

**PERUBAHAN KETEREKSTRAKAN Cu DAN Zn DALAM TANAH
25 TAHUN PASCAPERLAKUAN LIMBAH INDUSTRI AKIBAT
FITOEKSTRAKSI DENGAN KANGKUNG (*Ipomoea aquatica*)**

(Skripsi)

Oleh

**Nadiatus Soliha
1754121004**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PERUBAHAN KETEREKSTRAKAN Cu DAN Zn DALAM TANAH 25 TAHUN PASCAPERLAKUAN LIMBAH INDUSTRI AKIBAT FITOEKSTRAKSI DENGAN KANGKUNG (*Ipomoea aquatica*)

Oleh

NADIATUS SOLIHA

Limbah industri khususnya limbah yang mengandung logam berat perlu dikelola dengan baik agar tidak membahayakan lingkungan dan manusia. Pengelolaan limbah yang tidak benar akan meninggalkan sisa logam yang dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan pada tanah, aliran air, dan udara. Tanah yang tercemar logam berat menjadi berkurang kesuburannya. Selain itu, logam berat juga dapat menjadi racun bagi tanaman. Oleh karena itu, tanah yang tercemar logam berat harus dilakukan remediasi. Salah satu cara untuk mengendalikan logam berat dalam tanah yaitu dengan dilakukannya fitoremediasi dengan tanaman kangkung.

Penelitian ini dilaksanakan pada Agustus-Oktober 2023 di rumah kaca Perguruan Tinggi Al-Madani Bandar Lampung, menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang disusun secara faktorial dan terdiri dari 2 faktor dengan 3 ulangan. Faktor pertama adalah contoh tanah (S) yang terdiri dari 3 jenis yaitu; S_0 = tanah dengan riwayat diperlakukan limbah industri 0 Mg ha^{-1} , S_1 = tanah dengan riwayat diperlakukan dengan limbah 15 Mg ha^{-1} , S_2 = tanah diperlakukan dengan limbah 60 Mg ha^{-1} . Perlakuan limbah industri dilakukan pada 1998 atau 25 tahun sebelum sampling. Faktor kedua adalah tanaman (T) yang terdiri dari 2 jenis yaitu; T_0 = tanpa tanaman, T_1 = ditanami kangkung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah industri meningkatkan konsentrasi Cu dan Zn serta menurunkan nilai pH tanah. Selain itu, limbah industri juga menurunkan pertumbuhan tanaman kangkung. Tanaman kangkung mampu meremediasi logam berat Cu dan Zn dengan mekanisme fitostabilisasi untuk Cu dan fitoekstraksi untuk Zn.

Kata kunci: Limbah industri, Logam berat, Seng dan Tembaga.

ABSTRACT

CHANGES IN THE EXTRACT ABILITY OF Cu AND Zn IN SOIL 25 YEARS AFTER TREATMENT WITH INDUSTRIAL WASTE THROUGH PHYTOEXTRACTION BY WATER SPINACH (*Ipomoea aquatica*)

By

NADIATUS SOLIHA

Industrial waste, especially waste containing heavy metals, needs to be managed properly so as not to harm the environment and humans. Improper waste management will leave metal residues that can cause environmental pollution to soil, water and air. Soils polluted with heavy metals becomes less fertile. In addition, heavy metals can also be toxic to plants. Therefore, soil polluted with heavy metals must be remediated. One way to control heavy metals in soil is by phytoremediation with water spinach. This research was conducted in August-October 2023 in the greenhouse of Al-Madani College Bandar Lampung, using a completely randomized design (CRD) arranged factorially and consisting of 2 factors with 3 replications. The first factor was the soil sample (S) consisting of 3 types, namely; S_0 = soil with a history of treated industrial waste 0 Mg ha^{-1} , S_1 = soil with a history of treated with waste 15 Mg ha^{-1} , S_2 = soil treated with waste 60 Mg ha^{-1} . Industrial waste treatment was conducted in 1998 or 25 before sampling. The second factor was the plant (T) which consisted of 2 types, namely; T_0 = without plants, T_1 = planted with water spinach. The results showed that industrial waste increased the concentration of Cu and Zn and decreased the pH of soil. In addition, industrial waste also reduced the growth of water spinach plants. Water spinach plants were able to remediate heavy metals Cu and Zn by mechanism phytostabilization for Cu and phytoextraction for Zn.

Keywords: Copper, Heavy metals, Industrial waste and Zinc.

**PERUBAHAN KETEREKSTRAKAN Cu DAN Zn DALAM TANAH
25 TAHUN PASCAPERLAKUAN LIMBAH INDUSTRI AKIBAT
FITOEKSTRAKSI DENGAN KANGKUNG (*Ipomoea aquatica*)**

Oleh

Nadiatus Soliha

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA PERTANIAN**

pada

**Jurusan Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi : **PERUBAHAN KETEREKSTRAKAN Cu dan Zn
DALAM TANAH 25 TAHUN PASCAPERLAKUAN
LIMBAH INDUSTRI AKIBAT FITOEKSTRAKSI
DENGAN KANGKUNG (*Ipomoea aquatica*)**

Nama Mahasiswa : **Nadiatus Soliha**

NPM : 1754121004

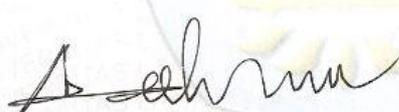
Jurusan : Agroteknoogi

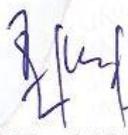
Fakultas : Pertanian



MENYETUJUI:

1. Komisi Pembimbing,


Prof. Dr. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc.
NIP 19601109 198503 1 001

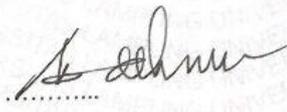

Septi Nurul Aini, S.P., M.Si.
NIP 19920202 201903 2 021

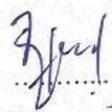
2. Ketua Jurusan Agroteknologi,


Ir. Setyo Widagdo, M.Si.
NIP 19681212 199203 1 004

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc. 

Pembimbing II : Septi Nurul Aini, S.P., M.Si. 

Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Agus Karyanto, M.Sc. 

2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ari Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP 19641118 198902 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 21 Juni 2024

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“PERUBAHAN KETEREKSTRAKAN Cu DAN Zn DALAM TANAH 25 TAHUN PASCAPERLAKUAN LIMBAH INDUSTRI AKIBAT FITOEKSTRAKSI DENGAN KANGKUNG (*Ipomoea aquatica*)”** merupakan hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing: (1) Prof. Dr. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc. dan (2) Septi Nurul Aini, S.P., M.Si., dengan dana analisis dari Prof. Dr. Ir. Abdul Kadir Salam. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah-kaidah penulisan karya tulis ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap untuk menerima sanksi sesuai ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 21 Juni 2024
Yang membuat pernyataan,



NADIATUS SOLIHA
NPM 1754121004

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandungbaru, 24 Desember 1999, sebagai anak ketiga dari empat bersaudara daripasangan Bapak Shofwan Hadi danIbu Widiarti. Penulis memulai pendidikan formaldi TK Islam Hidayatul Mubtadi'in pada 2004-2005, kemudian menempuh pendidikan di MIN Model Bandungbarupada2005-2011, selanjutnya menempuh pendidikan di MTs Negeri 1 Pringsewu pada2011-2014, dan menempuh pendidikan di SMA Negeri 1 Sukoharjopada 2014-2017. Penulis terdaftar sebagai mahasiswaJurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, UniversitasLampung melalujalur Seleksi Mandiri.

Selamamenjadi mahasiswapenulis aktif mengikutiorganisasi Persatuan Mahasiswa Agroteknologi (PERMA AGT) sebagai AnggotaBidang Kaderisasi(2018/2019), Unit Kegiatan Mahasiswa Pecinta Alam Universitas lampung (MAPALA UNILA) sebagai anggota (2018-2020). Penulis juga mengikuti Unit KegiatanMahasiswa eksternal Badan Mahasiswa Pringsewu Seluruh Indonesia (BMPSI) sebagai anggota (2019/2020).

Penulis melaksanakan Praktik Umum (PU)di Balai Pelatihan Pertanian (BPP) di Hajimena, Natar, Lampung Timur, Lampung pada Juli –Agustus 2020. Penulis melaksanakan Kuliah KerjaNyata (KKN)Mandiri selama 40 hari padaFebruari-Maret 2021 di DesaUmbul buah, Kecamatan Kota Agung Timur, Kabupaten Tanggamus, ProvinsiLampung.

Alhamdulillah rabbil 'alamin

Segala puji dan syukur saya hanturkan kepada Allah SWT, sebagai wujud rasa syukur, sebagai tandacinta, kasih dan sayang,sertarasaterimakasihku.

Dengan segala kerendahan hati dan bentuk kerja keras, kupersembahkan karya sederhanaku ini kepada orangtuaku, kakak dan adikku tercinta.

Bapak Shofwan Hadidan Ibu Widiarti tercinta yang telah membesarkan dan mendidikku dengan penuh perjuangan dan kasih sayang, sertaselalu mendukung dan mendo'a kanyang terbaik untuk keberhasilan dan kebahagiaanku.

Prof. Dr. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc., Septi Nurul Aini, S.P., M.Si. dan Dr. Ir. Agus Karyanto, M.Sc., yang telah memberikan bimbingan, bantuan, nasihat, motivasi, dan ilmu yang bermanfaat

Dan terima kasih atas semangat dan motivasi kepada teman-teman seperjuangan Universitas Lampung.

MOTTO

“Keberanian bukan berarti tidak takut, keberanian berarti menaklukkan ketakutan”

(Mohammad Hatta)

“Angin tidak berhembus untuk menggoyangkan pepohonan, melainkan menguji kekuatan akarnya ”

(Ali bin Abi Thalib)

“If you can't fly then run, if you can't run then walk, if you can't walk then crawl, but whatever you do you have to keep moving forward”

(Martin Luther King Jr)

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(QS Al-Insyirah: 5-6)

“Dan berikanlah berita gembira kepada orang-orang yang sabar, yaitu yang ketika ditimpa musibah mereka mengucapkan: sungguh kita semua ini milik Allah dan sungguh kepadaNya lah kita kembali”

(QS Al-Baqarah: 155-156)

SANWACANA

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Perubahan Keterserakan Cu dan Zn dalam Tanah 25 Tahun Pascaperlakuan Limbah Industri Akibat Fitoekstraksi dengan Kangkung (*Ipomoea aquatica*)" yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pertanian di Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis banyak mendapat masukan, bantuan, semangat, bimbingan, kritik dan saran dari berbagai pihak. Maka dengan segala kerendahan hati penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
2. Ir. Setyo Widagdo, M.Si., selaku Ketua Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
3. Prof. Dr. Ir. Sri Yusnaini, M.Si., selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan motivasi, saran serta nasihat kepada penulis;
4. Prof. Dr. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Utama atas kesediaannya dalam memberikan bantuan dana analisis logam berat, bimbingan, motivasi, kritik serta saran kepada penulis sejak awal proses penelitian hingga penyelesaian skripsi;
5. Ibu Septi Nurul Aini, S.P., M. Si., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan bimbingan, kritik serta saran kepada penulis dalam proses penyelesaian skripsi;

6. Dr. Ir. Agus Karyanto, M. Sc., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran dan kritik untuk perbaikan dalam penyelesaian skripsi;
7. Seluruh dosen Jurusan Agroteknologi dan Fakultas Pertanian yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan selama penulis menempuh pendidikan di Universitas Lampung;
8. Kepada orang tua yang tercinta Bapak Shofwan Hadi dan Ibu Widiarti yang tidak henti-hentinya memberikan doa, dukungan baik moril maupun materil, semangat serta nasihat selama menjalani perkuliahan sampai dengan selesai;
9. Kepada Ichwan Hafidh Alhuda yang dengan sabar menemani, memberikan perhatian, semangat, motivasi, serta dukungan sehingga penulisan skripsi dapat berjalan dengan lancar dan selesai hingga akhir;
10. Terima kasih untuk sahabatku Agung Rizi Himawan dan Wawan Setiawan yang telah mendukung dan memotivasi penulis selama ini;
11. Teman-teman terbaikku Nurul Komaril Asyarati, Scolastika Viola Febriant, Nur Baitullah Juniar, Pujiarti Sofania Sagala, Yosephine Indah Aprilyani, Inneke Rezqya Putri, Erninda Octalyani, Antika Sari, Fefran Kristian Sitorus, M. Ihsan Tridamarefay yang telah menemani dan membantu penulis selama penelitian dan penyusunan skripsi;
12. Kepada teman-teman Agroteknologi 2017 atas kebersamaannya selama ini.

Penulis menyadari skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Akhirnya penulis mengucapkan terimakasih, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan pengetahuan baru kepada setiap orang yang membacanya.

Bandar Lampung, 21 Juni 2024
Penulis,

Nadiatus Soliha

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Kerangka pemikiran	3
1.5 Hipotesis	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pencemaran Tanah dan Pengaruh Logam Berat.....	7
2.2 Nilai Ambang Batas Logam Berat Cu dan Zn Dalam Tanah	8
2.3 Pengaruh Tanaman terhadap Sifat-sifat Kimia Tanah.....	9
2.4 Perubahan Keterekrakan Logam Berat akibat Tanaman Fitoremediasi	9
III. BAHAN DAN METODE	11
3.1 Waktu dan Tempat	11
3.2 Alat dan Bahan	11
3.3 Rancangan Percobaan.....	11
3.4 Pelaksanaan Penelitian	12
3.4.1 Pengambilan Contoh Tanah	12
3.4.2 Penanaman.....	15
3.4.3 Pemeliharaan	15
3.4.4 Pemanenan dan Pengambilan Contoh Tanah	15

3.5 Pengamatan.....	16
3.5.1 Pengamatan Tanaman.....	16
3.5.2 Analisis Tanah.....	17
3.5.2.1 Analisis tanah menggunakan pengekstrak 1 <i>N</i> HNO ₃	18
3.5.3 Analisis Data	18
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	19
5.1 Simpulan.....	19
5.2 Saran.....	19
DAFTAR PUSTAKA	20

DAFTAR TABEL

Tabel	Naskah	Halaman
1.	Klasifikasi analitik logam berat di lingkungan tanah.....	6
2.	Nilai ambang batas Cu dan Zn dalam tanah.....	8
3.	Contoh tanah untuk penelitian.	14

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Naskah	Halaman
1.	Kerangka pemikiran pengaruh fitoremediasi oleh tanaman kangkung terhadap keterekstrakan logam berat.	5
2.	Susunan unit perlakuan dalam Rancangan Acak Lengkap.	12
3.	Tata letak lahan percobaan limbah industri di Desa Sidosari, Kecamatan Natar, Lampung Selatan, tempat pengambilan contoh tanah. (L=Limbah industri, L ₀ = tanpa limbah industri, L ₁ = limbah industri 15 Mg ha ⁻¹ , L ₂ = limbah industri 60 Mg ha ⁻¹ , B= bahan organik, B ₀ = tanpa bahan organik, B ₁ = bahan organik 5 Mg ha ⁻¹ ; B ₂ = bahan organik 10 Mg ha ⁻¹ , K= kapur, K ₀ = tanpa kapur, K ₁ = kapur 5 Mg ha ⁻¹).  Patok permanen.	13
4.	Pengambilan contoh tanah komposit dari 5 titik pengambilan pada petak percobaan.	14
5.	Pemeliharaan kadar air kapasitas lapang secara kapiler	15

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah hasil sampingan industri menjadi salah satu persoalan yang perlu diperhatikan karena sebagian mengandung senyawa kimia beracun dan berbahaya (B3), diantaranya logam berat seperti Cu dan Zn. Limbah berlogam berat merupakan salah satu jenis limbah yang apabila tidak dikelola dengan baik dapat membahayakan lingkungan khususnya manusia. Pengelolaan limbah yang tidak benar akan meninggalkan sisa logam yang dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan pada tanah, aliran air, dan udara (Salam, 2017).

Logam berat dalam tanah pada umumnya terdapat pada kadar rendah yang tidak beracun bagi tumbuhan, hewan, dan manusia. Logam berat dapat berbahaya apabila konsentrasinya relatif tinggi, melebihi batas yang diperbolehkan bagi makhluk hidup (Moenir, 2010). Pembajakan dan pengolahan tanah dapat menyebabkan pergerakan logam berat yang paling signifikan dalam sistem tanah (Salam, *et al.*, 2021). Logam berat berpindah secara vertikal ke lapisan yang lebih dalam melalui pengolahan tanah (Mallmann, *et al.*, 2014). Logam terlarut yang paling banyak tersedia untuk tanaman meliputi ion bebas, kompleks, dan khelat (Salam, 2017). Ini semua dapat meningkatkan tingkat toksisitasnya terhadap makhluk hidup.

Tanah yang tercemar logam berat menjadi berkurang kesuburannya. Selain itu, logam berat juga dapat menjadi racun bagi tanaman. Oleh karena itu, tanah yang tercemar logam berat harus dilakukan remediasi. Salah satu cara untuk mengendalikan logam berat dalam tanah yaitu dengan dilakukannya fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan pemanfaatan tumbuhan tertentu untuk mengurangi

logam berat dalam tanah. Dalam fitoremediasi, tumbuhan tertentu dapat dimanfaatkan untuk mengurangi logam pencemar dari tanah dan air (Hasegawa, 2002).

Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tanaman dapat dibagi menjadi tiga proses yang bersinambungan, yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian-bagianlain tanaman, dan lokalisasi logam pada bagian sel tertentu agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan/tanaman (Priyanto dan Prayitno, 2006). Penggunaan tanaman kangkung sebagai fitoremediator telah terbukti memberi kemudahan saat diaplikasikan. Selain biaya lebih rendah dibandingkan dengan metode berbasis rekayasa secara fisika seperti pencucian (*leaching*), secara kimiawi dengan pengendapan dan adsorpsi (*Precipitation and adsorption*). Fitoremediasi dapat membantu mengurangi risiko yang terkait dengan kandungan logam berat melalui penggunaan tanaman hiperakumulator (Pinho dan Ladeiro, 2012).

Cemaran logam berat seperti Cu dan Zn dalam tanah dapat mengakibatkan tanaman yang tumbuh pada tanah tersebut dapat terkontaminasi oleh logam berat (Devi, *et al.*, 2019). Kandungan rata-rata logam Cu dalam tanah organik dan anorganik masing-masing berkisar 35,1754 - 46,9754 mgkg⁻¹ dan 44,5033- 52,4543 mg kg⁻¹, sedangkan kandungan rata-rata logam Zn dalam tanah organik dan anorganik masing-masing berkisar 40,2590-49,8446 mg kg⁻¹ dan 43,5953- 54,1797 mg kg⁻¹. Kisaran ini masih berada dalam kategori tidak tercemar, sesuai dengan persyaratan GLC (*The Former Greater London Council*) bahwa kategori tidak tercemar untuk logam Cu berkisar 0-100 mg kg⁻¹ dan 0-250 mg kg⁻¹ untuk logam Zn (Alloway, 1990).

Mekanisme yang mungkin terjadi pada tanaman kangkung dalam mengakumulasi logam Cu dan Zn ke dalam jaringannya adalah mekanisme rizofiltrasi dan fitoekstraksi. Mekanisme ini terjadi ketika akar tumbuhan mengabsorpsi larutan polutan di sekitar akar ke dalam akar, selanjutnya mentranslokasikannya ke dalam organ tumbuhan melalui pembuluh xylem.

Proses ini dapat digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik seperti logam berat (Erakhumen and Agbontalor, 2007). Proses-proses di atas dapat mengubah keterekstrakan logam berat di dalam tanah, sehingga bentuk logam berat akan menurun, sedangkan bentuk-bentuk lainnya dapat meningkat akibat pengaruh tanaman.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

- (1) Apakah terjadi perubahan keterekstrakan logam Cu dan Zn pada tanah tercemar logam berat akibat penanaman kangkung dalam fitoremediasi?
- (2) Apakah kangkung memiliki kemampuan remediasi Cu dan Zn pada tanah tercemar logam berat?
- (3) Apakah terjadi interaksi antara contoh tanah tercemar logam berat dan tanaman kangkung terhadap konsentrasi logam berat Cu dan Zn?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

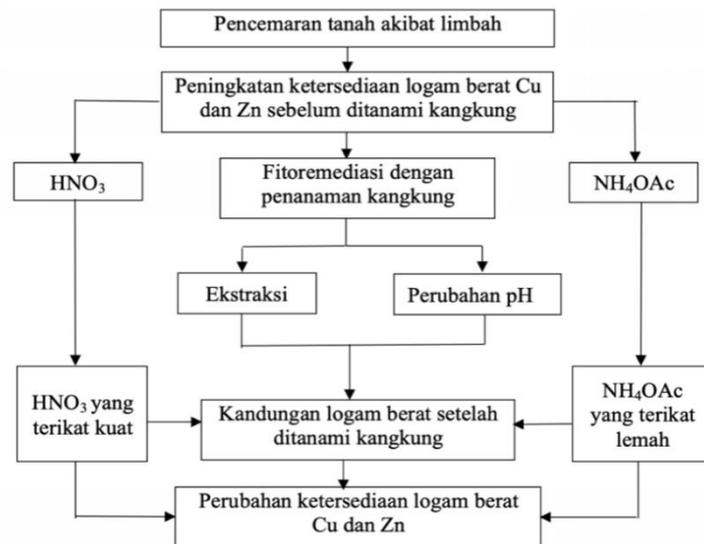
- (1) Mempelajari perubahan keterekstrakan Cu dan Zn pada tanah tercemar logam berat akibat penanaman kangkung dalam fitoremediasi;
- (2) Mempelajari kemampuan kangkung dalam remediasi Cu dan Zn pada tanah tercemar logam berat;
- (3) Mempelajari terjadinya interaksi contoh tanah tercemar logam berat dan tanaman kangkung terhadap konsentrasi logam berat Cu dan Zn.

1.4 Kerangka pemikiran

Logam berat adalah golongan logam yang memiliki kriteria yang sama dengan logam-logam lainnya selain massa jenisnya yang lebih besar. Menurut Palar (2012), logam berat adalah unsur logam yang mempunyai massa jenis lebih besar dari 5 gcm^{-3} , antara lain Cu, Zn, Cd, Hg, Pb, dan Cr yang sering diasosiasikan

dengan unsur-unsur toksik akibat pencemaran. Pencemaran logam berat di dalam tanah dapat berasal dari berbagai aktivitas manusia yang menghasilkan limbah, salah satunya adalah limbah industri. Sebagian industri dalam proses produksinya menggunakan bahan baku mengandung logam berat, sehingga limbah yang dihasilkan juga mengandung unsur-unsur yang sama dengan bahan bakunya (Erfandi dan Juarsah, 2014). Salah satu industri yang menggunakan bahan baku mengandung logam berat yaitu industri sendok logam. Salam (2000) menunjukkan limbah industri sendok logam mengandung logam berat di antaranya Cu, Zn, dan Ni dalam jumlah tinggi.

Palar (2012) melaporkan bahwa apabila pembuangan limbah logam berat ke tanah melebihi kemampuan tanah dalam mencerna limbah, maka akan mengakibatkan pencemaran tanah. Hal ini dikarenakan pada tingkat tertentu, logam berat dapat menjadi beracun bagi makhluk hidup serta dapat menghambat penyerapan unsur hara oleh tanaman. Apabila penyerapan unsur hara terhambat, maka tanaman tidak akan dapat tumbuh secara optimal bahkan dapat mengakibatkan kematian tanaman. Keberadaan logam berat dalam tanah perlu mendapat perhatian yang serius karena tiga hal, meliputi: (1) Sifat racun dan potensi karsinogeniknya; (2) mobilitas logam dalam media bisa dengan cepat berubah dari yang tadinya *immobile*, dan (3) mempunyai sifat konservatif dan cenderung akumulatif dalam tubuh manusia (Hardiani, 2009). Oleh karena itu, perlu analisis perubahan logam berat di dalam tanah. Skema kerangka pemikiran dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pemikiran pengaruh fitoremediasi oleh tanaman kangkung terhadap keterekstrakan logam berat.

Analisis logam berat yang terdapat dalam tanah harus diketahui hubungan antara berbagai bentuk logam berat termasuk kation logam berat bebas, kompleks logam berat, khelat logam berat, logam berat yang dapat dipertukarkan (logam berat teradsorpsi), endapan logam berat, logam berat struktural organik, dan logam berat mineral struktural. Hubungan berbagai bentuk logam berat menunjukkan bahwa logam berat dapat diklasifikasikan secara analitik setidaknya sebagai: (1) logam berat terlarut, (2) logam berat ionik bebas, (3) logam berat dapat dipertukarkan (4) logam berat yang tersedia dalam tumbuhan, dan (5) logam berat total. Setiap klasifikasi analitik ini mencakup berbagai bentuk logam berat di dalam tanah (Tabel 1) (Salam, 2017).

Berdasarkan penelitian Tindaon (2013), tanaman kangkung merupakan salah satu tanaman yang mudah menyerap logam berat dari media tumbuhnya. Pada tanaman kangkung, logam berat tersebut tertimbun di akar dan hanya sedikit yang dibawa ke tajuk. Pada penelitian ini, penulis akan memakai tanaman kangkung karena menurut Maryam (2015), kangkung memiliki daya adaptasi yang tinggi sehingga kangkung cenderung lebih toleran terhadap perubahan lingkungan. Penggunaan kangkung pada penelitian ini diharapkan juga dapat efektif dalam menyerap logam berat Cu dan Zn. Penyerapan logam berat ini tentu akan mengakibatkan perubahan-perubahan kimia di dalam tanah.

Tabel 1. Klasifikasi Analitik Logam Berat di Lingkungan Tanah

No.	Klasifikasi	Termasuk Bentuk Logam Berat
1	Logam Berat Terlarut	Kation Bebas, Kompleks, Khelat
2	Kation Logam Berat Bebas	Kation Bebas
3	Kation Logam Berat Bebas Dapat Dipertukarkan	Kation yang Dapat Dipertukarkan
4	Logam Berat Tersedia Bagi Tanaman	Kation Bebas, Kompleks, Khelat, Kation Dapat Dipertukarkan
5	Unsur Total Logam Berat	Semua Bentuk Logam Berat

Sumber: (Salam, 2017)

Terdapat berbagai cara yang dapat dilakukan untuk dapat mengurangi kelarutan logam berat di dalam tanah, salah satunya adalah dengan pengestrak asam karena salah satu faktor yang mempengaruhi kelarutan Cu dan Zn adalah pH tanah (Salam, 1997). Kondisi pH yang cenderung masam ($\text{pH} < 7$) menyebabkan kelarutan logam berat dalam tanah relatif tinggi. Kondisi pH tanah yang rendah digambarkan oleh tingginya ion H^+ yang berada dalam larutan tanah. Ion H^+ mampu berikatan lebih kuat dengan ion negatif sehingga dapat melarutkan kation logam berat dari kompleks jerapan. Logam berat dapat terlepas dan larut dalam tanah (Alloway, 2005).

1.5 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah:

- (1) Terjadi perubahan keterekstrakan Cu dan Zn pada tanah tercemar logam berat akibat penanaman kangkung;
- (2) Tanaman kangkung memiliki kemampuan remediasi Cu dan Zn pada tanah tercemar logam berat;
- (3) Terdapat interaksi antara contoh tanah tercemar logam berat dan tanaman kangkung terhadap penyerapan logam berat Cu dan Zn.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Tanah dan Pengaruh Logam Berat

Pencemaran tanah dapat meningkatkan kandungan logam berat dari waktu ke waktu (Salam, 2017). Erfandi dan Juarsah (2014), menjelaskan bahwa logam berat yang terakumulasi di dalam tanah dapat menurunkan kualitas tanah, baik secara biologi, kimia, maupun fisika. Komunitas mikroorganisme dapat hilang atau berubah kualitasnya karena ekologi tanah sebagai tempat hidupnya telah tercemari logam berat, yang menyebabkan keracunan. Berbagai proses biologi di dalam tanah yang dikatalisasi oleh mikroorganisme akan terganggu akibat pencemaran oleh logam berat. Selain itu, logam berat akan mengakibatkan perubahan sifat kimia tanah yang berhubungan dengan penyediaan dan penyerapan unsur hara dari tanah ke tanaman. Menurut Novpriansyah (2001), akumulasi logam berat mengakibatkan unsur Cu dan Zn meningkat di dalam tanah. Unsur Cu dan Zn termasuk unsur hara esensial yang dibutuhkan tanaman, tetapi apabila jumlahnya berlebih akan bersifat toksik.

Logam berat di dalam tanah dapat terserap tanaman sehingga menjadi residu dan masuk ke dalam rantai makanan. Akumulasi logam berat di dalam tanaman akan sangat berbahaya apabila masuk ke dalam tubuh manusia yang menyebabkan berbagai macam penyakit (Darmono, 2001). Logam berat kadmium (Cd) menyebabkan kerusakan paru-paru, ginjal, hati, dan tulang. Efek toksik logam Cd tergantung dari cara masuknya ke dalam tubuh. Logam berat kromium (Cr) dapat berakibat buruk terhadap saluran pernapasan, kulit, pembuluh darah, dan ginjal. Logam berat tembaga (Cu) juga menyebabkan penyakit dalam tubuh manusia seperti terganggunya saluran pernapasan, penurunan kerja ginjal, penurunan

jumlah sel darah merah dan sel darah putih, keterbelakangan mental, dll. (Sudarmaji, *et al.*, 2006).

Tanah mempunyai kemampuan kimiawi untuk menurunkan kelarutan dan ketersediaan logam berat dengan cara imobilisasi oleh kompleks jerapan (Sutanto, 2005). Penurunan kelarutan dan ketersediaan logam berat di dalam tanah dapat dilakukan dengan meningkatkan kapasitas jerap tanah terhadap logam berat melalui pengapuran. Kombinasi cara ini dengan fitoremediasi diharapkan dapat secara efektif menurunkan kelarutan logam berat dalam tanah (Salam, 1998).

Fitoremediasi adalah upaya penggunaan tanaman dan bagian-bagiannya untuk dekontaminasi limbah dan masalah-masalah pencemaran lingkungan baik secara *ex-situ* menggunakan kolam buatan atau reaktor maupun *in-situ* atau secara langsung di lapangan pada tanah atau daerah yang terkontaminasi limbah (Subroto, 1996). Fitoremediasi didefinisikan juga sebagai penyerap 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, 1995).

2.2 Nilai Ambang Batas Logam Berat Cu dan Zn Dalam Tanah

Nilai ambang batas logam berat dalam tanah merupakan nilai standar dari konsentrasi logam berat dalam tanah yang dapat diterima tanpa mengakibatkan gangguan kesehatan pada tanah dan tanaman. Nilai ambang batas logam berat Cu dan Zn dalam tanah berdasarkan WHO (1996) disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Ambang Batas Cu dan Zn dalam Tanah

No.	Jenis logam berat	Konsentrasi (mg kg ⁻¹)
1.	Cu	36
2.	Zn	50

Sumber: WHO (1996).

2.3 Pengaruh Tanaman terhadap Sifat-sifat Kimia Tanah

Tanah merupakan tubuh alam yang menduduki sebagian besar permukaan planet bumi. Tanah berfungsi sebagai media tumbuh tanaman dengan berbagai sifat yang dimilikinya (Darmawijaya, 1990). Sifat tanah yang berbedamengakibatkan setiap tanaman mempunyai tanggapan yang berbedapula. Sifat tanah, baik fisika, kimia, maupun biologi, sangat penting dalam hubungannya dengan kesuburan tanah yang menunjang pertumbuhan tanaman. Kesuburan tanah memegang peranan penting dalam meningkatkan produksi dan produktivitas tanaman. Kesuburan tanah juga dapat dilihat secara langsung pada keadaan pertumbuhan tanaman yang menjadi salah satu indikator terjadinya defisiensi hara.

Salah satu sifat tanah yang berkaitan dengan pertumbuhan dan perkembangan tanaman yaitu sifat kimia tanah. Tanaman akhirnya menyerap unsur hara yang telah diangkut menuju atau sudah berada di permukaan akar tanaman. Penyerapan unsur hara oleh akar berlangsung melalui dua tahapan: (1) penyerapan pada wilayah luar (*outer-space absorption*) dan (2) penyerapan pada wilayah dalam (*inner-space absorption*)(Tisdale, *et al.*, 1985).

Kehadiran akar tanaman dapat menyerap logam berat tersedia yang termasuk bagian dari bentuk larut, bentuk yang dapat ditukar, endapan, dan juga mineral primer, tergantung pada sifat-sifat lingkungan tanah yang dipengaruhi oleh akar tanaman(Dietz, *et al.*, 2020). Sebagai contoh, akar tanaman yang secara efektif menurunkan pH tanah melalui ekskresinya dapat secara efektif melarutkan endapan dan mineral primer tanah.Oleh karena itu, dapat meningkatkan logam berat tanah di luar yang dipasok oleh bentuk yang dapat larut dan yang dapat dipertukarkan (Bray *et al.*, 2015).

2.4 Perubahan Keterekstrakan Logam Berat akibat Tanaman Fitoremediasi

Kandungan logam berat dalam tanah dapat dikurangi melalui penanaman vegetasi penyerap logam berat. Vegetasi ini mempunyai bentuk yang beraneka ragam,

baik yang berwujud seperti alang-alang maupun membentuk jalinan berupa rumput. Teknologi untuk memperbaiki lahan dengan menggunakan tanaman seperti ini dikenal dengan sebutan fitoremediasi (Hasegawa, 2002).

Logam berat dalam tanah terjerap oleh akar dan selanjutnya akan terakumulasi dalam akar, batang, daun, buah, dan biji. Proses penghilangan, pemindahan, atau penghancuran kontaminan logam berat di tanah, air, dan air bawah tanah dengan menggunakan tanaman tertentu disebut bioremediasi. Salah satu vegetasi yang dapat mengikat logam berat adalah kangkung (*Ipomoea aquatica*). Proses bioremediasi menggunakan tanaman bioakumulator logam berat disebut fitoremediasi (Silva *et al.*, 2021).

Penelitian dengan penggunaan vegetasi untuk menurunkan kandungan logam berat dapat dilakukan dengan memanfaatkan tanaman yang toleran terhadap logam (Prasad dan Freitas, 2003). Metode fitoremediasi menggunakan tanaman untuk mengekstrak, menetralkan, mengakumulasi, dan mengurangi kontaminan dari tanah, air, atau udara merupakan strategi yang efektif dan ekonomis untuk mengangkut logam berat dari tanah (Yanet *et al.*, 2020).

III. BAHAN DAN METODE

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada Agustus-Oktober 2023. Penanaman dilakukan di rumah kaca Perguruan Tinggi Al-Madani Bandar Lampung dan analisis tanah dan tanaman dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan yaitu cangkul, pisau lapang, kantong plastik, meteran, kertas label, alat tulis, botol kocok, botol film, neraca analitik, kertas saring, labu takar, gelas ukur, pipet tetes, spatula, tabung reaksi, mesin kocok, pH meter, pengayak tanah, dan *flame Atomic Absorption Spectrophotometer (flame AAS)* model *iCE 3000*.

Bahan-bahan yang digunakan yaitu contoh tanah dari Sidosari, Lampung Selatan, bibit tanaman kangkung, aquades, polybag, HCl, dan larutan pengekstrak 1N HNO₃. Contoh tanah diambil dari lahan percobaan Desa Sidosari, Natar, Lampung Selatan, Lampung yang telah dibuat sejak Juli 1998 atau 25 tahun lalu dengan perlakuan limbah industri berlogam berat.

3.3 Rancangan Percobaan

Penelitian ini dilaksanakan di rumah kaca PT Al-Madani menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang disusun secara faktorial dan terdiri dari 2 faktor dengan 3 ulangan.

Faktor pertama adalah contoh tanah (S) yang terdiri dari 3 jenis yaitu:

S_0 = Tanaman Kontrol (Tanah dengan riwayat diperlakukan limbah industri
0 Mg ha⁻¹)

S_1 = Tanah dengan tingkat logam berat Rendah (Tanah dengan riwayat
diperlakukan limbah 15 Mg ha⁻¹)

S_2 = Tanah dengan tingkat logam berat Tinggi (Tanah dengan riwayat
diperlakukan limbah 60 Mg ha⁻¹)

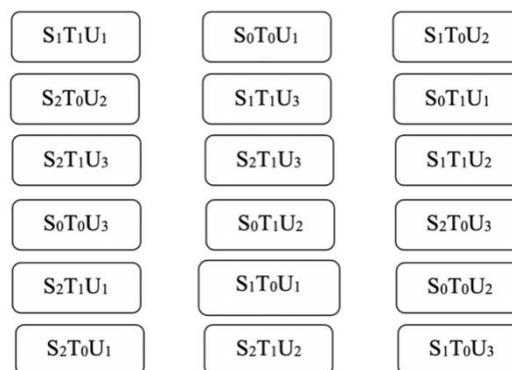
Faktor kedua adalah tanaman (T) yang terdiri dari 2 jenis yaitu:

T_0 = Tanpa tanaman

T_1 = Ditanami tanaman kangkung.

Faktor-faktor tersebut dikombinasikan sehingga didapatkan 6 unit perlakuan.

Selanjutnya perlakuan diulang 3 kali sehingga terdapat 3x2x3 atau 18 unit satuan percobaan (Gambar 2).



Gambar 2. Susunan unit perlakuan dalam rancangan acak lengkap.

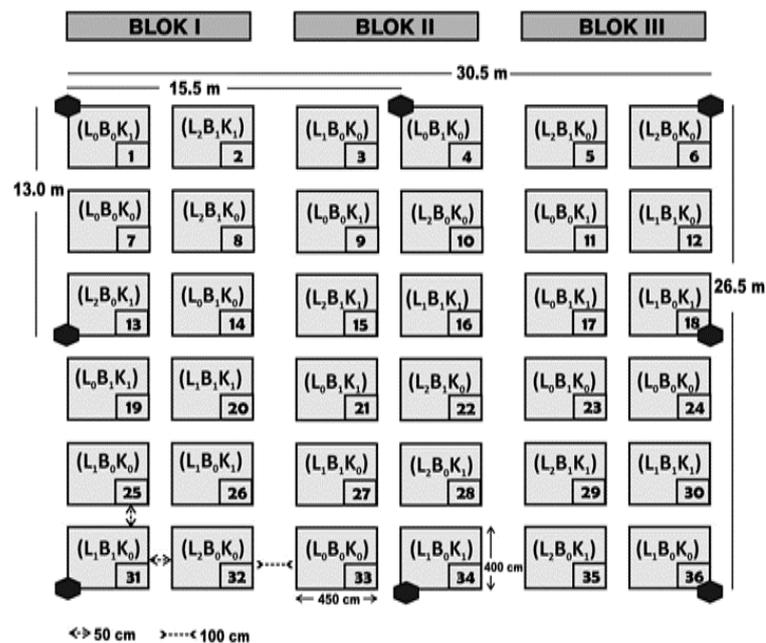
3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Pengambilan Contoh Tanah

Contoh tanah diambil dari petak percobaan yang tertera pada (Gambar 3) yang dibuat pada Juli 1998 di Desa Sidosari, Kecamatan Natar, Lampung Selatan. Pada lahan percobaan terdapat 3 blok percobaan dengan masing-masing blok terdiri

dari 12 petak percobaan. Seluruh blok telah diaplikasikan limbah berlogam berat, kapur, dan kompos daun singkong pada Juli 1998. Tanah yang digunakan merupakan tanah yang telah tercemar limbah industri sendok logam yang berasal dari PT *Star Metal Ware Industry*, Jakarta.

Masing-masing petak percobaan berukuran 4,5 m x 4 m dengan jarak antartetak 0,5 m dan antarkelompok 1 m. Lahan percobaan ditanami berbagai tanaman secara bergantian seperti jagung, padi gogo, dan singkong. Keperluan yang digunakan pada penelitian ini diambil dari contoh tanah pada Tabel 2.

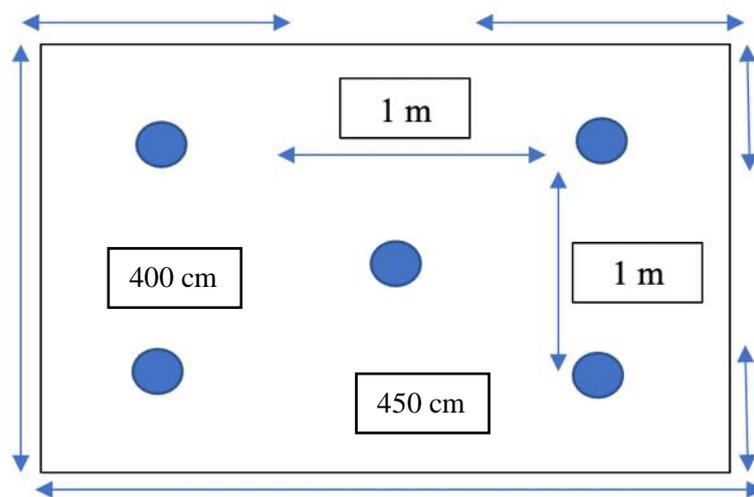


Gambar 3. Tata letak lahan percobaan limbah industri di Desa Sidosari, Kecamatan Natar, Lampung Selatan, tempat pengambilan contoh tanah. (L=Limbah industri, L₀= tanpa limbah industri, L₁= limbah industri 15 Mg ha⁻¹, L₂= limbah industri 60 Mg ha⁻¹, B= bahan organik, B₀= tanpa bahan organik, B₁= bahan organik 5 Mg ha⁻¹; B₂= bahan organik 10 Mg ha⁻¹, K= kapur, K₀= tanpa kapur, K₁= kapur 5 Mg ha⁻¹).  Patok permanen.

Tabel 3. Contoh Tanah untuk Penelitian

No	Tingkat Logam berat	Unit Percobaan	Limbah industri	Kompos	Kapur
			 Mg ha ⁻¹	
1.	Kontrol (S ₀)	L ₀ B ₀ K ₀	0	0	0
2.	Rendah (S ₁)	L ₁ B ₀ K ₀	15	0	0
3.	Kontrol (S ₂)	L ₂ B ₀ K ₀	60	0	0

Bagian tanah yang diambil adalah lapisan atas (*topsoil*) sampai kedalaman 15 cm. Contoh tanah yang sama dari 3 blok diaduk rata, dikeringudarkan di ruang berventilasi baik dengan cara contoh tanah yang lembab dipindahkan ke lembar plastik yang bersih kemudian ditempatkan di ruangan berventilasi baik. Setiap contoh tanah adalah komposit dari 3 blok (ulangan). Masing-masing ulangan diambil secara komposit dari setiap petak percobaan sebanyak 5 titik pengambilan pada (Gambar 4).



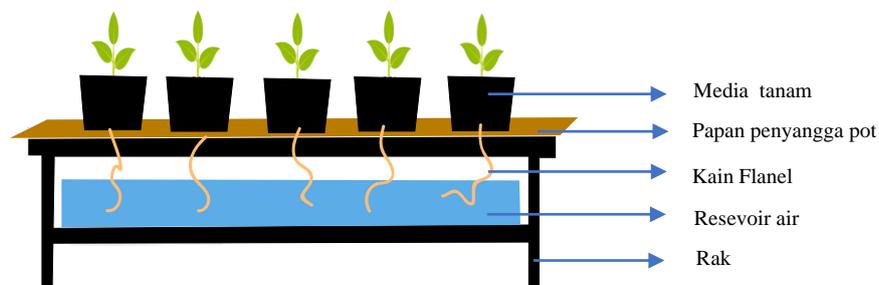
Gambar 4. Pengambilan contoh tanah komposit dari 5 titik pengambilan pada petak percobaan.

3.4.2 Penanaman

Dalam percobaan rumah kaca, setiap satuan percobaan berupa pot plastik berisikan 200g contoh tanah (setara berat kering oven 105°C 24 jam), Contoh tanah dibasahi sampai dengan kadar air kapasitas lapang lalu ditanami dengan 3 bibit kangkung yang telah disiapkan secara terpisah (T_1). Pot tanpa tanaman (T_0) juga disiapkan sebagai kontrol. Penyulaman dilakukan pada tanaman yang mati.

3.4.3 Pemeliharaan

Pemeliharaan tanaman dilakukan dengan pengairan dan penyulaman. Pengairan bertujuan untuk menjaga kadar air terjaga pada kapasitas lapang agar kelembaban tanah terjaga dan penyiangan dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi persaingan dengan tanaman utama. Pengairan dilakukan secara kapiler (Gambar 5).



Gambar 5. Pemeliharaan kadar air kapasitas lapang secara kapiler.

3.4.4 Pemanenan dan Pengambilan Contoh Tanah

Pemanenan tanaman kangkung dan contoh tanah dilakukan saat tanaman berumur 4 pekan. Tajuk tanaman kangkung dipotong pada batas tanah, kemudiandipisahkan bagian tajuknya dan ditentukan bobot basah maupun bobot keringnya. Bobot basah dan kering akar juga ditimbang setelah akar dan tajuk dibersihkan dengan air dari kotoran tanah. Pemanenan akar tanaman dilakukan

dengan cara merendam akar beberapa saat di dalam air, selanjutnya akar tersebut dibersihkan dari tanah yang masih melekat dengan air. Bobot basah diperoleh dengan menimbang langsung brangkasan. Bobot kering diperoleh setelah proses pengovenan pada suhu 60 °C selama 3x24 jam (sampai bobotnya stabil). Pengambilan contoh tanah dilakukan dengan mengambil contoh tanah yang telah ditumbuhi dan tidak ditumbuhi tanaman kangkung.

3.5 Pengamatan

3.5.1 Pengamatan Tanaman

Variabel tanaman yang diamati pada penelitian ini yaitu:

3.5.1.1 Tinggi tanaman.

Tinggi tanaman diukur dengan menggunakan mistar pada minggu keempat setelah tanam. Tinggi tanaman diukur dalam satuan sentimeter (cm).

3.5.1.2 Bobot segar dan bobot kering akar, tajuk, dan akar + tajuk tanaman.

Bobot segar dan bobot kering akar, tajuk, dan akar + tajuk tanaman diukur dengan menggunakan neraca analitik yang kemudian dikonversi ke dalam satuan gram tanaman⁻¹. Sebelum ditimbang akar tanaman dibersihkan dari sisa tanah dan dipotong dari pangkal tanaman. Data berat akar yang diperoleh dari hasil pengukuran kemudian dicatat, begitu juga untuk bobot segar tajuk dan akar + tajuk tanaman. Kemudian sampel tanaman dikeringkan menggunakan oven hingga bobotnya konstan untuk mengetahui bobot keringnya. Kemudian sampel ditimbang dan dicatat bobot kering akar, tajuk, dan akar + tajuk tanaman.

3.5.1.3 Serapan Cu dan Zn

Pengukuran serapan Cu dan Zn dilakukan dengan analisis jaringan tanaman (bagian tajuk dan akar yang sudah digiling). Analisis serapan logam berat Cu dan Zn dilakukan pengabuan kering dengan prosedur kerja sebagai berikut:

- (1) Sebanyak 1 g jaringan tanaman dikeringovenkan dalam sebuah cawan porselen;
- (2) Cawan porselen yang berisi sampel jaringan tanaman diabukan dalam tungku pengabuan pada suhu 300 °C selama 2 jam. Kemudian suhu dinaikan sampai 500 °C selama 4 jam. Setelah itu tungku pengabuan dimatikan dan sampel dibiarkan dingin, lalu sampel diambil dari tungku pengabuan dan didinginkan kembali pada suhu ruang;
- (3) Abu sampel jaringan dibasahi dengan beberapa tetes air destilata;
- (4) Sebanyak 10 mL HCl 1 N ditambahkan ke dalam cawan dan diletakkan di atas lempeng pemanas, kemudian dibiarkan sampai mendidih perlahan;
- (5) Cawan dari lempeng pemanas dipindahkan untuk didinginkan dan abu yang terlarut disaring menggunakan kertas saring ke labu ukur 100 mL. Cawan dibilas dengan 10 mL HCl 1 N dan dituang ke kertas saring dan dibilas dengan air destilata ±50 mL;
- (6) Labu ukur diisi dengan air destilata hingga volume tera lalu tutup;
- (7) Setelah sampel tanaman diabukan dan diencerkan hingga 100 mL dalam labu ukur, Cu dan Zn ditetapkan dengan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) (Thom dan Utomo, 1991). Setelah ditetapkan dengan AAS, maka nilai yang sudah diolah dapat dikalikan dengan berat tajuk dan akar yang sudah didapatkan dari faktor translokasi (FT).

3.5.2 Analisis Tanah

Analisis tanah di laboratorium dilakukan sebelum dan sesudah ditanami kangkung, meliputi penetapan pH tanah, keterekstrakan Cu dan Zn di dalam tanah serta serapan logam berat Cu dan Zn oleh tanaman kangkung (akar dan tajuk). Analisis tanah dilakukan dengan menggunakan pengeksrak 1N HNO₃.

Penetapan dilakukan dengan *Flame AAS*. Selain Cu dan Zn, analisis pH tanah juga dilakukan dengan perbandingan tanah dan air 1:2.

3.5.2.1 Analisis tanah menggunakan pengekstrak 1N HNO₃

Analisis keterekstrakan Cu dan Zn dengan pengekstrak 1 M HNO₃ dengan prosedur kerja sebagai berikut: (1) sebanyak 10 g contoh tanah ditimbang dan dimasukkan ke dalam botol pengocok, (2) sebanyak 20 mL larutan pengekstrak 1 M HNO₃ dimasukkan ke dalam botol pengocok berisi contoh tanah, (3) tabung pengocok yang berisi contoh tanah dan pengekstrak 1 M HNO₃ dikocok selama 2 jam, (4) filtrat dipisahkan dengan cara menyaring menggunakan kertas saring Whatman No. 42, (5) Cu dan Zn dalam filtrat hasil saringan dibaca dengan *Flame AAS* (Sulaeman, 2005).

3.5.3 Analisis Data

Data yang diperoleh kemudian dianalisis dengan menggunakan uji SEM dan analisis hubungan antara dua variabel pengamatan dilakukan dengan menggunakan uji regresi linear. Uji SEM (*Standard Error Of Mean*) dan korelasi dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Microsoft Excel*.

IV. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- (1) Limbah industri meningkatkan konsentrasi logam berat Cu dan Zn di dalam tanah dan menurunkan pH tanah, perlakuan S₂T₀ dan S₂T₁ menghasilkan nilai konsentrasi logam berat Cu dan Zn tertinggi yaitu sebesar 50,4 mg kg⁻¹ dan 52,1 mg kg⁻¹ untuk konsentrasi Cu dan 42,17 mg kg⁻¹ dan 45,07 mg kg⁻¹ untuk konsentrasi Zn;
- (2) Tanaman kangkung mampu meremediasi logam berat Cu dan Zn dengan mekanisme translokasi fitostabilisasi untuk Cu dan fitoekstraksi untuk Zn;
- (3) Tidak terdapat interaksi antara konsentrasi logam berat Cu dan Zn dalam tanah dengan serapan Cu dan Zn pada tanaman kangkung.

5.2 Saran

Penelitian mendatang perlu dilakukan bioremediasi tanah yang tercemar logam berat dengan fitoremediasi dengan menggunakan beberapa jenis tanaman yang tidak termasuk ke dalam tanaman konsumsi dan juga menggunakan metode bioremediasi dengan memanfaatkan mikroorganisme potensial dalam remediasi tanah tercemar logam berat.

DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B. J. 1990. *Heavy Metal in Soil*. John Willey and Sons Inc. New York. 615 hlm.
- Alloway, B.J. 2005. *Heavy Metals in Soils*. Blackie Academic and Professional. New York. 218 hlm.
- Bray, S.R., Brwaley L.R., and Carron A.V. 2015. Independent Role Functions: Evidence from the Sport. *Small Group Research*. 33: 644.
- Chaney RL et al, 1995. *Potential use of metal hyperaccumulators*. *Mining Environ Manag* 3:9-11.
- Cobbett, C.S. 2000. Phytochelatins and Their Roles in Heavy Metal Detoxification. *Plant Physiology*. 123: 825-832.
- Darmawijaya and Isa M. 1990. *Klasifikasi Tanah: Dasar Teori Bagi Peneliti Tanah dan Pelaksana Pertanian di Indonesia*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 411 hlm.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran : Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam*. UI Press. Jakarta. 179 hlm.
- Devi, N.W., Siak I.M., and Putra K.G. 2019. Spesiasi dan Bioavailabilitas Logam Berat Cu dan Zn dalam Tanah Pertanian Organik dan Anorganik. *Jurnal Kimia*. 213.
- Dietz, S., Herz K., Gorzolka K., Jandt U., Bruelheide H., and Scheel D. 2020. Komposisi Eksudat Akar Spesies Rumput dan Forb di Padang Rumput Alami. *Laporan Ilmiah* 10(1).
- Erakumen, A., and Agbontalor A. 2007. Review Phytoremediation: An Environmentally Sound Technology for Pollution Prevention, Control and Remediation in Developing Countries. *Education Research and Review* 2(7): 151–56.
- Erfandi, D., dan Juarsah, I. 2014. *Konservasi Tanah menghadapi Perubahan Iklim*. Badan Litbang Pertanian. Jakarta. 268 hlm.

- Hardiani, H. 2009. *Potensi Tanaman dalam Mengakumulasi Logam Cu pada Media Tanah Terkontaminasi Limbah Padat Industri Kertas*. BS. 44(1): 27–40.
- Hasegawa, I. 2002. Phytoremediation a Novel Strategy for Removing Toxic Heavy Metals for Contaminated Soils Using Plants. *Farming Japan*. 36(6): 10-15.
- Hidayati, N. 2005. Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator. *J. Hayati*. 12(1): 35-40.
- Mallmann, Rheinheimer, Ceretta, Cella C, Minella, Guma, Filipovic V, Oort F and Simunek J. 2014. Ekosistem dan Lingkungan. *J Pertanian* 196: 59–68.
- Maryam, A. 2015. Pengaruh Jenis Pupuk Organik terhadap Pertumbuhan dan Hasil Panen Tanaman Sayuran di dalam Nethouse. *J. Buletin Agrihorti*. 3(2):263-275.
- Moenir, M. 2010. Kajian Fitoremediasi Sebagai Alternatif Pemulihan Tanah Tercemar Logam Berat (dalam Bahasa Indonesia). *J Ris Teknol Pencegahan Pencemaran Industri*. 115-123.
- Ng, C, C., Rahman, M. M., Boyce, A. N., dan Abas, M. R. 2016. Heavy metals phyto-assessment in commonly grown vegetables: water spinach (*I.aquatica*) and okra (*A. esculentus*). *SpringerPlus*: 5(469):1-9.
- Ni'mah, L., Anshari, M. A., dan Saputra, H. A. 2019. Pengaruh variasi massa dan lama kontak fitoremediasi tumbuhan parupuk (*Phragmites karka*) terhadap derajat keasaman (pH) dan penurunan kadar merkuri pada perairan bekas penambangan intan dan emas kabupaten Banjar. *Konversi*. 8(1): 55–62.
- Novizan. 2002. *Petunjuk Pemupukkan yang Efektif*. Agromedia. Jakarta. 130 hlm.
- Novpriansyah, H., Pramono D. C., dan Salam A.K. 2001. Ketersediaan Unsur Hara Makro dan Mikro pada Tanah Ultisol Sungkai Utara yang diperlakukan Pupuk Berbahan Baku Limbah Industri Sendok Logam, Kapur dan Gambut. *Jurnal Tanah Tropikal*. 13(1): 1-58.
- Palar, H. 2012. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta. Jakarta. 152 hlm.
- Pinho, S., and Ladeiro B. 2012. Fitotoksisitas oleh Timbal sebagai Fokus Logam Berat pada Stres Oksidatif. *J Bot*. 147, 935–944
- Prasad, and Freitas. 2003. Metal Hyperaccumulation in Plants–Biodiversity Prospecting for Phytoremediation Technology. *Electronic Journal of Biotechnology*. 6(3).
- Priyanto B., and Prayitno J. 2006. *Fitoremediasi sebagai sebuah Teknologi Pemulihan (in Indonesian)*.BPPT.

- Salam, A.K., and Ginanjar K. 2018. Tropical Soil Labile Fractions of Copper in the Experimental Plots \pm Ten Years after Application of Copper-Containing-Waste. *Journal of Tropical Soils* 23(1): 11–18.
- Salam, A.K., Hidayatullah M. A., Supriatin S., and Yusnaini S. 2021. The Phytoextraction of Cu and Zn by Elephant Grass (*Pennisetum Purpureum*) from Tropical Soil 21 Years after Amendment with Industrial Waste Containing Heavy Metals. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 2021 (1): 344–51.
- Salam, A.K. 2000. A Four Year Study on the Effects Of Manipulated Soil pH and Organic Matter Contents on Availabilities of Industrial-Waste-Origin Heavymetals in Tropical Soils. *J. Tanah Trop.* 11: 31-46.
- Salam, A.K. 2017. *Management of Heavy Metals in Tropical Soil Environment*. Global Madani Press. Bandar Lampung.
- Salam, A.K., Djuniwati, S., Sriyani, N., Novpriansyah, H., Septiana, A., and Putera, H.D. 1997. The DPTA-extractable Heavy Metals in Tropical Soils Treated with Lime Materials. *J. Trop. Agric.* 8(1): 6-12.
- Salam, A.K., Djuniwati S., and Sarno. 1997. Lowering Heavy Metal Solubilities in Tropical Soils by Lime and Cassava-Leaf Compost Additions. *Proc. Environ. Tech. Manag.*
- Salam, A.K., Djuniwati S., dan Sarno. 1998. Perubahan Kelarutan Tembaga dan Kadmium dalam Kolom Tanah dengan Perlakuan Kapur dan Kompos Daun Singkong Akibat Pencucian Dengan Air. *J. Tanah Trop.* 7: 43-50.
- Silva, G., Aini S., Buchari H., and Salam A.K. 2021. The Phytoextraction of Copper from Tropical Soil 21 Years after Amendment with Heavy-Metal Containing Waste. *Journal of Tropical Soils* 26(1): 11-18.
- Subroto, M.A. 1996. *Fitoremediasi. dalam: Prosiding Pelatihan dan Lokakarya Peranan Bioremediasi dalam Pengelolaan Lingkungan*. Cibinong.
- Sudarmaji, Mukono, dan C. I.Prasasti. 2006. Toksikologi Logam Berat B3 dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 2(2): 129-142.
- Suhud, I., Tiwow, V., Hamzah, B. 2012. Adsorpsi Ion Kadmium (II) dari larutannya Menggunakan Biomassa Akar dan Batang Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forks). *Skripsi*. Pendidikan Kimia/FIKP. Universitas Tadulako. Palu.
- Sulaeman, Suparto, dan Eviati. 2005. *Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air Pupuk*. Balai Penelitian Tanah. Bogor.
- Sutanto, R. 2005. *Dasar–Dasar Ilmu Tanah Konsep dan Kean*. Kanisius. Yogyakarta. 208 hlm.

- Thom, W.O. dan Utomo, M. 1991. *Manajemen Laboratorium dan Metode Analisis Tanah dan Tanaman*. Universitas Lampung. 86 hlm.
- Tindaon, F., Sumihar, S.T.T., dan Naibaho, B. 2013. Fitoremediasi Logam Berat Menggunakan Berbagai Jenis Tanaman Sayuran pada Tanah Mengandung Lumpur Kering Limbah Domestik Kota Medan. *Prosiding Seminar Nasional dan Rapat Tahunan Dekan Bidang Ilmu Ilmu Pertanian BKS-PTN Wilayah Barat*. 2:757-765.
- Tisdale, S.L., Nelson W.L., and Beaton J.D. 1985. *Soil Fertility and Fertilizers Ed4*. Macmilan Publ. Co. New York. 430 hlm.
- Yan, A., and Yamin W.. 2020. *Phytoremediation: A Promising Approach for Revegetation of Heavy Metal-Polluted Land*. *Frontiers in Plant Science* 1–15.

