

**SKRIPSI**

**KEMAMPUAN TANAMAN HIAS BUNGA DALAM  
FITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR LOGAM KADMIUM  
(Cd) DARI LAHAN TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA)  
SAMPAH TAMANGAPA ANTANG MAKASSAR**

**NUR FADILA LA GANIRUN**

**H041181025**



**DEPARTEMEN BIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**

**KEMAMPUAN TANAMAN HIAS BUNGA DALAM  
FITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR LOGAM KADMIUM  
(Cd) DARI LAHAN TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA)  
SAMPAH TAMANGAPA ANTANG MAKASSAR**

*Skripsi ini dibuat sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Biologi  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin*

**NUR FADILA LA GANIRUN  
H041181025**

**DEPARTEMEN BIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

KEMAMPUAN TANAMAN HIAS BUNGA DALAM FITOREMEDIASI  
TANAH TERCEMAR LOGAM KADMIUM (Cd) DARI LAHAN TEMPAT  
PEMBUANGAN AKHIR (TPA) SAMPAH TAMANGAPA ANTANG  
MAKASSAR

Disusun dan diajukan oleh

NUR FADILA LA GANIRUN

H041181025

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Biologi Fakultas  
Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada  
tanggal, 06 Februari 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan  
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Julriah, M.Si.  
NIP 196312311988102001

Pembimbing Pertama,



Dr. Elis Tambaru, M.Si.  
NIP 196301021990022001

Ketua Program Studi



Dr. Magdalena Litaay, M.Sc.  
NIP 196409291989032002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Fadila La Ganirun

NIM : H041181025

Program Studi : Biologi

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi dengan judul Kemampuan Tanaman Hias Bunga dalam Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Kadmium (Cd) dari Lahan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Tamangapa Antang Makassar adalah karya tulisan saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 06 Februari 2023

Yang Menyatakan



Nur Fadila La Ganirun

## KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim,

Assalamu`alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah Rabbil `Aalamiin, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu wa Ta`ala atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “**Kemampuan Tanaman Hias Bunga dalam Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Kadmium (Cd) dari Lahan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Tamangapa Antang Makassar**”. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Rasulullah Shallallahu `alahi Wasallam beserta keluarga dan para sahabat beliau yang menjadi teladan yang telah membawa manusia dari lembah tanpa pena dan tanpa cahaya ilmu pengetahuan menuju lembah yang berhiaskan cahaya Islam dan lentera pena ilmu pengetahuan.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan program Sarjana (S1) Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Selama proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari motivasi, doa yang tulus dan bimbingan dari berbagai pihak, untuk itu dengan kerendahan hati penulis ingin menyampaikan terima kasih sedalam-dalamnya kepada orang tua tercinta Ayahanda La Ganirun dan Ibunda Atima serta kakak-kakak penulis Nur Linda Ganirun, S.KM. dan Ansari Ramadhan yang telah memberikan motivasi, dukungan baik moral dan materil serta doa yang selalu tercurah untuk penulis. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada kakak Fiqih Zul Fasri Alzah, S.H. yang telah banyak memberikan bantuan selama perkuliahan hingga proses penelitian yang mengajarkan untuk tetap tegar, menjadi motivator dan figur yang baik untuk penulis.

Selama penulisan skripsi ini tentunya penulis mendapat banyak bantuan dari berbagai pihak yang telah mendukung dan membimbing penulis, oleh karena itu dengan segenap kerendahan hati penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta seluruh stafnya.
2. Bapak Dr. Eng. Amiruddin, M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin beserta seluruh stafnya.
3. Ibu Dr. Magdalena Litaay, M.Sc., selaku Ketua Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin beserta seluruh stafnya.
4. Ibu Dr. Juhriah, M.Si., selaku dosen pembimbing utama skripsi sekaligus dosen Penasehat Akademik (PA) yang telah memberikan bimbingan dan arahannya selama proses perkuliahan hingga akhir masa studi dan senantiasa mengarahkan penulis dalam proses penelitian hingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Ibu Dr. Elis Tambaru, M.Si., selaku pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan, ilmu, waktu yang diberikan dalam membimbing dan mengarahkan penulis berupa kritik dan saran yang membangun dalam proses penulisan skripsi ini hingga dapat terselesaikan.
6. Bapak Drs. Munif Said Hassan, M.Si. dan Ibu Dr. Irma Andriani, S.Pi., M.Si., selaku dosen penguji yang senantiasa memberikan ilmu, bimbingan, kritik dan saran yang membangun dalam menyempurnakan skripsi ini.
7. Bapak dan Ibu dosen Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin atas segala ilmu yang bermanfaat.

8. Bapak Latif, Ibu Nur Aisah, kakak Mutmainnah S.Kep.,Ns. dan Muhammad Husain Ramadhan terima kasih telah menjadi keluarga kedua di Makassar.
9. Personil Fii Sabilillah (Nurul Haliza Firdauziah, Siti Annisa, Nurasmiansih, Musdalifah, Andi Maipadiapati, Magfirah, Fatimah Tussahra, dan Andi Nurhiqmah Dewi) yang telah menjadi sahabat sekaligus saudara seperjuangan yang banyak memberikan bantuan, motivasi, kebaikan, kebersamaan, doa yang tulus dan menjadi pengingat urusan akhirat selama masa perkuliahan.
10. Seluruh pegawai dan staf Laboratorium Kimia Kesehatan, Balai Besar Laboratorium Makassar yang telah membimbing dalam proses penelitian.
11. Rekan penelitian yaitu Mutmainnah Zakariah dan Dian Islamiah yang telah membantu selama melakukan penelitian.
12. Teman-teman Biologi Angkatan 2018 terkhusus untuk sahabat seperjuangan yaitu Karlinda dan Khaeriah terima kasih atas dukungan, bantuan dan doa yang diberikan selama perkuliahan.
13. Pengurus Unit Kegiatan Mahasiswa Lembaga Dakwah Kampus Mahasiswa Pecinta Mushollah (UKM LDK MPM) Unhas yang telah banyak memberikan pelajaran, motivasi ruhiyah dan nasehat selama kepengurusan.
14. Seluruh pihak yang telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan. Akhirnya penulis hanya mampu mendoakan semoga Allah senantiasa melimpahkan rahmat untuk kita semua.

Makassar, 06 Februari 2023

Penulis

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat kadmium (Cd) pada tanah Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Tamangapa Antang, Makassar dan mengetahui kemampuan 5 jenis tanaman hias bunga dalam mengakumulasi logam berat kadmium (Cd). Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis kandungan logam kadmium (Cd) pada tanah tercemar yang diambil dari lahan TPA Sampah Tamangapa Antang, Makassar. Tanah tersebut digunakan sebagai media semai dan pertumbuhan 5 jenis tanaman hias bunga. Eksperimen fitoremediasi dilakukan di dalam *planter bag* berisi 5 kg sampel tanah terkontaminasi, masing-masing dengan 3 ulangan. Pengamatan pertumbuhan jenis tanaman dilakukan selama 12 pekan. Parameter yang diamati terdiri dari tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun, panjang dan lebar daun, biomassa, penyisihan logam dan efisiensi penyerapan logam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan logam berat kadmium (Cd) untuk analisis awal pada tanah TPA Sampah Tamangapa Antang, Makassar telah melewati nilai ambang batas yaitu sebesar 0,53 µg/g. Setelah dilakukan fitoremediasi menggunakan 5 jenis tanaman hias bunga, kelima jenis tanaman hias bunga tumbuh baik pada media tanah tercemar logam kadmium (Cd) dengan biomassa tanaman yang paling tinggi terdapat pada bunga *Mirabilis jalapa* L. 27,8539% dan yang terkecil pada bunga *Impatiens balsamina* L. yaitu 13,0952%. Pada media tanam *Zinnia elegans* Jacq kadar logam kadmium (Cd) sebesar 0,1669 µg/g (penurunan sebesar 68,5095%) sedangkan pada media tanam *Mirabilis jalapa* L. diperoleh 0,2061 µg/g (penurunan sebesar 61,1133%). Tanaman *Celosia argentea* L. mampu menyerap logam kadmium (Cd) terbanyak yaitu 1,4600 µg/g dan terkecil pada tanaman *Impatiens balsamina* L. hanya 0,1306 µg/g. Penyisihan logam kadmium terbesar terdapat pada media tanam bunga *Mirabilis jalapa* L. yaitu 38,8867% dan terkecil pada *Zinnia elegans* Jacq yaitu 31,4905%. Efisiensi penyerapan logam terbesar terdapat pada bunga *Celosia argentea* L. yaitu 275,4716% dan terkecil pada bunga *Impatiens balsamina* L. yaitu hanya 24,6415%. Hal ini menunjukkan bahwa kelima jenis tanaman hias bunga tersebut mampu mengakumulasi logam berat kadmium (Cd) untuk fitoremediasi tanah tercemar.

**Kata kunci:** logam berat, tanah, kadmium (Cd), fitoremediasi, tanaman hias bunga

## ABSTRACT

This study aims to determine the content of heavy metal cadmium (Cd) in the soil of the Tamangapa Antang Garbage Final Disposal Site (FDS) Makassar, and to determine the ability of 5 types of ornamental plants in accumulating heavy metal cadmium (Cd). This study was conducted by analyzing the content of cadmium (Cd) metal in polluted soil taken from the Tamangapa Antang landfill, Makassar. The soil was used as a medium for seedlings and the growth of 5 types of ornamental flower plants. Phytoremediation experiments were conducted in *planter bag* containing 5 kg of contaminated soil samples, each with 3 replicates. Observation of plant species growth was carried out for 12 weeks. The parameters observed consisted of plant height, stem diameter, number of leaves, length and width of leaves, biomass, metal removal and metal absorption efficiency. The results showed that the content of heavy metal cadmium (Cd) for initial analysis in the soil of the Antang Waste Landfill, Makassar has exceeded the threshold value of 0.53  $\mu\text{g/g}$ . After phytoremediation using 5 types of ornamental flower plants, the five types of ornamental flower plants grew well on cadmium (Cd) metal-contaminated soil media with the highest plant biomass found in the flowers of *Mirabilis jalapa* L. 27.8539% and the smallest in the flower of *Impatiens balsamina* L. which is 13.0952%. In *Zinnia elegans* Jacq planting media, the cadmium (Cd) metal content was 0.1669  $\mu\text{g/g}$  (a decrease of 68.5095%) while in *Mirabilis jalapa* L. planting media obtained 0.2061  $\mu\text{g/g}$  (a decrease of 61.1133%). *Celosia argentea* L. plants were able to absorb the most cadmium metal (Cd), namely 1.4600  $\mu\text{g/g}$  and the smallest in *Impatiens balsamina* L. plants was only 0.1306  $\mu\text{g/g}$ . The largest cadmium metal removal was found in the *Mirabilis jalapa* L. flower planting media, namely 38.8867% and the smallest in *Zinnia elegans* Jacq, namely 31.4905%. The largest metal absorption efficiency was found in *Celosia argentea* L. flowers, which was 275.4716% and the smallest in *Impatiens balsamina* L. flowers, which was only 24.6415%. This showed that the five types of ornamental flower plants were able to accumulate heavy metal cadmium (Cd) for phytoremediation of polluted soil.

Keywords: heavy metal, soil, cadmium (Cd), phytoremediation, ornamental flower plants

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	viii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
DAFTAR ISI.....	x
<b>BAB PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Tujuan Penelitian.....	3
I.3 Manfaat Penelitian.....	3
I.4 Waktu dan Tempat Penelitan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
II.1 Logam Berat Kadmium (Cd).....	5
II.2 Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Tamangapa Antang, Makassar.....	8
II.3 Fitoremediasi.....	10
II.4 Mekanisme Tanaman dalam Mengakumulasi Logam Berat.....	13
II.5 Fisiologi Tumbuhan Berkaitan dengan Adanya Senyawa Fitokelatin.....	16
II.6 Tumbuhan Hiperakumulator.....	18
II.6.1 Bunga Matahari <i>Helianthus annuus</i> L. ....	20
II.6.2 Bunga Kertas <i>Zinnia elegans</i> Jacq.....	21

II.6.3 Bunga Pukul Empat <i>Mirabilis jalapa</i> L.....	22
II.6.4 Bunga Pacar Air <i>Impatiens balsamina</i> L.....	23
II.6.5 Bunga Jengger Ayam <i>Celosia argentea</i> L.....	24
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>26</b>
III.1 Alat .....	26
III.2 Bahan.....	26
III.3 Metode Kerja.....	26
III.3.1 Analisis Awal Kandungan Logam Kadmium (Cd) pada Tanah.....	26
III.3.2 Penanaman dan Parameter Pertumbuhan Tanaman.....	27
III.3.3 Analisis Akhir Kandungan Kadmium (Cd) pada Tanah dan Tanaman.....	28
III.4 Cara Kerja Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS).....	29
III.5 Analisis Data.....	29
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>30</b>
IV.1 Analisis Awal Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) dalam Tanah.....	30
IV.2 Pengamatan Pertumbuhan Tanaman.....	31
IV.2.1 Jumlah Daun.....	32
IV.3 Analisis Akhir Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) dalam Tanah.....	33
IV.4 Kandungan Logam Kadmium (Cd) pada Tanaman.....	34
IV.5 Biomassa Tanaman.....	35
IV.6 Penyisihan Logam Kadmium (Cd).....	36
IV.7 Efisiensi Penyerapan Logam Kadmium (Cd).....	37
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>38</b>
V.1 Kesimpulan.....	38
V.2 Saran.....	38
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>39</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Nilai Ambang Batas Logam Berat dalam Sedimen/Tanah.....	7
2. Biomassa 5 Jenis Tanaman Hias Bunga.....	35
3. Penyisihan Logam Cd pada 5 Jenis Tanaman Hias Bunga.....	36
4. Efisiensi Penyerapan Logam Kadmium (Cd) 5 Jenis Tanaman Hias.....	37

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Lokasi TPA Sampah Tamangapa Antang Makassar.....	6
2. Bunga Matahari <i>Helianthus annuus</i> L.....	20
3. Bunga Kertas <i>Zinnia elegans</i> Jaqc.....	21
4. Bunga Pukul Empat <i>Mirabilis jalapa</i> L.....	22
5. Bunga Pacar Air <i>Impatiens balsamina</i> L.....	23
6. Bunga Jengger Ayam <i>Celosia argentea</i> L.....	24
7. Histogram Parameter Pertumbuhan.....	31
8. Histogram Jumlah Daun 5 Jenis Tanaman Hias Bunga Umur 12 MST.....	32
9. Histogram Kandungan Logam Kadmium (Cd) dalam Tanah.....	33
10. Histogram Kandungan Logam Kadmium (Cd) pada Tanaman Hias Bunga...	34

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	<b>Halaman</b>
1. Penyiapan Media Tanah.....	41
2. Analisis Awal Kandungan Kadmium (Cd) dalam Tanah.....	42
3. Penanaman dan Pengamatan Tumbuhan.....	43
4. Analisis Kandungan Kadmium (Cd) pada Tanah dan Tanaman.....	44
5. Rumus Perhitungan Hasil Pembacaan ICP-MS pada Tanah dan Tanaman.....	45

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin maju mendorong daya cipta manusia untuk menghasilkan berbagai macam industri. Pesatnya perkembangan industri, memberikan dampak positif terhadap manusia untuk memenuhi kebutuhannya. Tidak dapat dipungkiri, hal tersebut juga memiliki dampak negatif berupa limbah yang dihasilkan yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Masalah pencemaran lingkungan pada era industrialisasi saat ini banyak mendapat perhatian serius, terutama pencemaran oleh logam berat.

Logam berat merupakan bahan pencemar yang sangat berbahaya karena sulit teruraikan pada lingkungan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Hindratmo dkk (2019), logam berat merupakan zat pencemar yang berbahaya karena memiliki sifat tidak dapat terdegradasi secara alami dan cenderung terakumulasi dalam air, sedimen dasar perairan, dan tubuh organisme. Menurut Dzakwan dan Achmad (2021), secara alami logam berat dilepaskan melalui proses dinamik pelapukan batuan, dan erosi oleh batuan dasar maupun endapan mineral. Namun aktivitas manusia juga dapat menyebabkan penyebaran logam berat seperti proses industri, agrokimia, irigasi air limbah, maupun aktivitas rumah tangga.

Limbah logam berat akibat aktivitas manusia yang dibuang pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah dapat menyebabkan pencemaran tanah. Seperti halnya pada TPA Sampah Antang Makassar, pencemaran tanah juga terjadi akibat berbagai zat pencemar yang tidak dapat diuraikan oleh mikroba dalam tanah. TPA Sampah Antang Makassar merupakan pusat tempat pembuangan akhir sampah bagi seluruh wilayah di Makassar. Timbunan sampah

pada TPA Antang Makassar ini sebagian besar sulit atau tidak dapat diuraikan oleh mikroba dalam tanah. Zat pencemar ini berupa berbagai logam berat yang merusak atau mencemari tanah (Patandungan, 2014). Pencemaran tanah oleh logam berat mempunyai karakteristik yang tidak sama dengan pencemaran oleh bahan organik di mana logam berat tidak dapat terbiodegradasi di dalam tanah dengan cepat dan bisa bertahan di dalam tanah dalam waktu yang sangat lama. Salah satu logam berat yang dapat dijumpai pada TPA sampah ialah kandungan logam kadmium (Cd) yang sangat sulit terurai di lingkungan. Keberadaan logam berat dalam tanah dapat masuk ke dalam rantai makanan melalui tumbuhan serta dapat menjadi masalah serius jika tanaman tersebut dikonsumsi oleh hewan dan manusia. Oleh karena itu, perlu dilakukan bioremediasi yang efektif untuk menanggulangi pencemaran tersebut. Salah satunya ialah dengan fitoremediasi.

Fitoremediasi merupakan upaya penggunaan tumbuhan dan bagian-bagiannya untuk dekontaminasi limbah dan masalah-masalah pencemaran lingkungan. Fitoremediasi dianggap sebagai suatu teknologi inovatif, efektif dan ramah lingkungan dalam menanggulangi pencemaran lingkungan. Hal ini dikarenakan fitoremediasi dapat memberikan remediasi secara permanen pada daerah tercemar. Tumbuhan yang mampu mengakumulasi logam berat pada daerah tercemar disebut sebagai tumbuhan hiperakumulator. Beberapa penelitian yang telah dilakukan membuktikan bahwa tumbuhan bunga matahari *Helianthus annuus* L., bunga kertas *Zinnia elegans* Jacq, bunga pukul empat *Mirabilis jalapa* L., bunga pacar air *Impatiens balsamina* L. dan bunga jengger ayam *Celosia argentea* L. mampu mengakumulasikan logam berat pada daerah tercemar secara efektif. Selain itu juga, tumbuhan-tumbuhan tersebut menghasilkan bunga yang sangat indah, sehingga disamping meremediasi pencemaran logam berat juga dapat menambah estetika pada daerah tercemar.

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka dilakukanlah penelitian menggunakan 5 jenis tanaman hias bunga tersebut untuk mengetahui kemampuannya dalam menyerap dan mereduksi pencemaran logam berat kadmium (Cd) pada tanah dari lahan TPA Sampah Tamangapa Antang, Makassar.

## **I.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui kandungan logam berat kadmium (Cd) pada tanah Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Tamangapa Antang, Makassar.
2. Mengetahui pertumbuhan tanaman hias bunga pada tanah tercemar logam kadmium (Cd).
3. Mengetahui kemampuan tanaman hias bunga dalam mengakumulasi logam kadmium (Cd).
4. Mengetahui kemampuan tanaman hias bunga dalam fitoremediasi tanah tercemar logam kadmium (Cd).
5. Mengetahui kemampuan tanaman hias bunga dalam penyisihan dan efisiensi penyerapan logam kadmium (Cd).

## **I.3 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini ialah dapat menambah pengetahuan mengenai kemampuan tanaman bunga matahari *Helianthus annuus* L., *Zinnia elegans* Jacq, *Mirabilis jalapa* L., *Impatiens balsamina* L. dan *Celosia argentea* L. dalam fitoremediasi logam berat kadmium (Cd) sehingga dapat digunakan dalam menanggulangi pencemaran logam berat secara efisien, permanen dan ramah lingkungan pada tanah tercemar.

#### **I.4 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Desember 2021-Desember 2022 di Lantai 4 Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin dan analisis kandungan kadmium (Cd) dilakukan di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar, Sulawesi Selatan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Logam Berat Kadmium (Cd)**

Logam berat sangat berbahaya karena umumnya memiliki rapat massa tinggi dan sejumlah konsentrasi kecil dapat bersifat racun dan berbahaya. Logam berat dapat ditemui pada alat-alat rumah tangga (misalnya baterai), rokok, alat-alat elektronik, pipa air, bensin, udara, keramik, serta material lainnya. Konsentrasi logam berat pada barang tersebut kecil dan tidak berbahaya. Namun menjadi berbahaya bila terakumulasi dalam tubuh sehingga mengakibatkan keracunan, bahkan lebih fatal sampai berakibat kematian (Alloway, 2013).

Kadmium (Cd) merupakan logam berat pencemar lingkungan yang dapat menyebabkan klorosis, nekrosis, layu serta gangguan fotosintesis dan transpirasi sehingga menghambat pertumbuhan. Kadmium dapat terakumulasi dalam kadar yang tinggi pada bagian tanaman yang dapat dikonsumsi tanpa menimbulkan gejala cekaman, sehingga lebih berisiko bagi kesehatan manusia. Pada manusia, Cd dapat menyebabkan disfungsi ginjal, kerapuhan dan deformasi tulang, serta kanker paru. Dampak lingkungan dari pencemaran Cd berkaitan dengan reaktivitas, kelarutan dan mobilitasnya Sudadi dkk., (2008) dalam (Juhriah, dkk., 2017).

Kadmium merupakan logam berat non-esensial bersifat toksik bagi tanaman. Logam ini dapat menghambat pertumbuhan tanaman atau bahkan menyebabkan kematian sel. Tanaman eceng gondok menunjukkan gejala keracunan Cd di akar pada konsentrasi Cd 1 ppm, yang ditunjukkan dengan berkurangnya jumlah dan ketebalan lapisan sel hypodermal, jumlah lapisan sel korteks

(Iriawati dan Fitriana, 2006). Secara alami tanah mengandung Kadmium (Cd) dengan konsentrasi tergantung dari batuan induk, cara terbentuknya tanah dan translokasi logam berat di tanah (Alloway, 1995a). Kegiatan pemupukan fosfat alam dan pupuk kandang antara lain juga merupakan sumber pencemar Cd di lahan pertanian (Suharjo dkk, 2022).

Kadmium yang terakumulasi di dalam tanah merupakan sumber utama Cd yang diserap tanaman. Kadmium merupakan logam berat yang bersifat toksik bagi sebagian besar makhluk termasuk manusia. Jika Cd terakumulasi pada ginjal melebihi 200 mg Kg<sup>-1</sup> berat badan dapat menyebabkan demineralisasi tulang dan disfungsi ginjal (Bhattacharyya, *et al.*, 1988). Menurut FAO dan WHO dikutip Alloway (1995b), Cd yang dapat ditoleransi tubuh manusia per orang adalah 400-500 µg per minggu atau 7 µg Kg<sup>-1</sup> berat badan. Pada tanaman, Cd yang terakumulasi berlebih dapat menyebabkan penurunan pertumbuhan, produktivitas tanaman bahkan kematian. Keberadaan Cd pada lahan pertanian perlu dicermati, karena Cd bersama Ni dan Zn adalah logam berat yang paling akhir diadsorpsi tanah sehingga lebih tersedia bagi tanaman dibandingkan beberapa logam lain, seperti Cu, Pb dan Cr (Gomes, *et al.*, 2001). Hal ini berarti bahwa tanaman lebih mudah menyerap Cd dibandingkan logam lainnya seperti Pb, karena Cd terikat lemah oleh tanah. Selanjutnya Cd yang diserap akar tanaman, umumnya akan terakumulasi di dalam akar, akan tetapi pada tanaman selada *Lactuca sativa* L. Cd lebih banyak terakumulasi di dalam daun (Suharjo dkk, 2022).

Logam berat seperti kadmium sering menjadi pencemar pada lahan pertanian karena berasosiasi dengan penggunaan pupuk Fosfat. Susana dan Suswati (2010) mengatakan bahwa lahan pertanian gambut di Kecamatan Pontianak Utara

menunjukkan rerata kandungan Cd total dalam tanah pada areal sayur-sayuran 0,327 mg/kg. Unsur Cd sangat toksik terhadap makhluk hidup pada konsentrasi rendah, sehingga nilai maksimal yang diperbolehkan pada pakan atau pangan juga pada level yang sangat rendah dibandingkan logam berat lainnya (Juhriah, dkk., 2017). Masuknya logam berat ke lingkungan tidak serta merta meracuni makhluk hidup akan tetapi logam berat baru meracuni jika masuk ke dalam sistem metabolisme makhluk hidup dan melampaui ambang batas. Ambang batas untuk setiap jenis logam berat dan makhluk hidup berbeda. Menurut Badan Standarisasi Nasional-SNI (2004), Nilai Ambang Batas (NAB) logam berat dalam tanah atau sedimen dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Nilai Ambang Batas (NAB) Logam Berat pada Sedimen/Tanah

<b>Logam Berat</b>	<b>Satuan</b>	<b>Nilai Ambang Batas</b>
Timbal (Pb)	µg/g	0,07
Kadmium (Cd)	µg/g	0,01
Tembaga (Cu)	µg/g	0,04
Khromium (Cr)	µg/g	0,5
Nikel (Ni)	µg/g	0,31
Mangan (Mn)	µg/g	0,15
Seng (Zn)	µg/g	0,06

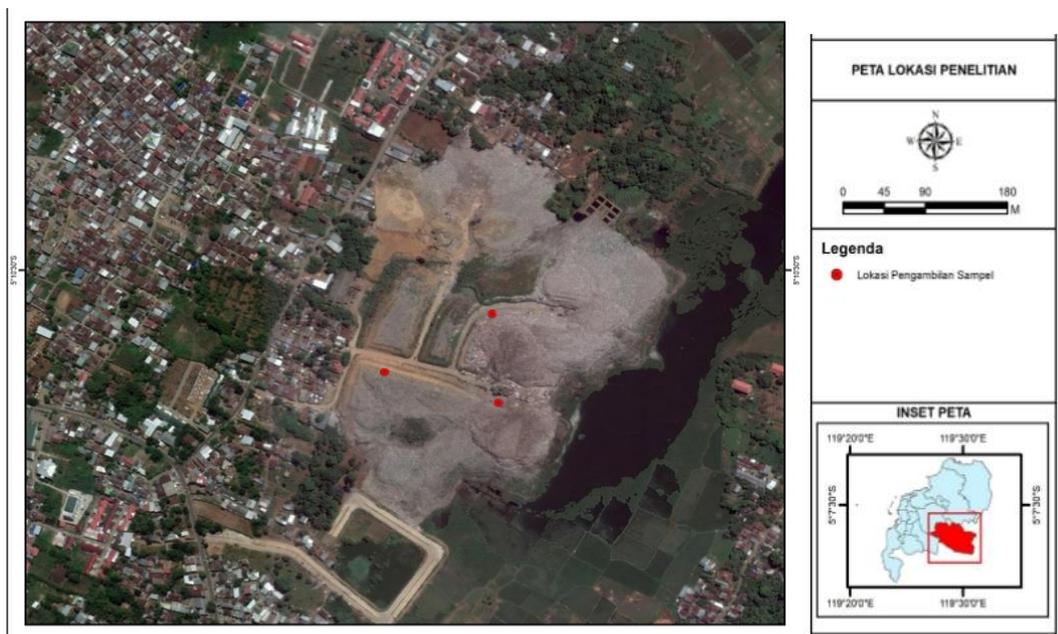
(Sumber : Badan Standarisasi Nasional-SNI, 2004).

Logam kadmium sangat banyak digunakan manusia dalam kehidupan sehari-hari. Prinsip dasar atau prinsip utama dalam penggunaan kadmium adalah sebagai bahan “stabilisasi” sebagai bahan pewarna dalam industri plastik dan pada elektroplating. Namun sebagian dari substansi logam kadmium ini juga digunakan untuk solder dan alloy-alloynya digunakan pula pada baterai. Umumnya logam

kadmium (Cd) senyawa oksida dari kadmium (CdO), hidrat (CdH<sub>2</sub>), dan Khloridanya paling banyak digunakan dalam industri elektroplating. Selain itu banyak digunakan dalam industri-industri ringan, seperti pada proses pengolahan roti, pengolahan ikan, pengolahan minuman, industri tekstil dan lain-lain, banyak dilibatkan senyawa-senyawa yang dibentuk dengan logam Cd, meskipun penggunaannya hanyalah dengan konsentrasi yang sangat rendah (Nur, 2013).

Secara sederhana dapat diketahui bahwa kandungan logam kadmium (Cd) dapat dijumpai di daerah-daerah penimbunan sampah dan aliran air hujan, selain dalam air buangan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dalam perairan Teluk New York didapatkan bahwa sumber Cd dalam badan perairan yang dikonstrubusi dari air limbah industri sangat sedikit, yaitu 0,6% dari total kandungan Cd yang ada. Sedangkan jumlah paling besar dikonstrubusi oleh limbah padat yaitu 82 % (Parvau, 2010).

## II.2 Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Tamangapa Antang, Makassar



Gambar 1. Peta Lokasi TPA Sampah Tamangapa Antang, Makassar (Citra Satelit Kota Makassar, 2020).

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) merupakan tempat terakhir yang digunakan untuk menampung berbagai jenis sampah yang dikumpulkan dari berbagai tempat. Tujuan penampungan adalah untuk memusnahkan atau meminimalkan jumlah sampah dengan cara tertentu sehingga dapat mengurangi dampak negatif bagi lingkungan. Upaya pemerintah dalam membantu penanggulangan sampah adalah menyediakan tempat pembuangan sampah sementara (TPS) dan menetapkan lokasi TPA dengan kebijakan daerah setempat. Namun hal ini saja tidak dapat mengatasi dampak yang ditimbulkan oleh pencemaran sampah. Selain merusak sifat kimia tanah, penampungan sampah juga merusak tatanan lingkungan dan bau yang kurang sedap yang ditimbulkan dari penumpukan sampah tersebut. Oleh karena itu diperlukan alternatif untuk mengurangi pencemaran tanah yang diakibatkan oleh sampah terutama sampah yang tidak dapat diuraikan oleh mikroba dalam tanah (Patandungan, 2014).

Seperti halnya pada TPA Sampah Antang Makassar, kerusakan atau pencemaran tanah juga terjadi akibat berbagai zat pencemar yang tidak dapat diuraikan oleh mikroba dalam tanah. TPA Antang Makassar merupakan pusat tempat pembuangan akhir sampah bagi seluruh wilayah di Makassar. Luas lahan TPA Antang Makassar yaitu 16,8 Ha. Timbunan sampah pada TPA Antang Makassar ini sebagian besar sulit atau tidak dapat diuraikan oleh mikroba dalam tanah. Zat pencemar ini berupa berbagai logam berat yang merusak atau mencemari tanah. Salah satu logam berat yang ada dalam sampah yaitu logam Cd yang beresiko tinggi terhadap pencemaran lingkungan. Beberapa jenis sampah yang mengandung logam Cd seperti plastik, kaleng-kaleng dan berbagai logam-logam yang tidak dapat terurai oleh mikroba tanah (Patandungan, 2014).

Jumlah penduduk kota Makassar mencapai 1,3 juta jiwa dan menghasilkan sampah 3800 m<sup>3</sup> sampah perkotaan setiap harinya sedangkan kapasitas maksimum TPA Antang hanya sekitar 2800 m<sup>3</sup> sampah perkotaan setiap harinya sehingga memerlukan penambahan 1000 m<sup>3</sup>. Sebagian besar sampah berasal dari aktivitas penduduk seperti di pasar, pusat perdagangan, rumah makan, dan hotel. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Zubair dan Haeruddin (2012) diketahui bahwa sekitar 87% sampah di Makassar merupakan sampah organik dan sekitar 13% adalah sampah anorganik, seperti plastik dan lain-lain. Sedangkan jumlah timbulan sampah di TPA Sampah tamangapa antang makassar sebesar 517,70 ton/hari (Patandangan, 2014).

### **II.3 Fitoremediasi**

Tindakan pemulihan perlu dilakukan agar tanah yang tercemar dapat digunakan kembali dengan aman. Salah satu teknologi yang digunakan untuk meremediasi tanah yang tercemar logam berat adalah fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan suatu teknologi untuk menghilangkan atau mengurangi suatu zat polutan pada tanah atau air menggunakan suatu tanaman (Anugroho dkk, 2017).

Fitoremediasi berasal dari kata Inggris *phytoremediation*, kata ini sendiri tersusun atas dua bagian kata, yaitu *phyto* yang berasal dari kata Yunani *phyton* yang berarti "tumbuhan" dan *remediation* yang berasal dari kata Latin *remedium* artinya "menyembuhkan", dalam hal ini berarti juga "menyelesaikan masalah dengan cara memperbaiki kesalahan atau kekurangan". Dengan demikian fitoremediasi dapat didefinisikan sebagai penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan, atau menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik (Nur, 2013).

Pada proses remediasi, tumbuhan dapat bersifat aktif maupun pasif dalam mendegradasi bahan polutan. Secara aktif tumbuhan memiliki kemampuan yang berbeda dalam fitoremediasi (Juhriah dan Mir, 2016) diantaranya :

1. Fitotransformasi, yaitu pengambilan kontaminan bahan organik dan nutrisi dari tanah atau air tanah yang kemudian ditransformasikan oleh tumbuhan. Proses transformasi polutan dalam tumbuhan dapat berubah menjadi nontoksik atau menjadi lebih toksik. Metabolit hasil transformasi tersebut terakumulasi dalam tubuh tumbuhan.
2. Fitoekstraksi, mencakup penyerapan kontaminan/polutan oleh akar tumbuhan dan translokasi atau akumulasi senyawa itu ke bagian tumbuhan seperti akar, daun atau batang. Tanaman tersebut dinamakan hiperakumulator. Setelah polutan terakumulasi, tumbuhan dapat dipanen dan tumbuhan tersebut tidak boleh dikonsumsi tetapi harus dimusnahkan dengan insinerator atau ditimbun dalam *landfill*.
3. Rizofiltrasi, adalah pemanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap, mengendapkan, dan mengakumulasi logam dari aliran limbah. Konsep dasar ini berlaku apabila medium yang tercemarnya adalah badan perairan.
4. Fitodegradasi, adalah proses penyerapan polutan oleh tumbuhan dan kemudian polutan tersebut mengalami metabolisme di dalam tumbuhan. Metabolisme polutan di dalam tumbuhan melibatkan enzim antara lain nitroreduktase, laccase, dehalogenase, oksigenase dan nitrilase.
5. Fitovolatilisasi, merupakan proses penyerapan polutan/kontaminan oleh tumbuhan, kemudian polutan tersebut diubah menjadi bersifat volatil (mudah menguap), setelah itu ditranspirasikan oleh tumbuhan. Polutan yang

dilepaskan oleh tumbuhan ke udara melalui daun dapat memiliki bentuk senyawa awal polutan, atau dapat juga menjadi senyawa yang berbeda dari senyawa awal.

6. Fitostabilisasi, merupakan proses yang dilakukan oleh tumbuhan untuk mentransformasikan polutan di dalam tanah menjadi senyawa nontoksik tanpa menyerap terlebih dahulu polutan tersebut ke dalam tubuh tumbuhan. Hasil transformasi dari polutan tersebut tetap berada di dalam tanah. Fitostabilisasi dapat diartikan sebagai penyimpanan tanah dan sedimen yang terkontaminasi dengan menggunakan vegetasi, dan immobilisasi kontaminan beracun polutan. Fitostabilisasi biasanya digunakan untuk kontaminan logam pada daerah berlimbah yang mengandung suatu kontaminan. Fitostabilisasi adalah suatu fenomena diproduksinya senyawa kimia tertentu untuk mengimobilisasi kontaminan di daerah rizosfer.

Fitoremediasi dianggap teknologi yang inovatif, ekonomis dan relatif aman terhadap lingkungan sehingga merupakan solusi untuk remediasi beberapa daerah yang tercemar logam berat. Fitoremediasi adalah istilah umum yang digunakan untuk menggambarkan berbagai mekanisme yang pada tanaman hidup untuk mengubah komposisi kimia dari matriks tanah tercemar di mana mereka tumbuh. Pada dasarnya, ini adalah penggunaan tanaman untuk pembersihan tanah yang terkontaminasi sedimen atau air. Keuntungan teknik ini adalah jelas bahwa biaya lebih murah bila dibandingkan dengan teknik in situ atau ex situ lainnya. Tanaman dapat dengan mudah dimonitor untuk memastikan pertumbuhan, logam berharga dapat direklamasi dan dipakai ulang melalui fitoremediasi. Keuntungan utama dari aplikasi teknik fitoremediasi dibandingkan dengan sistem remediasi

lainnya adalah kemampuannya untuk menghasilkan buangan sekunder yang lebih rendah sifat toksiknya, lebih bersahabat dengan lingkungan serta lebih ekonomis. Fitoremediasi juga menawarkan remediasi permanen pada lokasi atau daerah tercemar (Sidauruk dan Patrisius, 2015).

#### **II.4 Mekanisme Tanaman dalam Mengakumulasi Logam Berat**

Mekanisme tanaman dalam mengakumulasi logam berat dapat dilakukan dengan berbagai cara tergantung jenis tanaman yaitu melalui fitoekstraksi dan fitokelatin. Fitoekstraksi adalah salah satu bentuk fitoremediasi dimana tanaman melalui akar tanaman menyerap pencemar (logam berat) dari larutan tanah dan diakumulasi di batang dan daun (bagian tanaman yang dapat dipanen). Fitoekstraksi biasa digunakan untuk memulihkan tanah tercemar khususnya logam berat seperti Pb (Zhuang et al., 2005 dalam Suharjo dkk, 2022). Tanaman yang memiliki kemampuan untuk menyerap logam berat dalam jumlah yang lebih banyak disebut tanaman *hyperaccumulator* (hiperakumulator). Tanaman hiperakumulator adalah tanaman yang mampu mengakumulasi logam berat pada jaringan tanam dan bagian yang dapat dipanen yang berada diatas tanah pada kisaran 0,1 – 1% dari berat keringnya (Baker et al.,1991 dalam Suresh and Ravishankar, 2004) (Suharjo dkk, 2022). *Hyperaccumulation* (hiperakumulasi) merupakan kombinasi dari aspek adsorpsi, pengangkutan dan translokasi yang membutuhkan penampung yang besar (bagian penyimpanan/jaringan) untuk menyimpan pencemar/logam berat. Hiperakumulasi terutama tergantung pada logam berat dan spesies tanaman. Akar tanaman menyerap logam berat bersamaan dengan hara yang lain, diangkut melalui jaringan xylem dan floem kemudian diakumulasi pada bagian yang dapat dipanen (Suresh and Ravishankar, 2004).

Adsorpsi pencemar logam berat seperti Pb oleh tanaman mengombinasikan keuntungan luas permukaan akar yang lebih besar dengan afinitas reseptor kimia yang tinggi. Pencemar logam berat bersamaan dengan hara yang lain berikatan dengan permukaan akar (Suharjo dkk, 2022).

Dalam sel-sel akar, sistem pengangkutan dan tempat/bagian dengan afinitas pengikatan yang tinggi memediasi pengambilan logam berat melalui plasma membrane. Pengambilan logam berat melalui pengangkut sekunder seperti saluran protein atau protein pembawa  $H^+$  dimana potensial negatif membran mendorong pengambilan kation melalui pengangkut sekunder (Clemen et al., 2002 dalam Suresh and Ravishankar, 2004) (Suharjo dkk, 2022).

Urutan pengambilan logam berat ke dalam symplasma akar dan pergerakan ke xylem mencakup 3 tahapan: penahanan logam berat dalam sel akar, pengangkutan symplastik ke stele dan terakhir dilepas ke xylem yang dimediasi oleh membran pengangkutan protein. Dalam pengangkutan dan translokasi logam berat, phytochelatin dan metalothioneins memainkan peran penting (Anaka et al., 2001 dalam Suharjo dkk, 2022). *Phytochelatin* adalah kelompok protein yang memiliki asam amino cystein, glycine, dan asam glutamat yang menginduksi tanaman jika tanaman mengalami cekaman logam berat. Senyawa ini mengikat ion logam dan membawanya ke vakuola dimana logam berat tidak lebih lama menjadi toksik (Suresh and Ravishankar, 2004 dalam Suharjo dkk, 2022). Fitokelatin adalah suatu protein yang dihasilkan oleh tumbuhan dalam keadaan sangat tinggi kandungan logam berat di lingkungannya. Jadi dapat dikatakan bahwa fitokelatin adalah bentuk adaptasi tumbuhan terhadap cekaman logam berat di lingkungannya. Fitokelatin adalah peptida kecil yang kaya akan asam amino

sistein yang mengandung belerang. Peptida ini biasanya mempunyai 2 sampai 8 asam amino sistein di pusat molekulnya, serta sebuah asam glutamat dan sebuah glisin pada ujung-ujung yang berlawanan. Protein adalah senyawa sangat kompleks yang selalu mengandung unsur-unsur karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan seringkali juga belerang. Protein tersusun atas molekul-molekul asam amino yang ujung-ujungnya saling berikatan membentuk rantai panjang. Hubungan ini terjadi dengan menggabungkan gugus karboksil dari sebuah asam amino dengan gugus amino asam amino lain, dengan mengeluarkan satu molekul air dari senyawa itu (yaitu sebuah reaksi kondensasi). Ikatan  $-CO-NH-$  yang menggabungkan kedua asam amino disebut ikatan peptida. Sistein sendiri merupakan sebuah contoh asam amino yang mengandung belerang sebagai tambahan pada empat unsur yang umum terdapat dalam asam amino itu. Asam ini memperoleh perhatian khusus karena gugus sulfidril,  $-SH$ , sangat reaktif dan pada oksidasi akan bergabung dengan gugus sulfidril dari molekul sistein lain, membentuk asam amino rangkap yaitu sistin (Suharjo dkk, 2022).

Menurut Salisbury dan Ross (1995) dalam Suharjo dkk, (2022), fitokelatin dihasilkan oleh banyak spesies, tapi sejauh ini diketahui bahwa fitokelatin hanya dijumpai bila terdapat logam dalam jumlah yang meracuni. Fitokelatin dihasilkan pula oleh spesies yang kelebihan seng dan tembaga sehingga dapat meracuni berbagai logam esensial juga. Oleh karena itu, pembentukannya benar-benar merupakan respon tumbuhan untuk beradaptasi terhadap keadaan lingkungan yang rawan.

## **II.5 Fisiologi Tumbuhan Berkaitan dengan Adanya Senyawa Fitokelatin**

1. Penyerapan unsur hara oleh tanaman dari dalam tanah

Selain karbon dan sebagian oksigen, yang keduanya berasal dari karbondioksida dalam atmosfer, unsur-unsur kimia penyusun tumbuhan umumnya diserap dari dalam tanah oleh perakaran. Semua unsur tersebut diserap sebagai garam anorganik. Hadirnya unsur mineral dalam tubuh tumbuhan tidak harus berarti bahwa unsur ini penting bagi pertumbuhannya. Silikon misalnya, sering terdapat dalam jumlah cukup besar, akan tetapi kebanyakan tumbuhan dapat tumbuh normal jika silikon itu sengaja dikeluarkan dari lingkungannya. Garam mineral diambil dari dalam tanah sebagai ion. Air dan garam mineral dari tanah memasuki tumbuhan melalui epidermis akar, menembus korteks akar, masuk ke dalam stele, dan kemudian mengalir naik ke pembuluh xilem sampai ke sistem tunas. Kebanyakan proses penyerapan ini terjadi di dekat ujung akar karena epidermisnya permiabel terhadap air dan terdapat rambut akar. Campbell (2003) dalam Suharjo dkk, (2022) disebutkan bahwa rambut akar, mikorhiza, dan luas permukaan sel-sel kortikal yang sangat besar meningkatkan penyerapan air dan mineral. Rambut akar adalah jalur terpenting dalam penyerapan di dekat ujung akar. Saat larutan tanah memasuki akar, maka luas permukaan membran sel korteks yang begitu besar meningkatkan pengambilan air dan mineral tertentu ke dalam sel (Suharjo dkk, 2022).

Kehadiran logam-logam berat dalam tubuh tumbuhan, juga masuk melalui penyerapan unsur mineral ini. Logam berat yang ada di lingkungan masuk melalui akar melalui penyerapan mineral seperti biasanya. Namun karena logam berat bukan merupakan nutrisi yang dibutuhkan oleh tumbuhan, maka kehadirannya kemudian direspon dengan pembentukan senyawa fitokelatin yang akan mengikatnya. Tidak semua tumbuhan mampu menghasilkan fitokelatin, beberapa

contoh yang dapat menghasilkan fitokelatin adalah *Amaranthus tricolor* (bayam cabut), *Azotobacter* (yang merupakan pupuk hayati), *Vigna radiata* (Suharjo dkk, 2022).

## 2. Proses fisiologi tumbuhan dalam menghasilkan senyawa fitokelatin

Beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan adalah (Suharjo dkk, 2022):

1. Faktor genetika
2. Faktor lingkungan
3. Faktor fisiologis

Spesies tumbuhan secara genetis sangat beragam dalam kemampuannya untuk toleran, atau tidak toleran, terhadap unsur tak-esensial: timbal, kadmium, perak, aluminium, raksa, timah, dan sebagainya, dalam jumlah yang meracuni. Selain faktor genetis, lingkungan pun mempengaruhi proses pertumbuhan dan perkembangan suatu tumbuhan. Faktor-faktor cahaya, suhu, ketersediaan air, kelembaban udara dan topografi tanah sangat berperan dalam proses ini. Pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan tersebut berlangsung melalui suatu proses fisiologi yang dilakukan oleh tumbuhan itu sendiri. Proses fisiologi ini dilakukan secara alami oleh tumbuhan dengan memanfaatkan kemampuan fisiologisnya (Suharjo dkk, 2022).

Salah satu proses fisiologi yang dapat dilakukan oleh tumbuhan adalah kemampuannya untuk beradaptasi terhadap kelebihan logam berat di lingkungannya dengan membentuk suatu senyawa protein yang disebut fitokelatin yang dapat mengikat unsur logam berat di lingkungan. Cd termasuk dalam logam berat non-esensial, dalam jumlah yang berlebih menyebabkan toksisitas pada

manusia, hewan dan tumbuhan. Akumulasi pada tumbuhan dapat memicu perubahan ekspresi protein. Protein fitokelatin pada tumbuhan diketahui berperan sebagai protein pertahanan dan pengikat logam kadmium (Cd) (Suharjo dkk, 2022).

Pemberian 2 mikrogram cupri sulfat per liter dalam media *Vigna radiata* menaikkan jumlah molekul yang mempunyai berat molekul rendah (720 kD), dan juga yang mempunyai berat molekul tinggi (lebih dari 20 kD). Naiknya protein yang mempunyai berat molekul rendah dan tinggi disebabkan karena kemampuan afinitas Cu terhadap peptida terutama pada gugus sulfhidril yang akan mengakibatkan inaktif secara fisiologi (Suharjo dkk, 2022).

Bertambahnya dua macam protein yang mempunyai berat molekul berlawanan tersebut dapat mengakibatkan banyaknya ikatan kompleks logam fitokelatin bertambah. Hal ini sesuai dengan penelitian Vogeli-Lang dan Wagnert dalam Howe dan Merchant (1992) yang menyatakan bahwa terikatnya logam dengan fitokelatin menyebabkan terbentuknya kompleks logam fitokelatin yang akan didektoksifikasi sehingga tumbuhan mampu menahan cekaman logam berat (Suharjo dkk, 2022).

## **II.6 Tumbuhan Hiperakumulator**

Tumbuhan hiperakumulator adalah tumbuhan yang mempunyai kemampuan untuk mengkonsentrasikan logam di dalam biomasanya dalam kadar yang luar biasa tinggi. Kebanyakan tumbuhan mengakumulasi logam, misalnya nikel, sebesar 10 mg/kg berat kering (BK) (setara dengan 0,001%). Tetapi tumbuhan hiperakumulator logam mampu mengakumulasi sampai 11% BK. Batas kadar logam yang terdapat di dalam biomassa agar suatu tumbuhan dapat disebut

hiperakumulator berbeda-beda bergantung pada jenis logamnya. Untuk kadmium, kadar setinggi 0,01% (100 mg/kg BK) dianggap sebagai batas hiperakumulator. Sedangkan batas bagi kobalt, tembaga dan timbal adalah 0,1% (1.000 mg/kg BK) dan untuk seng dan mangan adalah 1% (10.000 mg/kg BK) (Juhriah dan Mir, 2016).

Tidak semua jenis tanaman penyerap kontaminan dapat dikatakan sebagai tanaman hiperakumulator. Ciri-ciri tanaman hiperakumulator diantaranya memiliki ketahanan terhadap logam berat, siklus hidup pendek, distribusi luas serta memiliki biomasa tunas yang besar dan faktor translokasi  $>1$ . Beberapa jenis tanaman hias dan tanaman air berpotensi sebagai tanaman hiperakumulator yang digunakan dalam fitoremediasi. Penyerapan zat kontaminan khususnya logam berat terjadi pada tanaman hiperakumulator melalui mekanisme yang berbeda sesuai dengan jenis tanaman (Mazumdar *et al*, 2015).

Mekanisme akumulasi logam berat oleh tanaman hiperakumulator dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu (Handayani dkk., 2013):

1. Penyerapan oleh akar tanaman

Pada proses penyerapan logam berat oleh tanaman, unsur logam harus berbentuk larutan agar dapat diserap oleh akar tanaman. Senyawa yang terlarut akan diserap oleh akar bersama dengan air. Sedangkan senyawa yang bersifat hidrofobik diserap oleh permukaan tanaman.

2. Translokasi logam dari akar ke bagian tanaman lain

Pada proses translokasi, setelah unsur logam menembus lapisan endodermis akar tanaman kemudian diteruskann ke bagian atas tanman melalui jaringan pengangkut (*xilem* dan *floem*) menuju bagian tanaman lainnya.

### 3. Lokalisasi logam pada sel dan jaringan

Pada proses ini tanaman berusaha mencegah keracunan logam terhadap sel dengan menimbun logam didalam organ tertentu seperti pada akar agar tidak menghambat proses metabolisme tanaman.

#### II.6.1 Bunga Matahari *Helianthus annuus* L.



Gambar 2 Bunga Matahari *Helianthus annuus* L. (Dokumentasi Pribadi, 2022).

Bunga matahari merupakan tanaman yang memiliki beberapa manfaat diantaranya sebagai bahan membuat sabun, lilin, pernis, cat serta pelumas dan tergolong tanaman hiperakumulator yang bersifat toleran terhadap kontaminan. Bunga matahari merupakan tanaman cepat tumbuh dengan produksi biomasa yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan untuk fitoremediasi (penyerapan) logam-logam beracun (Cu, Zn, Pb, Hg, As, Cd, dan Ni) pada tanah yang terkontaminasi (Jadia dan Fulekar, 2008). Bunga matahari juga mampu mengakumulasi Cr sebesar 369,15 hingga 3334 mg Cr/kg berat kering pada bagian akar dan 164,47-995,15 mg Cr/kg berat kering pada bagian batang sampai daun (Utomo, 2018).

Adapun klasifikasi dari tumbuhan bunga matahari adalah sebagai berikut  
(Sumber ITIS.Gov, 2010) :

Regnum : Plantae

Divisio : Tracheophyta

Classis : Magnoliopsida

Ordo : Asterales

Familia : Asteraceae

Genus : *Helianthus* L.

Species : *Helianthus annuus* L.

#### II.6.2 Bunga Kertas *Zinnia elegans* Jacq



Gambar 3 Bunga Kertas *Zinnia elegans* Jacq (Dokumentasi Pribadi, 2022).

*Zinnia elegans* Jacq merupakan bunga yang berasal dari Meksiko. Walaupun berasal dari Meksiko, bunga ini termasuk yang mudah dibudidayakan di Indonesia sebagai tanaman hias. Bunga kertas termasuk dalam suku *Asteraceae*. Bunga kertas yang ditemukan di Indonesia pada umumnya memiliki bentuk dengan bunga pita satu lapis (tidak pompom) dan berwarna krem atau pink tua (Utomo, 2018).

Klasifikasi dari bunga kertas ialah sebagai berikut

(Sumber ITIS .Gov, 2010) :

Regnum : Plantae

Divisio : Tracheophyta

Classis : Magnoliopsida

Ordo : Asterales

Familia : Asteraceae

Genus : *Zinnia*

Species : *Zinnia elegans* Jacq

### II.6.3 Bunga Pukul Empat *Mirabilis jalapa* L.



Gambar 4 Bunga Pukul Empat *Mirabilis jalapa* L. (Dokumentasi Pribadi, 2022).

*Mirabilis jalapa* L. adalah semak yang dapat tumbuh sampai tinggi 1 meter. daun berbentuk hati, panjang 3-12 cm, bunganya biseksual, warnanya merah, pink, kuning, atau putih dan berkembang menjelang sore. Buahnya hitam dan bulat, berdiameter 5-8 mm. Berbatang basah, daunnya berbentuk jantung warna hijau tua panjang 2-3 cm, lebar 8 mm, pangkal daun membulat, ujung meruncing tepi daun rata letaknya berhadapan, mempunyai tangkai daun yang panjangnya 6 cm, bunganya berbentuk terompet dengan banyak macam warna antara lain : merah, putih, jingga, kuning, kombinasi/belang-belang, mekar pada saat sore hari

dan kuncup kembali pada pagi hari menjelang fajar. Buahnya keras, warnanya hitam berbentuk telur dapat dibuat bedak. Kulit umbinya berwarna coklat kehitaman, bentuk bulat memanjang, panjang 7-9 cm dengan diameter 2-5 mm isi umbi berwarna putih (Rahmawati dkk., 2019).

Sistematika (taksonomi) tumbuhan bunga pukul empat

(Sumber ITIS.Gov, 2010):

Regnum : Plantae

Divisio : Tracheophyta

Classis : Magnoliopsida

Ordo : Caryophyllales

Familia : Nyctaginaceae

Genus : *Mirabilis* L.

Species : *Mirabilis jalapa* L.

#### II.6.4 Bunga Pacar Air *Impatiens balsamina* L.



Gambar 5 Bunga Pacar Air *Impatiens balsamina* L. (Dokumentasi Pribadi, 2022).

Pacar air *Impatiens balsamina* L. adalah tumbuhan yang berasal dari Asia Selatan dan Asia Tenggara. Tumbuhan pacar air cukup mudah ditemui di Indonesia. Tumbuhan ini adalah tanaman tahunan atau dua tahunan dan memiliki bunga yang berwarna putih, merah, ungu, atau merah jambu. Bentuk bunganya menyerupai bunga anggrek yang kecil. Tinggi tumbuhan ini bisa mencapai satu

meter dengan batangnya yang tebal namun tidak mengayu dan daunnya yang bergerigi tepinya. Pacar air juga dikenal sebagai bunga balsam yang merupakan tumbuhan semusim, berakar serabut, berbatang basah, bulat, licin, tegak, bercabang, warnanya hijau kekuningan dan biasa ditanam di halaman sebagai tanaman hias atau tumbuhan liar ditempat yang cukup mendapat air dan sinar matahari (Utomo, 2018).

Klasifikasi dari tumbuhan bunga pacar air ialah sebagai berikut (Sumber ITIS.Gov, 2010):

Regnum : Plantae

Divisio : Tracheophyta

Classis : Magnoliopsida

Ordo : Ericales

Familia : Balsaminaceae

Genus : *Impatiens* L.

Species : *Impatiens balsamina* L.

#### II.6.5. Bunga Jengger Ayam *Celosia argentea* L.



Gambar 6 Bunga Jengger Ayam *Celosia argentea* L. (Dokumentasi Pribadi, 2022)

Bunga jengger ayam termasuk ke dalam Famili Amaranthaceae. Tanaman ini dikenal dengan nama-nama daerah seperti bayam ekor belanda, bayam kucing.

Tanaman jengger ayam ini adalah tumbuhan yang tumbuh tegak, tingginya sekitar 30-100 cm, sering tumbuh liar di sisi jalan, pinggir selokan, tanah lapang terlantar. Batangnya bulat dengan alur kasar memanjang, bercabang banyak, warna hijau atau merah. Daunnya berwarna hijau atau merah, berbentuk bulat telur memanjang, ujung lancip, tepinya bergerigi halus hampir rata. Bunganya bulir panjang 3-10 cm, warna merah muda atau ungu, bijinya hitam cerah, bunga tumbuh di ujung-ujung cabang. Perbanyakan tanaman ini dapat dilakukan dengan biji atau setek (Malik dkk, 2014).

Tanaman jengger ayam dalam sistematika tumbuhan diklasifikasikan sebagai berikut (*Sumber ITIS.Gov*, 2010) :

Regnum : Plantae

Divisio : Tracheophyta

Classis : Magnoliopsida

Ordo : Caryophyllales

Familia : Amaranthaceae

Genus : *Celosia* L.

Species : *Celosia argentea* L.