan perakaran yang rimbun dan tumbuh lurus ke dalam tanah, termasuk golongan rumput dengan tinggi 0,5-1,5 m. Tanaman akar wangi tahan terhadap logam berat, salinitas dan dapat tumbuh pada pH antara 3-11,5 sehingga dapat digunakan untuk merehabilitasi kondisi fisik dan kimia tanah yang rusak. Perakarannya yang rimbun, maka dapat digunakan sebagai penahan erosi. Temperatur yang dapat menyebabkan tanaman ini mati berkisar antara -15°C hingga -20°C . Akar siap untuk dipanen setelah 12 - 24 bulan.

Menurut Greenfield, Tanaman *vetiveria zizanioides* baik *xerophyte* atau air tidak terpengaruh oleh kekeringan atau banjir. Tanaman ini sangat toleran terhadap kekeringan dan banjir, embun beku, panas, pH tanah ekstrim, toksisitas aluminium dan mangan, serta sangat toleran untuk berbagai macam logam seperti arsen, besi, kadmium, kobalt, krom, merkuri, tembaga, timbal, nikel dan seng. Sehingga mendapat julukan spesies agroforestri berguna. Pemanfaatan tanaman ini cocok untuk stabilisasi, rehabilitasi dan reklamasi tanah sulfat masam dan yang terkontaminasi logam berat.

Tanaman *vetiveria zizanioides* memiliki kemampuan ekonomi dan ekologi, yakni menghasilkan minyak esensial mudah menguap yang disuling dari akar dan sudah digunakan oleh lebih dari 70 negara (Akhila dan Rani, 2002) serta memiliki sifat konservasi, seperti tinggi dengan 2 m, tanaman kuat padat karena sistem perakaran akar vertikal $>3\text{m}$, berguna dalam pengendalian erosi tanah. Di Indonesia, tanaman tersebut diambil akarnya untuk produksi akar di tanam pada tanah berpasir atau gembur agar akar dapat dengan mudah ditarik.

Vetiveria zizanioides terdiri atas dua jenis, yaitu jenis piaraan dari India Selatan yang cocok untuk pengendalian erosi dan jenis liar dari India Utara yang bisa menyebar dan menjadikan masalah bagi petani. Tanaman ini sangat toleran terhadap Ag, Cd, Mn, Al dan bahan-bahan beracun lainnya. Perbanyak tanaman dengan vegetatif, sifat tanaman tidak invasive, sangat tahan terhadap serangga

hama dan penyakit dan secara luas telah diseluruh dunia untuk konservasi, restorasi dan kelembaban tanah.

G. Jurnal yang Terkait Dengan Penelitian

Tabel 3 Jurnal terkait penelitian

No.	Nama Penulis / Tahun Terbit	Judul Jurnal
1.	Anisah As'ad / 2015	Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Zn dan Cu Dengan Menggunakan Tanaman Akar Wangi (<i>Vetiveria Zizanioides</i>)
2.	Angga Reksa / 2015	Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Cd dan Cr Dengan Menggunakan Tanaman <i>Vetiver</i> Pada Media Tanah Lanau
3.	Livia Sisilia Ui / 2015	Pemanfaatan Tanaman Akar Wangi (<i>Vetiveria Zizanioides</i> (L.) Nash) Untuk Penyerapan Logam Berat Tembaga (Cu)
4.	Gisela Perada / 2015	Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Besi (FE) dan Kobalt (CO) dengan Tanaman Akar Wangi (<i>Vetiveria Zizanioides</i>) Pada Media Tanah Berkompos
5.	Yuli Triastuti / 2010	Fitoremediasi tanah tercemar merkuri (Hg^{2+}) menggunakan tanaman akar wangi (<i>Vetiveria Zizanioides</i>) pada Lahan eks-TPA Keputih, Surabaya.
6.	Wage Komarawidjaja dan Yudhi Soetrisno Garno / 2015	Peran Rumput <i>Vetiver</i> (<i>Chrysopogen Zizanioides</i>) dalam Fitoremediasi Pencemaran Perairan Sungai
7.	Bunga Rulita Viobeth, Sri Sumiyati, Endro Sutrisno / 2012	Fitoremediasi Limbah Mengandung Timbal (Pb) Dan Nikel (Ni) Menggunakan Tanaman Kiambang
8.	Meyranda Yusuf / 2015	Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Pb Dan Cd Dengan Menggunakan Tanaman Lidah Mertua (<i>Sansevieria Trifasciata</i>)

Lanjutan Tabel 3 Jurnal terkait penelitian

No.	Nama Penulis / Tahun Terbit	Judul Jurnal
9.	Achmad Zubair / 2015	Studi Eksperimental Fitoremediasi Akar Wangi (<i>Vetiveria Zizanioides</i>) Pada Media Tanah Lempung Dengan Kontaminan Logam Kadmium (Cd) Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Pb Dan Cd Dengan Menggunakan
10.	Al Khoiriyah / 2015	Tanaman Akar Wangi (<i>Vetiveria Zizanioides</i>)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara menanam tanaman fitoremediator pada tanah yang mengandung logam berat Pb dan Cd. Media yang digunakan terdiri dari tanah dan kompos dengan komposisi yang berbeda-beda. Demikian juga dengan konsentrasi logam berat dalam reaktor juga berbeda satu sama lain. Penelitian ini menggunakan jenis penelitian kuantitatif yang bersifat eksperimen yaitu penelitian yang dilakukan untuk mengetahui tingkat penyisihan logam Pb dan Cd terhadap akar wangi. Adapun variasi perlakuan yang digunakan dalam penyisihan logam Pb dan Cd tersaji pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Variasi penelitian menggunakan konsentrasi Pb

Konsentrasi Pb	Media Tanah (Perbandingan Kompos : Tanah)	
	M1 (Kompos 30% : Tanah 70%)	M2 (Kompos 70% : Tanah 30%)
T1 (200 ppm)	M1T1 (Kompos 30% : Tanah 70%) Konsentrasi Pencemar Pb 200 ppm	M2T1 (Kompos 70% : Tanah 30%) Konsentrasi Pencemar Pb 200 ppm
	M1T2 (Kompos 30% : Tanah 70%) Konsentrasi Pencemar Pb 400 ppm	M2T2 (Kompos 70% : Tanah 30%) Konsentrasi Pencemar Pb 400 ppm
T2 (400 ppm)	M1T3 (Kompos 30% : Tanah 70%) Konsentrasi Pencemar Pb 600 ppm	M2T3 (Kompos 70% : Tanah 30%) Konsentrasi Pencemar Pb 600 ppm

Tabel 5. Variasi Penelitian menggunakan konsentrasi Cd

Konsentrasi Cd	Media Tanah (Perbandingan Kompos : Tanah)	
	M1 (Kompos 30% : Tanah 70%)	M2 (Kompos 70% : Tanah 30%)
K1 (40 ppm)	M1K1 (Kompos 30% : Tanah 70%) Konsentrasi Pencemar Cd 40 ppm	M2K1 (Kompos 70% : Tanah 30%) Konsentrasi Pencemar Cd 40 ppm
	M1K2 (Kompos 30% : Tanah 70%) Konsentrasi Pencemar Cd 60 ppm	M2K2 (Kompos 70% : Tanah 30%) Konsentrasi Pencemar Cd 60 ppm
	M1K3 (Kompos 30% : Tanah 70%) Konsentrasi Pencemar Cd 80 ppm	M2K3 (Kompos 70% : Tanah 30%) Konsentrasi Pencemar Cd 80 pm

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi Penelitian dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Kampus Gowa. Penelitian yang dilaksanakan selama 3 bulan dimulai sejak bulan Agustus 2019 hingga bulan Oktober 2019.

C. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah dan kompos sebagai media tanam, akar wangi (*vetivera zizanioides*), limbah buatan (*artifisial*) Pb dan Cd, aquades, larutan HNO₃ dan larutan HCLO₄.

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah reaktor proses (pot), spoit, timbangan, mistar, gelas ukur, pipet ukur, tabung reaksi, labu ukur, cawan petri, oven dan pengujian menggunakan *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS).

D. Populasi dan Sampel

Metode penentuan sampel pada penelitian ini menggunakan teknik *purposive sampling* kriteria inklusi yaitu teknik pengambilan sampel yang dilakukan berdasarkan tujuan penelitian yang dilakukan.

1) Populasi

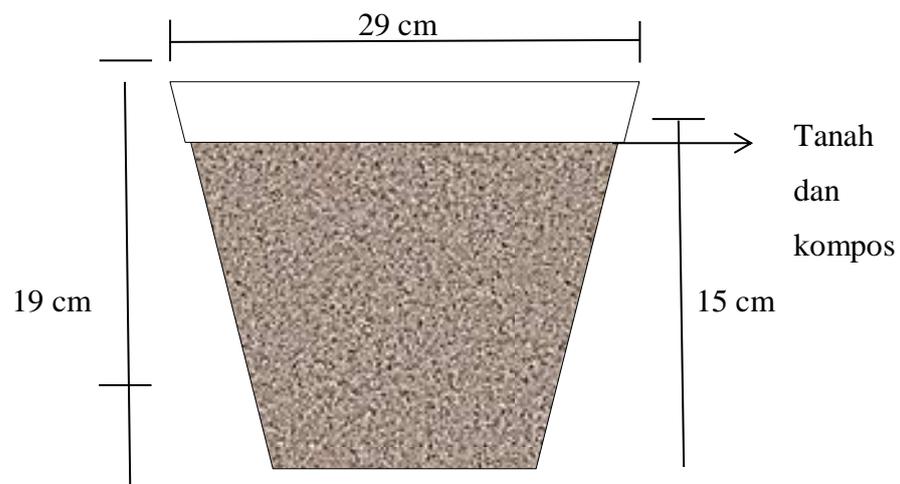
Populasi dalam penelitian ini adalah media tanam dan akar wangi yang telah diberi perlakuan pencemar buatan Pb dan Cd .

2) Sampel

Sampel adalah bagian tanah atau bagian tanaman yang diambil untuk kebutuhan pengujian parameter di laboratorium

E. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini menggunakan reaktor proses berupa pot dengan dimensi diameter 29 cm dan tinggi 19 cm, tinggi media tanam 15 cm serta volume tanah 4 Kg. Komposisi 70% sebanyak 2,8 kg dan komposisi 30% sebanyak 1,2 kg. Reaktor proses berupa pot ini berfungsi sebagai pot fitoremediasi yang jumlahnya 12 pot dengan pengukuran berulang sebanyak 12 buah pot sampel. Berikut tampak potongan reaktor (Gambar 3)

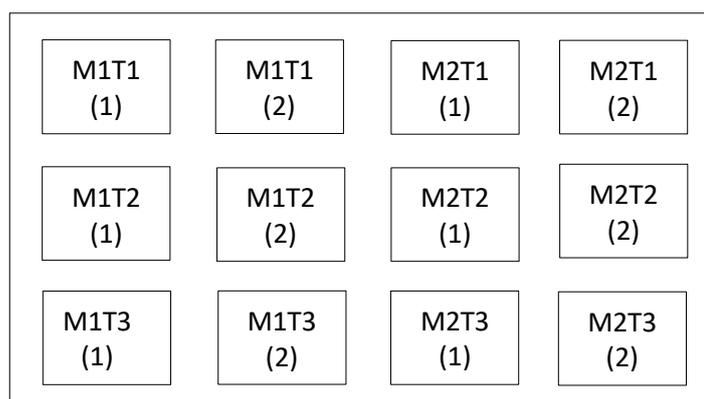


Gambar 3. Tampak Potongan Reaktor Proses

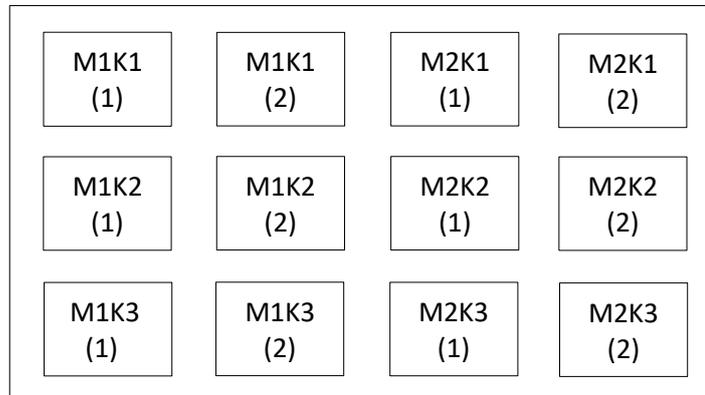
Komposisi kompos yang digunakan dalam penelitian ini adalah kotoran sapi yang dicampur dengan pembakaran sekam padi. Tanaman akar wangi yang digunakan memiliki tinggi yang seragam, keadaan bibit yang sehat dan tidak terkena serangan hama dan penyakit. Jumlah tumbuhan yang digunakan dalam setiap reaktor proses adalah 6 batang dengan tinggi rata-rata tanaman 22 cm – 24 cm.

Konsentrasi logam Pb yang digunakan dalam penelitian ini adalah 200 ppm, 400 ppm, dan 600 ppm sedangkan untuk konsentrasi logam Cd yang digunakan adalah 40 ppm, 60 ppm, dan 80 ppm. Volume pencemar yang digunakan sebesar 1000 cc untuk setiap media tanam pada pot berbeda. Untuk Pb dengan konsentrasi 200 ppm ditambahkan logam pencemar sebanyak 800 mg/4kg, konsentrasi 400 ppm ditambahkan logam pencemar 1,600 mg/4kg, dan untuk konsentrasi 600 ppm ditambahkan 24,000 mg/4kg. Sedangkan untuk Cd dengan konsentrasi 40 ppm ditambahkan logam pencemar 160 mg/4kg, untuk konsentrasi 60 ppm ditambahkan 240 mg/4kg, dan untuk 80 ppm ditambahkan 320 mg/4kg.

Proses aklimatisasi dilakukan selama 2 minggu pada media tanam tanpa pencemar untuk mengondisikan tumbuhan stabil. Tanaman disiram setiap hari sebanyak \pm 200 ml agar kondisi tanaman tetap stabil. Berikut adalah denah percobaan penelitian (Gambar 4 dan Gambar 5)



Gambar 5. Denah Percobaan Penelitian Ulangan 1



Gambar 5. Denah Percobaan Penelitian Ulangan 2

F. Teknik Pengumpulan Data

Pada penelitian ini digunakan dua metode pengumpulan data yakni studi pustaka yang bertujuan memperoleh data sekunder melalui berbagai literatur seperti buku, jurnal penelitian, artikel-artikel ilmiah, serta standar-standar pengujian dan pengujian sampel di laboratorium yang bertujuan mendapatkan data primer yang akan digunakan dalam menganalisa hasil dari penelitian yang dilaksanakan.

Penelitian ini menggunakan dua teknik pengumpulan data yaitu data primer yang diperoleh dari pemeriksaan sampel seperti kadar logam awal pada tanah berkompos, kadar logam berat yang dimiliki akar wangi, dan kadar logam pada media tanam selama pengambilan sampel sampai akhir penelitian. Sedangkan data yang kedua yakni data sekunder yang diperoleh melalui studi literatur dan kepustakaan berupa hasil penelitian sebelumnya mengenai kemampuan penyerapan akar wangi serta penelitian lain yang terkait.

Pengujian dilakukan dengan mengukur kadar logam berat Pb dan Cd pada masing – masing reaktor proses yang berupa pot, dengan pengambilan sampel tiap hari ke-7, 14 dan 21. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara mengambil sampel tanah pada 10 titik yang tersebar dalam satu pot. Aspek yang diuji berupa pengujian konsentrasi logam Pb dan Cd di media tanam dan pada hari ke- 21 akan dilakukan pengukuran kadar logam Pb dan Cd pada tanaman. Selanjutnya masing-

masing sampel akan diuji dengan menggunakan *Atomic Absorption Spektrometri* (AAS). Adapun prosedur pengujian yaitu :

- a) Sampel dicampur rata dan diambil 1 gr (untuk tanaman dioven terlebih dahulu lalu dihaluskan).
- b) Tambahkan 1 ml HClO₄ dan 10 ml HNO₃.
- c) Setelah itu sampel diaduk rata dan didestruksi sampai larut sempurna.
- d) Sampel yang telah didestruksi disaring dengan kertas saring.
- e) Sampel kemudian diencerkan sampai 250 ml dengan mengambil 2 ml sampel dan ditambahkan dengan aquades sampai garis batas pada labu ukur.
- f) Sampel siap dianalisis dengan menggunakan alat AAS.

G. Teknik Analisis

1) Rumus Pengenceran

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah buatan sendiri (*artifisial*) yakni air limbah yang dibuat dengan melarutkan sejumlah logam pencemar ke dalam air sehingga didapatkan konsentrasi yang diinginkan. Pembuatan air limbah artifisial mengandung logam berat Pb dan Cd pada penelitian ini dilakukan berdasarkan rumus pengenceran yaitu :

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2 \quad (1)$$

dimana : M_1 = konsentrasi yang diketahui

V_1 = volume yang diketahui

M_2 = konsentrasi yang dicari

V_2 = volume yang dicari

2) Persamaan Regresi

Analisis data konsentrasi logam Pb dan Cd hasil pengujian laboratorium dibuat persamaan regresi dengan membandingkan dua variabel bebas dalam penelitian sebagai berikut : (Khoiriyah, 2015)

$$y = ax + b \quad (2)$$

Koefisien korelasi ditentukan dengan persamaan :

$$R = \frac{n (\sum x_1 y_1) - (\sum x_1)(\sum y_1)}{\sqrt{\{n (\sum x_1^2) - (\sum x_1)^2\} \{ (\sum y_1^2) - (\sum y_1)^2\}}} \quad (3)$$

3) Efisiensi Penyisihan

Efisiensi penyisihan merupakan tingkat keberhasilan tanaman dalam menyerap kadar logam Pb dan Cd dengan konsentrasi yang berbeda. Hal ini dapat dilihat dari besarnya nilai *removal efesiensi* (efisiensi penyisihan) logam Pb dan Cd pada tanah. Efisiensi penyisihan kadar logam pada proses fitoremediasi tanah tercemar logam Pb dan Cd dihitung dengan menggunakan rumus : (Khoiriyah, 2015)

$$RE (\%) = \frac{\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir}}{\text{konsentrasi awal}} \times 100 \% \quad (4)$$

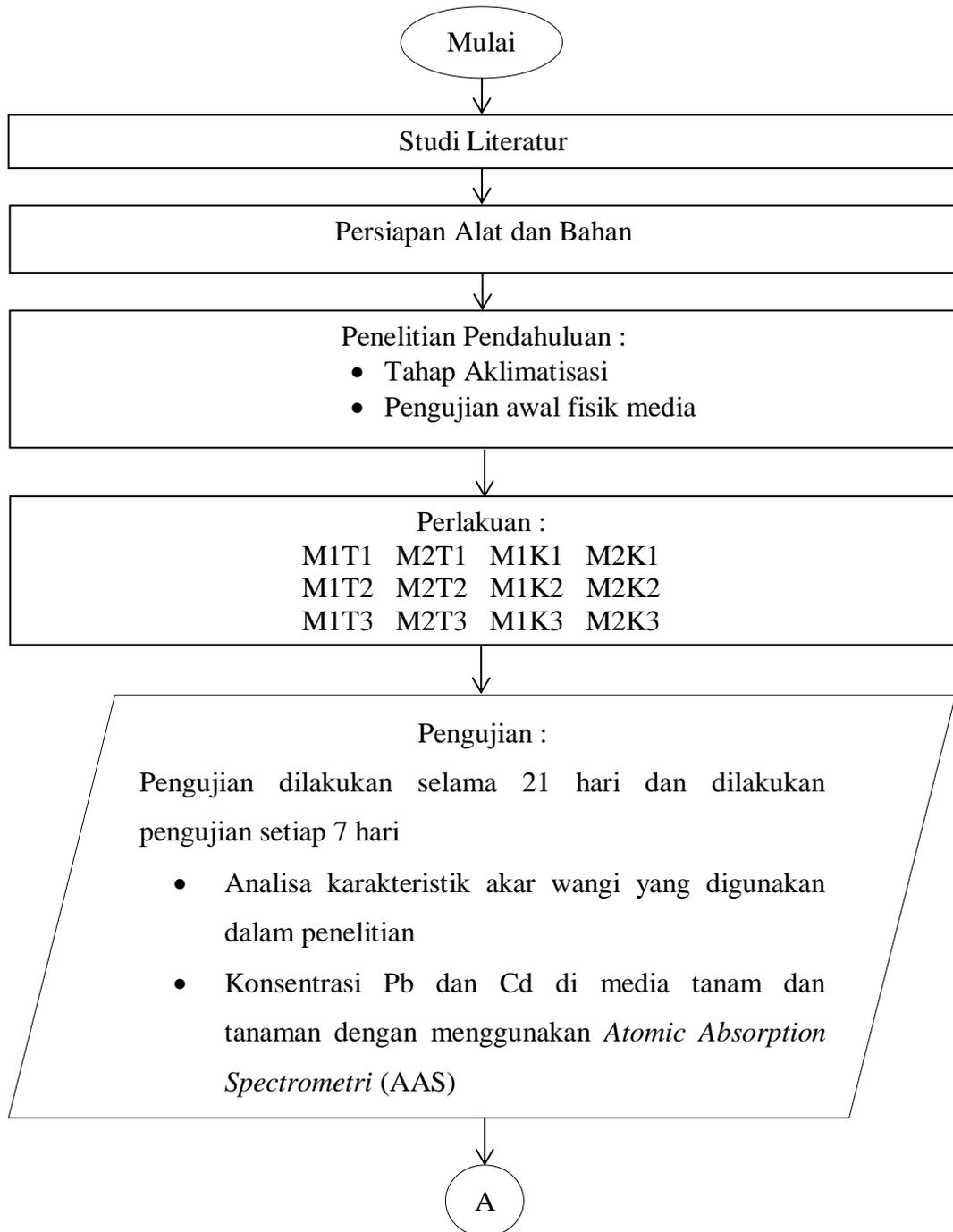
4) Efisiensi Penyerapan Tanaman

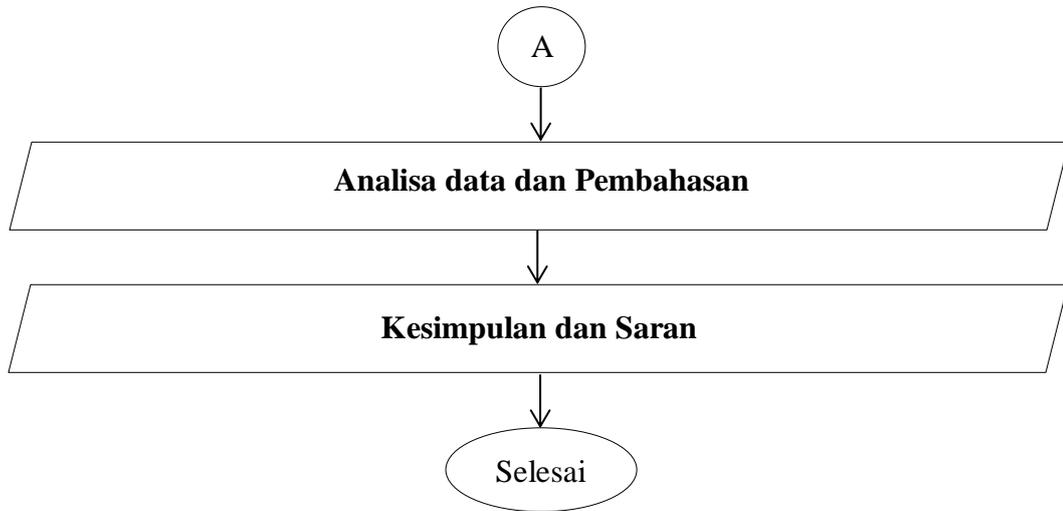
Efisiensi penyerapan oleh tanaman merupakan informasi selanjutnya yang menggambarkan kemampuan tanaman dalam menyerap logam Pb dan Cd. Perhitungan efisiensi penyerapan didasarkan pada konsentrasi logam Pb dan Cd dalam tanaman serta konsentrasi logam Pb dan Cd yang ditambahkan ke dalam tanah. Adapun rumus yang digunakan adalah : (Khoiriyah, 2015)

$$\text{Efisiensi Penyerapan} = \frac{\text{Konsentrasi Penyerapan Logam dalam tanaman}}{\text{Konsentrasi Penurunan Logam dalam Media Tanam}} \times 100\% \quad (5)$$

H. Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah tahapan yang digunakan dalam penelitian (Gambar 6)





Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

Sumber : Angga, 2015. Meyranda, 2015. Alfia, 2014

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Tahap Aklimatisasi

Proses aklimatisasi dilakukan selama 2 minggu pada media tanah sebanyak 4 kg tanpa pencemar untuk mengondisikan tumbuhan stabil. Tanaman disiram setiap hari sebanyak ± 200 ml agar kondisi tanaman tetap stabil. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada tanaman akar wangi dari tahap perlakuan pemberian pencemar serta pengukuran sampling tanah setiap minggu mulai tanggal 8 September 2019 – 20 September 2019 yang dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin adalah tumbuhan dengan jumlah helai daun 5-6 helai/batang, tinggi rata-rata 22 cm – 24 cm dan panjang akar rata-rata 4 cm. Dengan berat rata-rata tanaman tiap batang 9,0 gr.

B. Konsentrasi Awal Logam Berat pada Tanah dan Tanaman

Pengujian awal pada tanah dan tanaman dilakukan untuk mengetahui besarnya konsentrasi awal logam timbal dan cadmium yang terdapat di dalam tanah dan tanaman akar wangi (*vetiveria zizanioides*) sebelum diberikan perlakuan. Besarnya konsentrasi logam timbal dan cadmium di dalam tanah sangat mempengaruhi pertumbuhan tanaman untuk melakukan proses fitoremediasi. Pengujian tanah dilakukan sebelum tanah diberi perlakuan, pengukuran karakteristik fisik pada media tumbuh dilakukan untuk mengetahui kandungan awal logam timbal dan cadmium yang terdapat dalam tanah. Pengukuran karakteristik fisik pada tanaman untuk mengetahui kandungan logam dalam tanaman sebelum diberikan perlakuan dengan penambahan limbah buatan.

Hasil pengukuran kandungan Pb dan Cd pada tanah dan tanaman sebelum diberikan perlakuan tersaji pada Tabel 6.

Tabel 6 Pengamatan Awal Logam terhadap Tanaman dan Media Tanam

Logam Pencemar	Komposisi Media Tanam dan Tanaman	Konsentrasi awal (ppm)
Pb	Tanah 70% : 30% Kompos	66,49
	Tanah 30% : 70% Kompos	48,62
	Tanaman Akar Wangi	12,76
Cd	Tanah 70% : 30% Kompos	39,42
	Tanah 30% : 70% Kompos	38,73
	Tanaman Akar Wangi	5,76

Dari pengamatan awal logam Pb dan Cd terhadap tanaman dan media tanam menunjukkan sebelum dilakukan perlakuan dengan penambahan logam pencemar telah terkandung sebelumnya logam yang akan dilakukan pengamatan selanjutnya. Diketahui bahwa analisa dengan komposisi kompos 30% : 70% tanah lebih banyak terkandung logam pencemar dibandingkan dengan komposisi kompos 70% : 30% tanah, itu dikarenakan tingkat pencemar media tanam yakni pengaruh tanah yang dipakai peneliti lebih banyak terkandung logam pencemar.

Menurut Troung Paul *et al*, (2011) yang menyatakan bahwa baku mutu logam berat Cd pada tanah 20 - 80 ppm, pada tanaman akar wangi (*vetiveria zizanioides*) 45 – 48 ppm. Sedangkan tingkat ambang logam berat Pb pada tanah >1500 ppm, dan pada tanaman akar wangi (*vetiveria zizanioides*) >78 ppm. Berdasarkan data pengujian awal yang telah dilakukan menunjukkan bahwa tanah yang telah diuji layak dijadikan media tumbuh tanaman akar wangi (*vetiveria zizanioides*).

C. Analisis Penyisihan Logam Berat pada Media Tanam

1. Analisis Penyisihan Logam Timbal (Pb) pada Media Tanam

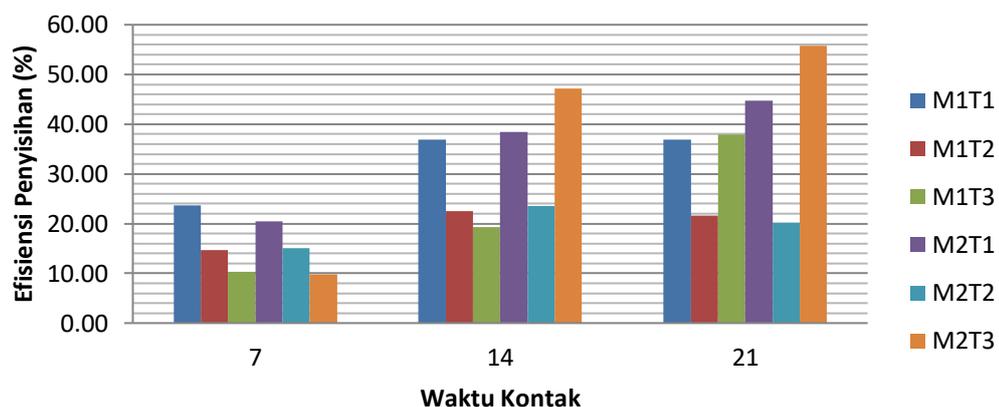
Konsentrasi logam timbal (Pb) yang diukur dalam penelitian ini adalah konsentrasi logam Pb pada tanah yang telah diberi perlakuan dengan penambahan logam Pb buatan dengan konsentrasi 200 ppm, 400 ppm, dan 600 ppm. Pengambilan sampel tanah yang dilakukan sebanyak tiga kali pada hari ke-7, ke-

14 dan ke-21. Pengamatan penurunan konsentrasi logam Pb pada media tanam untuk masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Rata-rata Pengukuran Konsentrasi Logam Timbal (Pb) pada Tanah

Variasi Rumpun	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)			Efisiensi Penyisihan (%)		
		7 hari	14 hari	21 hari	7 hari	14 hari	21 hari
M1T1	266,49	203,43	168,09	168,09	23,66	36,92	36,92
M1T2	466,49	398,21	361,57	365,47	14,63	22,49	21,65
M1T3	666,49	597,36	537,67	413,31	10,37	19,32	37,98
M2T1	248,62	197,65	152,93	137,31	20,50	38,48	44,77
M2T2	448,62	380,95	342,94	357,69	15,08	23,55	20,26
M2T3	648,62	585,21	342,39	287,05	9,77	47,21	55,74

Efisiensi penyisihan Pb dapat dilihat pada Gambar 7 sebagai berikut



Gambar 7 Grafik efisiensi penyisihan kadar logam Pb dalam tanah

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi penyisihan logam memiliki penurunan setiap minggu. Nilai efisiensi penyisihan tertinggi terjadi pada minggu ke-3 pada semua variasi. Nilai efisiensi penyisihan tertinggi terjadi pada variasi M2T3 yakni 55,74 % dan penyisihan logam terendah pada variasi M2T2 yakni 20,26 %. Terdapat pengaruh waktu kontak pada penyisihan logam Pb pada tanah hal ini dikarenakan adanya kemampuan tanaman dalam menyerap logam berat Pb hingga pada batas waktu tertentu sebelum titik jenuh (Khoiriyah, 2015). Penurunan konsentrasi ini dapat diakibatkan oleh perpindahan logam secara difusi dan osmosis dimana massa zat

pada media dengan konsentrasi yang tinggi (tanah) akan berpindah ke media dengan konsentrasi yang rendah (tanaman) (Ratnawati dkk, 2018).

Kompos dapat digunakan untuk meminimalisasi logam berat karena memiliki kandungan humus yang mampu mengadsorpsi dan mengikat logam berat dengan cara pertukaran ion (kation dan anion). Pertukaran ion kation dilakukan oleh logam Pb dan pertukaran ion anion dilakukan oleh logam Cd. Dalam hal ini unsur yang bertukar dalam pengikatan logam yakni unsur positif dikarenakan Pb memiliki ion yang positif. Unsur yang bertukar adalah unsur kalium (K) dan kalsium (Ca) yang bermuatan positif yang berfungsi untuk membantu menyerap air, mengaktifkan bulu-bulu akar, membantu pembentukan protein dan juga membantu pembentukan antibodi tanaman untuk melawan penyakit (Annisa'ul dkk, 2015). Logam berat Pb yang ada di dalam tanah akan berkurang dikarenakan adanya pertukaran unsur oleh kalium (K) dan kalsium (Ca) yang akan membuat logam akan masuk ke dalam tanaman. Tanaman yang menyerap logam Pb akan membuat tanaman perlahan layu dan akhirnya mati dikarenakan tercemar oleh logam Pb pada bagian akar, daun, dan juga batang.

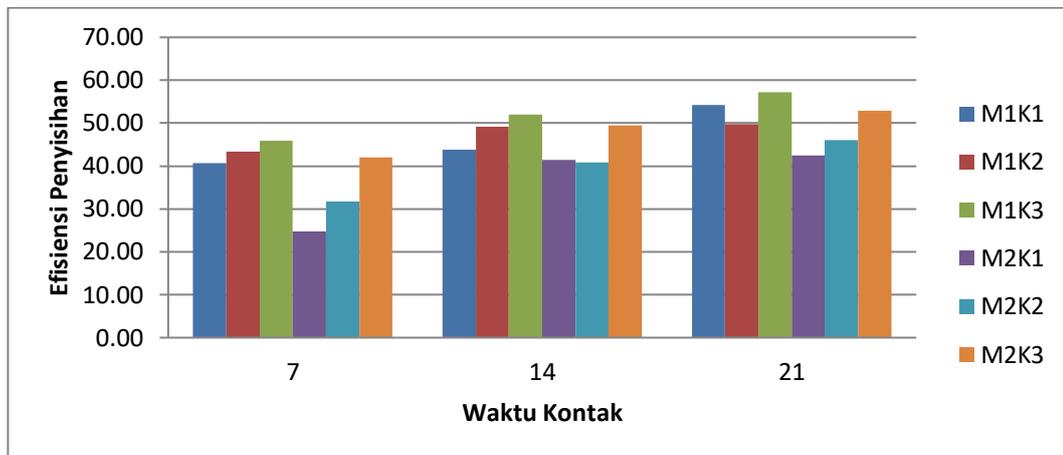
2. Analisis Penyisihan Logam Cadmium (Cd) pada Media Tanam

Konsentrasi logam cadmium (Cd) yang diukur dalam penelitian ini adalah konsentrasi logam Cd pada tanah yang telah diberi perlakuan dengan penambahan logam Cd buatan dengan konsentrasi 40 ppm, 60 ppm, dan 80 ppm. Pengambilan sampel tanah yang dilakukan sebanyak tiga kali pada hari ke-7, ke-14 dan ke-21. Pengamatan penurunan konsentrasi logam Pb dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Rata-rata Pengukuran Konsentrasi Logam Cadmium (Cd) pada Tanah

Variasi Rumpun	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)			Efisiensi Penyisihan (%)		
		7 hari	14 hari	21 hari	7 hari	14 hari	21 hari
M1K1	79,42	47,14	44,68	36,31	40,64	43,74	54,27
M1K2	99,42	56,34	50,53	49,92	43,32	49,17	49,78
M1K3	119,42	64,60	57,35	51,10	45,90	51,97	57,21
M2K1	78,73	59,25	46,05	45,30	24,73	41,50	42,46
M2K2	98,73	67,33	58,38	53,31	31,79	40,87	46,00
M2K3	118,73	68,92	59,97	55,98	41,95	49,48	52,84

Efisiensi penyisihan Cd dapat dilihat pada Gambar 8 sebagai berikut



Gambar 8 Grafik efisiensi penyisihan kadar logam Cd dalam tanah

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 8 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi penyisihan logam memiliki penurunan setiap minggu. Nilai efisiensi penyisihan tertinggi terjadi pada minggu ke-3 pada semua variasi. Nilai efisiensi penyisihan tertinggi terjadi pada variasi M1K3 yakni 57,21% dan penyisihan logam terendah pada variasi M2K1 yakni 42,46%. Terdapat pengaruh waktu kontak pada penyisihan logam Cd pada tanah hal ini dikarenakan adanya kemampuan tanaman dalam menyerap logam berat Cd hingga pada batas waktu tertentu sebelum titik jenuh (Khoiriyah, 2015). Penurunan konsentrasi ini dapat diakibatkan oleh perpindahan logam secara difusi dan osmosis dimana massa zat pada media dengan konsentrasi yang tinggi (tanah) akan berpindah ke media dengan konsentrasi yang rendah (tanaman) (Ratnawati dkk, 2018).

Kompos dapat digunakan untuk meminimalisasi logam berat karena memiliki kandungan humus yang mampu mengadsorpsi dan mengikat logam berat dengan cara pertukaran ion (kation dan anion). Pertukaran ion kation dilakukan oleh logam Pb dan pertukaran ion anion dilakukan oleh logam Cd. Dalam hal ini unsur yang bertukar dalam pengikatan logam yakni unsur negatif dikarenakan Cd memiliki ion yang negatif. Unsur yang bertukar adalah unsur nitrogen (N), fosfor (P), dan belerang (S) yang bermuatan negatif yang berfungsi untuk menyediakan sumber energi, membentuk asam amino, membantu proses pembentukan bintil akar dan juga membantu pertumbuhan tuna, pembentukan

ikatan elektrostatik, pembentukan ikatan kompleks (Kocasoy dan Guvener, 2009; Guo *et al.*, 2008; Wu *et al.*, 2008 Hermana dan Nurhayati, 2006 dalam Prasetyono, 2015).). Logam berat Cd yang ada di dalam tanah akan berkurang dikarenakan adanya pertukaran unsur oleh nitrogen (N), fosfor (P) dan belerang (S) yang akan membuat logam akan masuk ke dalam tanaman. Tanaman yang menyerap logam Cd akan membuat tanaman perlahan layu dan akhirnya mati dikarenakan tercemar oleh logam Pb pada bagian akar, daun, dan juga batang.

D. Pengaruh Komposisi Media Tanam, Konsentrasi Logam dan Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Penyisihan

1. Pengaruh Komposisi Media Tanam, Konsentrasi Logam Pb dan Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Penyisihan

Media tanam yang menggunakan tanah dan kompos memiliki pengaruh terhadap penyerapan logam Pb. Efisiensi penyisihan logam Pb pada komposisi kompos dan tanah 30% : 70% (M1) berkisar antara 10,37% - 37,98% sedangkan komposisi kompos dan tanah 70% : 30% (M2) berkisar antara 9,77% - 55,74%. Hal ini sejalan dengan penelitian Prayudi (2015) yang menyatakan bahwa tanaman akar wangi dalam proses fitoremediasi mampu menurunkan kadar logam dalam tanah dan semakin besar kadar kompos sebagai stimulan dalam penyerapan mampu membantu tanaman akar wangi lebih menyerap logam pencemar tersebut.

Konsentrasi logam di masing-masing pot cenderung menurun setiap minggunya. Konsentrasi logam pada MIT1 berkisar antara 23,66% - 36,92%, konsentrasi logam pada MIT2 berkisar antara 14,63% - 22,49% dan konsentrasi logam pada MIT3 berkisar antara 10,37% - 37,98%. Persentase penurunan konsentrasi logam meningkat seiring dengan semakin lamanya waktu yang digunakan proses fitoremediasi oleh tanaman untuk menyerap logam berat dalam tanah hal ini sejalan dengan penelitian Triastuti (2012)

Pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan logam memiliki hubungan yang erat. Hal ini sejalan dengan penelitian Prayudi (2015) menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemaparan maka semakin sedikit pula

konsentrasi Pb yang ada dalam tanah. Hubungan pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan logam dapat dilihat pada Tabel 9

Tabel 9 Nilai rata-rata analisa regresi waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan logam Pb dalam tanah

Perlakuan	y	R ²
M1T1	0,0575 + 0,0004x	0,99
M1T2	-0,3408 + 0,0015x	0,99
M1T3	-0,0297 + 0,0006x	0,99
M2T1	-0,0238 + 0,0007x	0,99
M2T2	-0,4784 + 0,0019x	0,94
M2T3	0,0241 + 0,0005x	0,99

Berdasarkan nilai yang diperoleh akan menunjukk persamaan garis sesuai dengan model yang digunakan dan regresi dihitung berdasarkan kuadrat terkecil (*last square*). Untuk menguji apakah hubungan antara variable y dan x tersebut kuat atau malah tidak ada korelasi, dapat dilakukan dengan perhitungan koefisien regresi atau koefisien relasi yaitu (R²). R² merupakan perbandingan antara varian y terhadap varian x. Bila nilai R² mendekati angka 1, terdapat hubungan yang sangat kuat antara y dan x. Hubungan kategori sedang bila R² antara 0,4 – 0,6 (Ngaini, 2012). Dari persamaan regresi yang diperoleh pada gambar 4 maka dapat dikatakan hubungan penurunan kadar logam Pb dan waktu kontak memiliki korelasi yang kuat (Perada, 2015).

3. Pengaruh Komposisi Media Tanam dan Konsentrasi Logam Cd Terhadap Penyerapan Akar Wangi

Media tanam yang menggunakan tanah dan kompos memiliki pengaruh terhadap penyerapan logam Cd. Efisiensi penyisihan logam Cd pada komposisi kompos dan tanah 30% : 70% (M1) berkisar antara 45,90% - 57,21% sedangkan komposisi kompos dan tanah 70% : 30% (M2) berkisar antara 41,95% - 52,84%. Hal ini sejalan dengan penelitian Basri (2014) yang menyatakan bahwa komposisi kompos dalam jumlah yang sedikit memiliki tingkat penyerapan yang lebih besar dibandingkan dengan komposisi kompos yang lebih banyak.

Konsentrasi logam di masing-masing pot cenderung menurun setiap minggunya. Konsentrasi logam pada M1K1 berkisar antara 40,64% - 54,27%, konsentrasi logam pada M1K2 berkisar antara 43,32% - 49,78% dan konsentrasi logam pada M1K3 berkisar antara 45,90% - 57,21%. Persentase penurunan konsentrasi logam meningkat seiring dengan semakin lamanya waktu yang digunakan proses fitoremediasi oleh tanaman untuk menyerap logam berat dalam tanah hal ini sejalan dengan penelitian Triastuti (2012). Namun terdapat juga konsentrasi penyisihan logam Cd kembali meningkat hal ini dikarenakan adanya kemampuan tanaman dalam menyerap logam berat Cd hingga pada batas waktu tertentu pada titik jenuh (Khoiriyah, 2015).

Pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan logam memiliki hubungan yang erat. Hal ini sejalan dengan penelitian Prayudi (2015) menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemaparan maka semakin sedikit pula konsentrasi Cd yang ada dalam tanah. Hubungan pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan logam dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Nilai rata-rata analisa regresi waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan logam Cd dalam tanah

Perlakuan	y	R ²
M1K1	-0,0406 + 0.0016x	0,81
M1K2	-0,3715 + 0.0080x	0,99
M1K3	-0,2291 + 0.0052x	0,99
M2K1	-0,0881 + 0.0028x	0,99
M2K2	-0,1148 + 0.0033x	0,98
M2K3	-0,0737 + 0.0027x	0,99

Berdasarkan nilai yang diperoleh menunjukkan persamaan garis sesuai dengan model yang digunakan dan regresi dihitung berdasarkan kuadrat terkecil (*last square*). Untuk menguji apakah hubungan antara variable y dan x tersebut kuat atau malah tidak ada korelasi, dapat dilakukan dengan perhitungan koefisien regresi atau koefisien relasi yaitu (R²). R² merupakan perbandingan antara varian y terhadap varian x. Bila nilai R² mendekati angka 1, terdapat hubungan yang sangat kuat antara y dan x. Hubungan kategori sedang bila R² antara 0,4 – 0,6 (Ngaini, 2012). Dari persamaan regresi yang diperoleh pada Gambar 4 maka

dapat dikatakan hubungan penurunan kadar logam Cd dan waktu kontak memiliki korelasi yang kuat (Perada, 2015)

E. Efisiensi Penyisihan Logam Pb dan Cd pada Tanaman Akar Wangi

Tanaman akar wangi (*Vetiver zizanioides*) disebut merupakan tanaman hiperakumulator logam yang memiliki sifat daya penyerapan atau akumulasi yang tinggi terhadap logam berat di jaringan tumbuhan.

Beberapa tahapan berikut memberikan penjelasan bahwa akar tanaman berperan penting dalam penyerapan unsur logam berat oleh tanaman. Menurut Salt et al. (1995) dalam Dewi (2007), secara serial tahapan yang terjadi di sekitar akar atau melibatkan akar tanaman terhadap zat kontaminan/pencemar yang berada di sekitarnya, yaitu:

1. Phytoaccumulation (phytoextraction) yaitu proses tumbuhan menarik zat kontaminan dari media sehingga berakumulasi di sekitar akar tumbuhan, proses ini disebut juga hyperaccumulation.
2. Rhizofiltration (rhizo = akar) adalah proses adsorpsi atau pengendapan zat kontaminan oleh akar untuk menempel pada akar.
3. Phytostabilization yaitu penempelan zat-zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap ke dalam batang tumbuhan. Zat-zat tersebut menempel erat (stabil) pada akar sehingga tidak akan terbawa oleh aliran air dalam media.
4. Rhizodegradation disebut juga enhanced rhizosphere biodegradation atau plant-assisted bioremediation degradation, yaitu penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroba yang berada di sekitar akar tumbuhan.
5. Phytodegradation (phyto transformation) yaitu proses yang dilakukan tumbuhan untuk menguraikan zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul yang kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul yang lebih sederhana yang dapat berguna bagi pertumbuhan tumbuhan itu sendiri. Proses ini dapat berlangsung pada daun, batang, akar atau di luar sekitar akar dengan bantuan enzim yang

dikeluarkan oleh tumbuhan itu sendiri. Beberapa tumbuhan mengeluarkan enzim berupa bahan kimia yang mempercepat proses degradasi.

Tanaman menyerap unsur hara beserta logam dalam tanah melalui akar. Akar berfungsi sebagai organ penyerap unsur-unsur hara dan mengalirkannya ke bagian batang dan daun. Hal ini menunjukkan tanaman hiperakumulator mampu mentranslokasi unsur logam berat dari akar menuju bagian batang dan daun secara maksimal.

Penyerapan Pb dan Cd pada tanah tercemar memiliki perbedaan pada sifat kimia logam tersebut. Logam Pb memiliki nomor atom 82 pada golongan yang lebih besar yakni golongan IVA periode 6 sedangkan Cd memiliki nomor atom 48 pada golongan yang lebih rendah yakni IIB periode 5, hal ini membuat penyerapan logam pada tanah tercemar berbeda. Logam Pb memiliki sifat yang lunak, mudah ditempa, bertitik leleh yang rendah, dan bersifat amfoter dimana senyawa oksidanya mudah bereaksi dengan senyawa asam maupun basa. Sedangkan Logam Cd memiliki sifat kimia yang elastis, dapat ditempa, tidak larut dalam air, tidak mudah terbakar, dan juga tahan terhadap korosi.

Efisiensi penyisihan oleh tanaman merupakan informasi selanjutnya yang dapat menggambarkan kemampuan tanaman dalam menyerap logam.

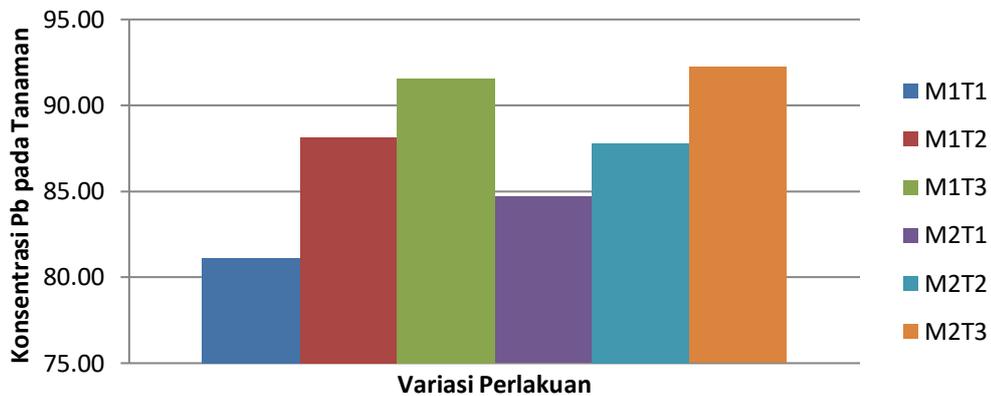
1. Analisis Penyisihan Logam Pb pada Akar Wangi

Tanaman akar wangi dapat digunakan dalam proses fotoremediasi karena dapat mengadsorpsi logam Pb dalam tanah yang tercemar. Secara lengkapnya kemampuan tanaman akar wangi dapat mengadsorpsi logam Pb dapat dilihat pada Tabel 11

Tabel 11 Rata-rata Efisiensi Penyisihan Logam Pb pada Tanaman Akar Wangi

Variasi Rumpun	Tanah awal (ppm)	Tanaman		Efisiensi Penyisihan (%)
		Awal (ppm)	Akhir (ppm)	
M1T1	266,49	12,79	216,22	81,13
M1T2	466,49		411,11	88,12
M1T3	666,49		610,26	91,56
M2T1	248,62		210,55	84,68
M2T2	448,62		393,85	87,79
M2T3	648,62		598,11	92,21

Dari Tabel 11 dapat dilihat efisiensi penyisihan tanaman akar wangi terhadap efisiensi penyisihan logam Pb dalam tanah. Besarnya nilai efisiensi penyisihan logam Pb dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Grafik efisiensi penyisihan kadar logam Pb dalam tanaman

Pada Gambar 9 terlihat besarnya nilai efisiensi penyisihan logam oleh tanaman akar wangi. Nilai efisiensi penyisihan logam Pb tertinggi terdapat pada M2T3 dengan nilai 92,21% sedangkan penyerapan terendah terdapat pada variasi M1T1 dengan nilai 81,13%.

Hal ini menunjukkan bahwa tanaman akar wangi (*Vetiveria zizaniodes*) mempunyai kemampuan menyerap logam Pb. Kepadatan rumpun tanaman dalam satu reaktor proses menyebabkan volume perakaran yang banyak dan akar yang panjang, sehingga akar tanaman tersebut menyebar keseluruhan bagian tanah yang telah terkontaminasi logam Pb.

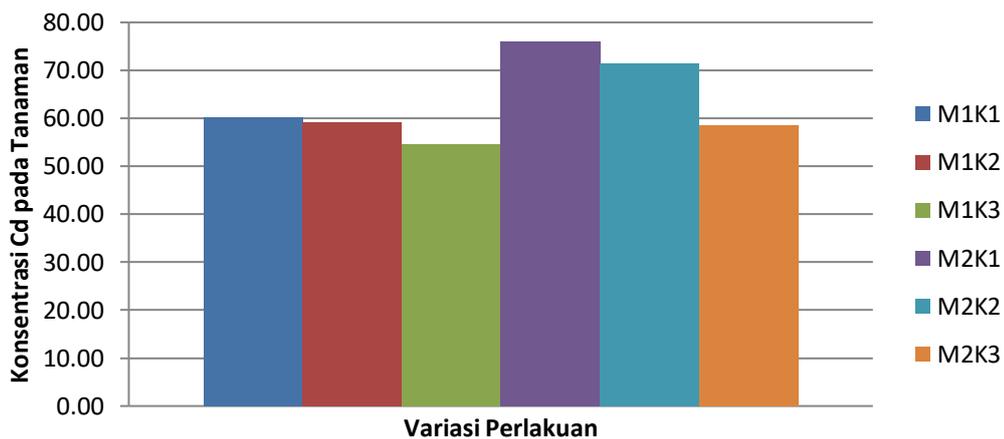
2. Analisis Penyisihan Logam Cd pada Akar Wangi

Tanaman akar wangi dapat digunakan dalam proses fotoremediasi karena dapat mengadsorbsi logam Cd dalam tanah yang tercemar. Secara lengkapnya kemampuan tanaman akar wangi dapat mengadsorbsi logam Cd dapat dilihat pada Tabel 12

Tabel 12 Rata-rata Efisiensi Penyisihan Logam Cd pada Tanaman Akar Wangi

Variasi Rumpun	Tanah awal (ppm)	Tanaman		Efisiensi Penyisihan (%)
		Awal (ppm)	Akhir (ppm)	
M1K1	79,42		47,71	60,07
M1K2	99,42		58,83	59,17
M1K3	11,42	5,76	65,17	54,57
M2K1	78,73		59,83	75,99
M2K2	98,73		70,48	71,38
M2K3	118,73		69,49	58,53

Dari Tabel 12 dapat dilihat efisiensi penyisihan tanaman akar wangi terhadap efisiensi penyisihan logam Cd dalam tanah. Besarnya nilai efisiensi penyisihan logam Pb dapat dilihat pada Gambar 10



Gambar 10 Grafik efektifitas penyisihan kadar logam Cd dalam tanaman

Pada Gambar 10 terlihat besarnya nilai efisiensi penyisihan logam oleh tanaman akar wangi. Nilai efisiensi penyisihan logam Cd tertinggi terdapat pada M2K1 dengan nilai 75,99% sedangkan penyerapan terendah terdapat pada variasi M1K1 dengan nilai 54,57%.

Hal ini menunjukkan bahwa tanaman akar wangi (*Vetiveria zizaniodes*) mempunyai kemampuan menyerap logam Cd. Kepadatan rumpun tanaman dalam satu reaktor proses menyebabkan volume perakaran yang banyak dan akar yang panjang, sehingga akar tanaman tersebut menyebar keseluruh bagian tanah yang telah terkontaminasi logam Cd.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Semua reaktor dengan variasi perlakuan yang berbeda memiliki kemampuan untuk menyisihkan kontaminan logam Pb dan Cd pada tanah tercemar. Perlakuan terbaik logam Pb diperlihatkan oleh variasi perlakuan M2T3 dengan efisiensi penyisihan sebesar 55,74% sedangkan perlakuan terbaik logam Cd diperlihatkan oleh variasi perlakuan M1K3 dengan efisiensi penyisihan sebesar 57,21%.
2. Perlakuan media tanam dengan perbandingan kompos 70% : 30% tanah pada logam Pb memiliki tingkat penyisihan logam yang tinggi dibandingkan dengan komposisi kompos 30% : 70% tanah sedangkan pada logam Cd media tanam tertinggi ditunjukkan oleh perbandingan kompos 30 % : 70% tanah dibandingkan dengan komposisi tanah 70% : 30% tanah. Perbandingan konsentrasi logam mengalami penurunan setiap minggunya sehingga menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak yang digunakan maka penyisihan logam juga akan semakin meningkat.
3. Tanaman akar wangi memiliki kemampuan untuk menyisihkan logam yang ada di dalam tanah. Efisiensi terbaik penyisihan logam Pb pada tanaman sebesar 92,21% sedangkan efisiensi terbaik penyisihan logam Cd pada tanaman sebesar 75,99%.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka disarankan beberapa hal sebagai berikut :

1. Sebaiknya dilakukan pengujian lengkap untuk komposisi pada tanah dan kompos selain dari logam Pb dan Cd.
2. Sebaiknya konsentrasi pencemar yang digunakan tidak terlalu tinggi.
3. Sebaiknya sebelum dilakukan tahap aklimatisasi dilakukan pengujian terlebih dahulu pada media tanam yang hanya menggunakan tanah tanpa campuran kompos agar mengetahui tingkat efisiensi penyerapan logam pada tanah.
4. Sebaiknya peneliti selanjutnya mencoba menggunakan jenis media tanam yang berbeda agar dapat membandingkan mana yang paling efektif dijadikan media tanam untuk menurunkan konsentrasi logam dalam media dengan tanaman akar wangi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhani, Rosihan dan Husaini. 2017. *Logam Berat Sekitar Manusia*. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press.
- Amzani, Fuad. 2012. *Pencemaran Tanah dan Cara Penanggulangannya*. Politeknik Negeri Lampung. Sumatera Selatan.
- As'ad, Anisah. 2015. *Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Zn dan Cu dengan Menggunakan Tanaman Akar Wangi (Vetiveria Zizanioides)*. Makassar: Universitas Hasanuddin
- Budihardjo, Eko, ed, 2003. *Kota dan Lingkungan*, LP3ES. Jakarta.
- Fahrudin, 2010. *Bioteknologi Lingkungan*. Bandung : Penerbit Alfabeta.
- Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Hardiani, H. 2009. *Potensi Tanaman Dalam Mengakumulasi Logam Cu Pada Media Tanah Terkontaminasi Limbah Padat Industri Kertas*. BS, Vol 44, No. 1. Bandung.
- Khoiriyah, Al. 2015. *Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Cd dan Pb dengan Menggunakan Tanaman Akar Wangi (Vetiveria Zizanioides)*. Makassar: Universitas Hasanuddin
- Mangkoedihardjo, Sarwoko & Ganjar Samudro. 2010. *Logam Berat dalam Pertanian*. Ilmu Tanah Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Muslimah, 2015. *Dampak Pencemaran Tanah dan Langkah Pencegahan*. Universitas Samudra. Aceh.
- Palar H. 2008. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Patandungan, Alfia. 2014. *Fitoremediasi Tanaman Akar Wangi (Vetiver Zizanioides) Terhadap Tanah Tercemar Logam Kadmium (Cd) Pada Lahan Tamangapa Antang Makassar*. Makassar : Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Pemerintah Republik Indonesia. 1982. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 1982 tentang Ketentuan-Ketentuan Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta.
- Pemerintah Republik Indonesia. 1990. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 20 Tahun 1990 Tentang Pengendalian Pencemaran Air*. Jakarta.

- Pemerintah Republik Indonesia. 1999. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara*. Jakarta.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2000. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 150 Tahun 2000 Tentang Pengendalian Kerusakan Tanah Untuk Produksi Biomassa*. Jakarta.
- Pickering, W.F. 1980. *Zinc interaction with soil and sediment compnents*. In Nriagu JO. (Ed.): *Zinc in the environment-Part 1: Ecological cycling*. John Wiley & Sons, New York, USA pp 72-112.
- Reksa, Angga. 2015. *Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Cd dan Cr Dengan Menggunakan Tanaman Vetiver Pada Media Tanah Lanau*. Makassar : Universitas Hasanuddin.
- Sihite, H. M. 2015. *Analisis Kandungan Timbal pada Lipstik Impor dan dalam Negeri Serta Tingkat Pengetahuan Konsumen dan Pedagang Terhadap Lipstik yang Beredar di Pasar Petisah Kota Medan Tahun 2015*. Medan: Fakultas Kesehatan Masyarakat USU.
- Sutanto, Rachman. 2005. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Yogyakarta: Kanisius.
- Triastuti, Yuli. 2012. *Fitoremediasi Tanah Tercemar Merkuri (Hg^{2+}) Menggunakan Tanaman Akar Wangi (Vetiver Zizanioides) Pada Lahan Eks-TPA Keputih, Surabaya*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS
- Truong, Paul et al. 2011. *Penerapan Sistem Vetiver*. Bali: The Indonesian Vetiver Network
- USDA. 2003. *Soil quality information sheet. Pastureland Sheet 1*. USDA Natural Resources Conservation Service. www.nrcs.usda.gov. Diakses 10 Agustus 2019
- Widowati, W, 2008. *Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Widowati, W, 2008. *Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Yusuf, Meyranda. 2015. *Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Pb dan Cd Dengan Menggunakan Tanaman Lidah Mertua (Sansevieria Trifasciata)*. Makassar : Universitas Hasanuddin.
- Zubair, Achmad. 2015. *Studi Eksperimental Fitoremediasi Akar Wangi (Vetiveria Zizanioides) Pada Media Tanah Lempung Dengan Kontaminan Logam Kadmium (Cd)*. Makassar : Universitas Hasanuddin.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A
Data Penelitian

1. Efisiensi Penyisihan Logam Pb dan Cd pada Media Tanam

Tabel 1. Pengukuran Konsentrasi Logam Timbal (Pb) pada Tanah Ulangan 1

Variasi Rumpun	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)		
		7 hari	14 hari	21 hari
M1T1	266,49	203,43	168,35	168,35
M1T2	466,49	397,95	361,90	368,15
M1T3	666,49	596,70	537,97	357,08
M2T1	248,62	197,63	152,95	138,07
M2T2	448,62	381,03	343,69	354,08
M2T3	648,62	585,53	343,69	287,05

Tabel 2. Pengukuran Konsentrasi Logam Timbal (Pb) pada Tanah Ulangan 2

Variasi Rumpun	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)		
		7 hari	14 hari	21 hari
M1T1	266,49	203,43	167,83	167,83
M1T2	466,49	398,47	361,24	362,80
M1T3	666,49	598,03	537,37	469,53
M2T1	248,62	197,66	152,90	136,54
M2T2	448,62	380,87	342,20	361,30
M2T3	648,62	584,90	341,09	287,05

Tabel 3 Analisa regresi terhadap waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan logam Pb dalam tanah Ulangan 1

Perlakuan	y	R ²
M1T1	$0,0455 + 0,0004x$	1
M1T2	$-0,3693 + 0,0016x$	0,98
M1T3	$0,0417 + 0,0004$	0,99
M2T1	$-0,0054 + 0,0006$	0,99
M2T2	$-0,4199 + 0,0017$	0,99
M2T3	$0,0182 + 0,0005$	0,99

Tabel 4 Analisa regresi terhadap waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan logam Pb dalam tanah Ulangan 2

Perlakuan	y	R ²
M1T1	$0,0693 + 0,0003x$	0,98
M1T2	$-0,3171 + 0,0015$	0,99
M1T3	$-0,1594 + 0,0008x$	0,98
M2T1	$-0,0421 + 0,0008x$	0,99
M2T2	$-0,5072 + 0,0020x$	0,85
M2T3	$0,0300 + 0,0005x$	0,99

Tabel 5. Pengukuran Konsentrasi Logam Cadmium (Cd) pada Tanah Ulangan 1

Variasi Rumpun	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)		
		7 hari	14 hari	21 hari
M1K1	79,42	47,14	27,95	27,95
M1K2	99,42	55,46	51,10	51,10
M1K3	119,42	64,70	51,10	51,10
M2K1	78,73	58,65	43,32	43,32
M2K2	98,73	66,66	48,34	48,34
M2K3	118,73	68,38	51,53	51,53

Tabel 6. Pengukuran Konsentrasi Logam Cadmium (Cd) pada Tanah Ulangan 2

Variasi Rumpun	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)		
		7 hari	14 hari	21 hari
44.6825	44,68	44,68	44,68	44,68
49.9638	49,96	49,96	49,96	48,74
57.3525	57,35	57,35	57,35	51,10
46.1375	46,13	46,13	46,13	47,28
58.2838	58,28	58,28	58,28	58,28
59.9750	59,97	59,97	59,97	60,43

Tabel 7 Analisa regresi terhadap waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan logam Cd dalam tanah

Perlakuan	y	R ²
M1K1	$-0,0240 + 0,0012x$	0,88
M1K2	$-0,4645 + 0,0098x$	1
M1K3	$-0,2220 + 0,0050x$	0,99
M2K1	$-0,1155 + 0,0034x$	0,98
M2K2	$-0,0923 + 0,0030x$	0,97
M2K3	$-0,0738 + 0,0027x$	0,99

Tabel 8 Analisa regresi terhadap waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan logam Cd dalam tanah

Perlakuan	y	R ²
M1K1	-0,2010 + 0,0051x	1
M1K2	-0,3201 + 0,0070x	0,99
M1K3	-0,2364 + 0,0053x	0,99
M2K1	-0,0609 + 0,0023x	0,99
M2K2	-0,1421 + 0,0037x	0,99
M2K3	-0,7624 + 0,0127x	0,99

2. Penyisihan Logam Pb dan Cd pada Tanaman

Tabel 9 Efisiensi Penyisihan Pb pada Tanaman Akar Wangi Ulangan 1

Variasi Rumpun	Tanah awal (ppm)	Tanaman		Efisiensi Penyisihan (%)
		Awal (ppm)	Akhir (ppm)	
M1T1	266,49	12,79	216,22	81,13
M1T2	466,49		410,85	88,07
M1T3	666,49		609,60	91,46
M2T1	248,62		210,53	84,68
M2T2	448,62		393,93	87,81
M2T3	648,62		598,43	92,26

Tabel 10 Efisiensi Penyisihan Pb pada Tanaman Akar Wangi Ulangan 2

Variasi Rumpun	Tanah awal (ppm)	Tanaman		Efisiensi Penyisihan (%)
		Awal (ppm)	Akhir (ppm)	
M1T1	266,49	12,79	216,22	81,13
M1T2	466,49		410,85	88,18
M1T3	666,49		609,60	91,66
M2T1	248,62		210,53	84,69
M2T2	448,62		393,93	87,77
M2T3	648,62		598,43	92,16

Tabel 11 Efisiensi Penyisihan Cd pada Tanaman Akar Wangi Ulangan 1

Variasi Rumpun	Tanah awal (ppm)	Tanaman		Efisiensi Penyisihan (%)
		Awal (ppm)	Akhir (ppm)	
M1K1	79,42		47,71	60,07
M1K2	99,42		60,36	60,71
M1K3	119,42	5,76	65,27	54,65
M2K1	78,73		59,23	75,22
M2K2	98,73		72,38	73,31
M2K3	118,73		68,96	58,07

Tabel 12 Efisiensi Penyisihan Cd pada Tanaman Akar Wangi Ulangan 2

Variasi Rumpun	Tanah awal (ppm)	Tanaman		Efisiensi Penyisihan (%)
		Awal (ppm)	Akhir (ppm)	
M1K1	79,42		47,70	60,06
M1K2	99,42		52,29	57,63
M1K3	119,42	5,76	65,07	54,49
M2K1	78,73		60,43	76,75
M2K2	98,73		68,58	69,46
M2K3	118,73		70,03	58,98

LAMPIRAN B
Dokumentasi Penelitian

1. Alat dan Bahan



Reaktor Proses (Pot)



Timbangan



Pipet Ukur dan Bulb



Gelas Ukur



Tabung Reaksi



Labu Ukur



Timbangan



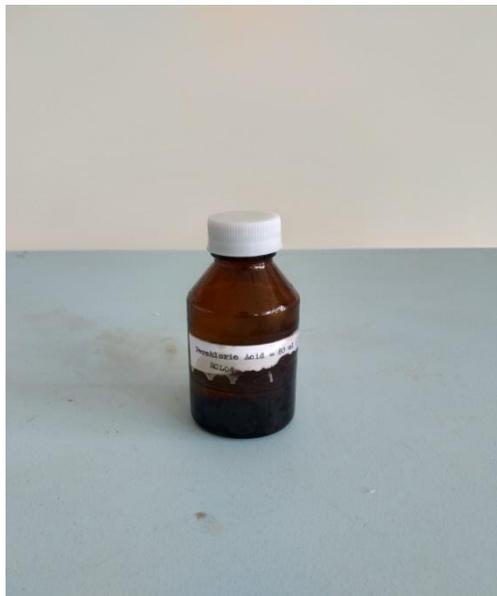
Cawan Petri



Oven



Larutan HNO₃



Larutan HClO₄



Aquades



Tanah Sebagai Media Tanam



Tanaman Akar Wangi

2. Proses Penelitian



Proses Persiapan Media Tanam



Proses Penanaman Tanaman Akar Wangi



Penambahan Pencemar Buatan



Tanaman Akar Wangi Pada Minggu Ke-7



Tanaman Akar Wangi Pada Minggu Ke-21



Sampel yang Siap Diuji



Penimbangan Sampel



Penambahan Larutan HNO_3 dan HClO_4



Proses Destruksi



Penyaringan Sampel



Pengenceran Sampel



Sampel Siap Diuji

LAMPIRAN C
Lampiran Perhitungan

Lampiran 1 : Larutan Standar Pb

- a. Pb konsentrasi 200 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$200 \text{ ppm} \times 100 \text{ ml} = 1000 \text{ ppm} \times V_2$$

$$V_2 = \frac{200 \text{ ppm} \times 100 \text{ ml}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V_2 = 20 \text{ ml}$$

- b. Pb konsentrasi 400 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$400 \text{ ppm} \times 100 \text{ ml} = 1000 \text{ ppm} \times V_2$$

$$V_2 = \frac{400 \text{ ppm} \times 100 \text{ ml}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V_2 = 40 \text{ ml}$$

- c. Pb konsentrasi 600 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$600 \text{ ppm} \times 100 \text{ ml} = 1000 \text{ ppm} \times V_2$$

$$V_2 = \frac{600 \text{ ppm} \times 100 \text{ ml}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V_2 = 60 \text{ ml}$$

Lampiran 2 : Larutan Standar Cd

- a. Cd konsentrasi 40 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$40 \text{ ppm} \times 100 \text{ ml} = 1000 \text{ ppm} \times V_2$$

$$V_2 = \frac{40 \text{ ppm} \times 100 \text{ ml}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V_2 = 4 \text{ ml}$$

b. Cd konsentrasi 60 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$60 \text{ ppm} \times 100 \text{ ml} = 1000 \text{ ppm} \times V_2$$

$$V_2 = \frac{60 \text{ ppm} \times 100 \text{ ml}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V_2 = 6 \text{ ml}$$

c. Cd konsentrasi 80 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$80 \text{ ppm} \times 100 \text{ ml} = 1000 \text{ ppm} \times V_2$$

$$V_2 = \frac{80 \text{ ppm} \times 100 \text{ ml}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V_2 = 8 \text{ ml}$$

Lampiran 3 : Penyerapan Logam Dalam Tanah

No.	Perlakuan	Konsentrasi Penyerapan					
		(ppm)			(%)		
		I	II	III	I	II	III
1.	M1T1	63.0538	98.1388	98.1388	23.6607	36.8263	36.8263
2.	M1T2	68.5413	104.5863	98.3400	14.6929	22.4198	21.0808
3.	M1T3	69.7913	128.5138	309.4025	10.4714	19.2821	46.4226
4.	M2T1	50.9838	95.6625	110.5450	20.5066	38.4772	44.4632
5.	M2T2	67.5838	104.9313	94.5338	15.0648	23.3897	21.0721
6.	M2T3	63.0838	304.9314	361.5700	9.7258	47.0122	55.7444

Persentase penurunan logam pada media tanam dengan menggunakan rumus berikut :

$$RE (\%) = \frac{\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir}}{\text{konsentrasi awal}} \times 100 \%$$

$$\begin{aligned} RE \text{ M1T1} (\%) &= \frac{266.4913 - 203.4375}{266.4913} \times 100 \\ &= 23.6607\% \end{aligned}$$

Lampiran 4 : Penyerapan Logam Pada Tumbuhan

Variasi Rumpun	Tanah awal (ppm)	Tanaman		Efisiensi Penyisihan (%)
		Awal (ppm)	Akhir (ppm)	
M1T1	266.4913		216.2288	81.1392
M1T2	466.4913		410.8500	88.0724
M1T3	666.4913	12.7963	609.6000	91.4641
M2T1	248.6213		210.5375	84.6820
M2T2	448.6213		393.9375	87.8107
M2T3	648.6213		598.4375	92.2630

Persentase penyerapan logam pada tanaman dengan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Efisiensi Penyerapan} = \frac{\text{Konsentrasi Penyerapan Logam dalam tanaman}}{\text{Konsentrasi Penurunan Logam dalam Media Tanam}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Penyerapan M1T1 (\%)} = \frac{(216.2288)}{266.4913} \times 100 = 81.1392 \%$$