

**PERUBAHAN KETEREKSTRAKAN Cu, Zn, dan Ni PADA TANAH 25
TAHUN PASCAPERLAKUAN LIMBAH INDUSTRI AKIBAT TANAMAN
PADI GOGO**

(Skripsi)

Oleh

**Gadis Dwi Harnum
2014181040**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

**PERUBAHAN KETEREKSTRAKAN Cu, Zn, dan Ni PADA TANAH 25
TAHUN PASCAPERLAKUAN LIMBAH INDUSTRI AKIBAT TANAMAN
PADI GOGO**

Oleh

Gadis Dwi Harnum

Skripsi

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

Pada

**Program Studi Ilmu Tanah
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PERUBAHAN KETEREKSTRAKAN Cu, Zn dan Ni PADA TANAH 25 TAHUN PASCAPERLAKUAN LIMBAH INDUSTRI AKIBAT TANAMAN PADI GOGO.

Oleh

Gadis Dwi Harnum

Tanah merupakan komponen utama yang sangat penting dalam kehidupan dan karenanya harus dijaga agar tidak rusak. Salah satu kerusakan tanah adalah karena adanya logam berat berlebih yang terkandung dalam tanah. Logam berat merupakan unsur yang memiliki densitas yang lebih besar atau tinggi dari unsur yang lainnya. Logam berat dalam tanah dapat menurunkan produktivitas suatu tanah dan dapat merusak lingkungan di sekitarnya jika dibiarkan saja tanpa adanya penanganan. Salah satu cara untuk menurunkan konsentrasi logam berat tanah adalah dengan menggunakan metode fitoremediasi. Penelitian ini ditujukan untuk mempelajari perubahan keterekstrakan logam berat Cu, Zn dan Ni dalam tanah tercemar logam berat akibat penanaman tanah dengan padi gogo yang diduga merupakan fitoremediator. Penelitian ini dilaksanakan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 2 faktor dan diulang sebanyak 3 kali. Faktor pertama adalah tanah dengan riwayat ditambahkan limbah industri berlogam berat (0, 15 dan 60 Mg ha⁻¹) dan faktor kedua adalah ditanami padi gogo dan tidak ditanami padi gogo. Contoh tanah dibasahi dengan air sampai kapasitas lapang dengan menggunakan pengairan metode air kapiler selama 4 pekan. Contoh tanah diekstrak menggunakan pengeksrak 1N HNO₃ dan tanaman menggunakan metode pengabuan dengan pengeksrak 1N HCl. Data dianalisis menggunakan metode kuantitatif metode *Standard Error of Mean* dan diuji lanjut menggunakan metode regresi linear untuk melihat hubungan atau interaksi antara logam berat tersedia dalam tanah dengan tanaman padi gogo dan juga pH tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman padi gogo menurunkan konsentrasi Cu, Zn dan Ni secara nyata dengan akumulasi didalam akar > tajuk. Padi gogo menurunkan pH tanah secara signifikan pada tanah berlogam berat sedang dan tinggi. Padi gogo adalah fitostabilisator.

Kata kunci : Fitoremediasi, Logam Berat, Metode Air Kapiler, Padi Gogo, pH, Regresi, *Standard Error of Mean*, Padi Gogo.

ABSTRACT

CHANGES IN EXTRACTABLE Cu, Zn and Ni IN SOIL 25 YEARS AFTER INDUSTRIAL WASTE TREATMENT CAUSED BY UPLAND RICE PLANT

By

Gadis Dwi Harnum

Soil is a very important component in life therefore its destruction must be avoided. One of the causes of soil damage is due to the presence of excess heavy metals. Heavy metals are elements that have a higher density than other elements. Heavy metals in soil can reduce the productivity of land and can damage the surrounding environment if left untreated. One way to reduce heavy metal concentrations in soil uses phytoremediation method. This research aimed at studying changes in the extractability of the heavy metals Cu, Zn and Ni in soils contaminated with heavy metals due to planting the land with upland rice. This research used a Completely Randomized Design (CRD) with 2 factors and was repeated 3 times. The first factor is soil that has been previously in 1998 added with heavy metal industrial waste (0, 15 and 60 Mg ha⁻¹) and the second factor was planting with upland rice and not planted with upland rice. The soil was moistened with water to field capacity using capillary water irrigation method for 4 weeks. Soil samples were extracted using 1N HNO₃ and plants using the ashing method with a 1 N HCl. The data was analyzed using a quantitative method, Standard Error of Mean method and further tested using the linear regression method to evaluate the relationship or interaction between heavy metals available in the soil and upland rice plants and also with soil pH. The results showed that upland rice plants significantly reduced Cu, Zn and Ni concentrations in soils that was accumulating in the roots > shoots. Upland rice reduced soil pH significantly in soils with medium and high heavy metals. Upland rice is a phytostabilisator.

Key words : Capillary Water Method, Heavy Metals, pH, Phytoremediation, Regression, Rice Plants, *Standard Error of Mean*.

Judul Skripsi : PERUBAHAN KETEREKSTRAKAN Cu, Zn dan Ni PADA TANAH 25 TAHUN PASCAPERLAKUAN LIMBAH INDUSTRI AKIBAT TANAMAN PADI GOGO.

Nama Mahasiswa : **Gadis Dwi Harnum**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2014181040

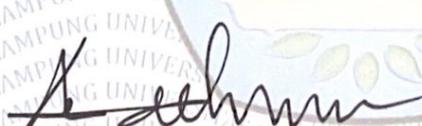
Program Studi : Ilmu Tanah

Fakultas : Pertanian



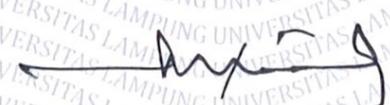
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Prof. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc., Ph.D.
NIP 1960110919850301001

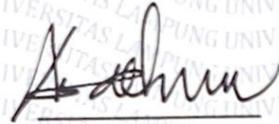

Dr. Supriatin, S.P., M.Sc.
NIP 197912192005012001

2. Ketua Jurusan Ilmu Tanah


Ir. Hery Novpriansyah, M.Si.
NIP 196611151990101001

1. Tim Penguji

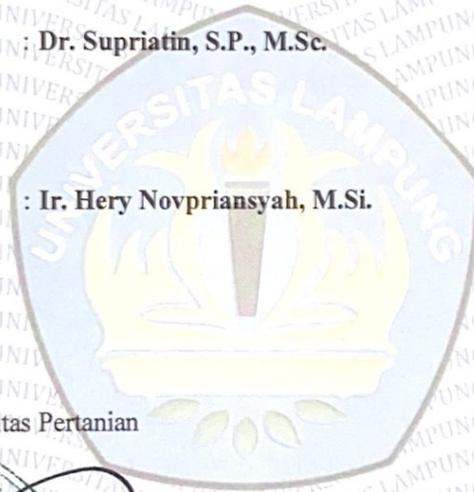
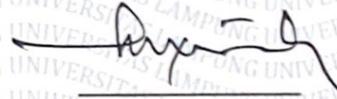
Ketua : Prof. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc., P.hD



Sekretaris : Dr. Supriatin, S.P., M.Sc.



Anggota : Ir. Hery Novpriansyah, M.Si.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. H. Kuswanta Futas Hidayat, M.P
NIP.196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 06 Agustus 2024

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“PERUBAHAN KETEREKSTRAKAN Cu, Zn dan Ni PADA TANAH 25 TAHUN PASCAPERLAKUAN LIMBAH INDUSTRI AKIBAT TANAMAN PADI GOGO”** merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan hasil karya orang lain.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian dosen Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung dengan sumber dana bersifat pribadi kepemilikannya, yaitu oleh Bapak Prof. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc., P.hD.

Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini saya kutip dari hasil karya orang lain dan telah saya tuliskan sumbernya secara jelas sesuai kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 06 Agustus 2024

Penulis,



Gadis Dwi Harnum

NPM 2014181040

RIWAYAT HIDUP



Gadis Dwi Harnum. Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 24 Desember 2001. Penulis merupakan anak keempat dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Harun dan Ibu Nurmas Amniar. Penulis memulai pendidikan formalnya di TK Sandi Putra Telkom pada tahun 2007-2008, kemudian melanjutkan pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 1 Rawa Laut Bandar Lampung pada tahun 2008-2014. Penulis melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Pertama Perintis 2 Bandar Lampung pada tahun 2014-2017 dan kemudian melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Atas Negeri 12 Bandar Lampung pada tahun 2017-2020. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada tahun 2020 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Pada tahun 2023 bulan Januari hingga Februari, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata di Desa Karta, Kec. Kotaagung Timur, Kab. Tanggamus. Penulis melaksanakan Praktik Umum di Laboratorium Lingkungan, Dinas Lingkungan Hidup Kota Bandar Lampung pada bulan Juni hingga Agustus tahun 2023.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi internal kampus, yaitu Gabungan Mahasiswa Ilmu Tanah Universitas Lampung (Gamatala) sebagai Anggota Bidang Kewirausahaan periode 2021/2022, kemudian menjadi Bendahara Umum periode tahun 2023. Penulis memiliki pengalaman menjadi asisten praktikum beberapa mata kuliah, yaitu Kimia Dasar, Analisis Tanah dan Tanaman, Interaksi Hara Tanah Tanaman dan Dasar-Dasar Ilmu Tanah.

MOTTO

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya."
(Q.S Al-Baqarah: 286)

"Apa pun yang terjadi, terima dengan jiwa besar. Jika kita memang ingin
mengubah keadaan itu, ubahlah dengan cara yang positif."
(Merry Riana)

"Apa pun yang akan menjadi takdirmu akan mencari jalannya menemukanmu."
(Ali bin Abi Thalib)

"Dalam hidup, ada plus minusnya. Jangan lupa untuk tetap mengapresiasi diri
pada saat hasil belum sesuai ekspektasi."
(Gadis Dwi Harnum)

SANWACANA

Alhamdulillahirabbilalamin. Puji syukur kepada Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa atas berkah dan karunia-Nya. Shalawat dan salam penulis sampaikan kepada Rasulullah SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Perubahan Keterserakan Cu, Zn, dan Ni pada Tanah 25 Tahun Pascaperlakuan Limbah Industri akibat Tanaman Padi Gogo”** dengan tepat waktu. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mengarahkan pelaksanaan sampai penyelesaian penulisan.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pertanian pada Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dan mungkin tidak akan selesai tanpa bantuan dan arahan dari pada dosen pembimbing, keluarga, teman-teman dan pihak lain. Oleh karena itu, perkenankanlah penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Bapak Ir. Hery Novpriansyah, M.Si. selaku Ketua Jurusan Ilmu Tanah sekaligus dosen pembahas atas segala masukan yang membangun, bimbingan serta motivasinya kepada penulis.
3. Bapak Prof. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing pertama sekaligus dosen pembimbing akademik yang telah membimbing, menyediakan dana analisis logam berat, menasehati, mengarahkan serta memotivasi penulis dalam menyelesaikan skripsi.

4. Ibu Dr. Supriatin, S.P., M.Sc. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan arahan, membimbing serta memotivasi penulis.
5. Bapak dan Ibu dosen Universitas Lampung, terkhusus Jurusan Ilmu Tanah yang telah memberi begitu banyak ilmu yang bermanfaat kepada penulis.
6. Cinta pertamaku dan kekasih hatinya, ayahanda Harun dan ibunda Nurmas Amniar yang telah memberikan dukungan secara materi dan non-materi, semangat serta motivasi yang tiada hentinya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan penuh sukacita.
7. Abang serta kakak tercinta, Aan Virgian Syahriar, Berry Yozza Anggara, dan Putri Yolanda yang telah meluangkan waktunya untuk mendengarkan penulis serta menjadi tempat ternyaman untuk berkeluh-kesah.
8. Sahabat-sahabat terkasihku Deaz Maharani, Mei Sari, Zenny Ikalina, Desi Fitri, Delia Salsabila, Anisa Kurnia, Ade Nur Windy, Laylika Nurhanila, Celi Widya, Putri Nur, Nur Aysah Oktavia, Lusi Susanti, Meylinda, Alfira Damayanti, dan Almh. Devia Andani yang selalu meluangkan waktunya, menyiapkan telinganya untuk menemani, mendengarkan segala keluh-kesah dan memberikan perhatian kepada penulis.
9. Sahabat-sahabat tersayangku Nadela Saputri, Isni Rahmi, Holilia Hasnah, Dinda Isti Qomaria, Noptry Sisca, dan Bone Ayu yang telah memberikan kebahagiaan, semangat, arahan, motivasi dan warna selama masa perkuliahan.
10. Sahabat seperjuanganku Holilia Hasnah, Hezkya Septiana, Nadiatus Soliha, Keisha Cherylla, dan Shinta Afrilia yang telah kebersamai penulis dalam mengerjakan skripsi serta memberikan motivasi dan semangat kepada penulis.
11. Teman-teman Ilmu Tanah Angkatan 2020 yang selalu memberikan dukungan, semangat dan rasa kekeluargaan selama ini.
12. Keluarga Besar Gabungan Mahasiswa Ilmu Tanah (Gamatala) terkhusus periode 2023 yang telah memberikan semangat, ruang bagi penulis untuk mengembangkan diri, mempelajari kepemimpinan, pengalaman, serta nilai-nilai seperti loyalitas, kerja keras dan kerja ikhlas.

13. Seseorang yang selalu kebersamai, memberikan motivasi, arahan, semangat serta meluangkan waktu, tenaga dan telinganya untuk mendengarkan keluh-kesah penulis.
14. Gadis Dwi Harnum, *last but not least*. Apresiasi sebesar-besarnya karena telah bertanggung jawab untuk menyelesaikan apa yang telah dimulai, senantiasa bersemangat dan tetap menikmati proses yang bisa dibilang tidaklah mudah walau berkali-kali jatuh dan bingung harus memulainya, terimakasih sudah bertahan dan selamat telah melewati ujian kehidupan tahap pertama.
15. Semua pihak yang telah berjasa dan terlibat dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga Allah SWT senantiasa membalas segala kebaikan yang telah Bapak, Ibu dan rekan-rekan semua luangkan dalam proses penulisan skripsi ini dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca. Aamiin.

Bandar Lampung, 6 agustus 2024

Penulis

Gadis Dwi Harnum

NPM 2014181040

DAFTAR ISI

| | |
|---|------------|
| DAFTAR TABEL..... | iii |
| DAFTAR GAMBAR..... | vii |
| I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 4 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.4 Kerangka Penelitian | 5 |
| 1.5 Hipotesis | 7 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | 8 |
| 2.1 Pencemaran Tanah oleh Logam Berat dan Perubahannya dengan Waktu..... | 8 |
| 2.2 Usaha Penurunan Logam Berat dalam Tanah | 10 |
| 2.3 Perubahan Kimia Tanah akibat Fitoremediasi | 12 |
| III. METODOLOGI PENELITIAN | 14 |
| 3.1 Waktu dan Tempat | 14 |
| 3.2 Alat dan Bahan | 14 |
| 3.3 Metodologi Penelitian | 15 |
| 3.4 Pelaksanaan Penelitian | 16 |
| 3.4.1 Pengambilan Contoh Tanah untuk Media Tanam | 16 |
| 3.4.2 Pengujian Awal Media Tanam | 17 |
| 3.4.3 Persiapan Media Tanam dan Penanaman | 17 |
| 3.4.4 Pemeliharaan Tanaman | 18 |
| 3.4.5 Pemanenan Tanaman dan Contoh Tanah | 18 |
| 3.4.6 Analisis Tanah dan Tanaman | 18 |
| 3.4.7 Analisis Data | 20 |
| IV. HASIL DAN PEMBAHASAN | 21 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1 Pengaruh Tanaman Padi Gogo terhadap Konsentrasi Logam Berat dan pH Tanah..... | 21 |
| 4.2 Serapan Logam Berat oleh Tanaman Padi Gogo pada Tanah Terkontaminasi Logam Berat..... | 24 |
| V. KESIMPULAN DAN SARAN | 32 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 32 |
| 5.2 Saran..... | 32 |
| VI. DAFTAR PUSTAKA..... | 33 |
| LAMPIRAN..... | 40 |

DAFTAR TABEL

Tabel

| | |
|--|----|
| 1. Pengaruh tanaman padi gogo terhadap konsentrasi logam berat dan pH tanah | 21 |
| 2. Perubahan konsentrasi logam berat dan pH tanah akibat tanaman padi gogo | 22 |
| 3. Korelasi perubahan Cu, Zn dan Ni dengan pH tanah tercemar logam berat akibat tanaman padi gogo | 23 |
| 4. Serapan logam berat oleh tanaman padi gogo pada tanah terkontaminasi logam berat | 25 |
| 5. Pertumbuhan tanaman padi gogo pada tanah terkontaminasi logam berat | 26 |
| 6. Korelasi antara serapan tanaman padi gogo dan konsentrasi logam berat dalam tanah | 30 |
| 7. Pengaruh tanaman padi gogo terhadap berat basah dan berat kering tanaman padi gogo di tanah terpolusi logam berat | 41 |
| 8. Nilai pH tanah pascaperlakuan tanaman padi gogo di tanah terpolusi logam berat | 41 |
| 9. Pengaruh tanaman padi gogo terhadap konsentrasi Cu, Zn dan Ni tersedia dalam tanah tekanan logam berat | 42 |
| 10. Serapan Cu, Zn dan Ni pada tanaman padi gogo | 42 |
| 11. Uji <i>standard error of mean</i> Cu tersedia dalam tanah | 43 |
| 12. Uji <i>standard error of mean</i> Zn tersedia dalam tanah | 44 |
| 13. Uji <i>standard error of mean</i> Ni tersedia dalam tanah | 45 |
| 14. Uji <i>standard error of mean</i> berat basah akar tanaman padi gogo | 45 |
| 15. Uji <i>standard error of mean</i> berat kering akar tanaman padi gogo | 46 |
| 16. Uji <i>standard error of mean</i> Cu terserap akar tanaman padi gogo | 46 |
| 17. Uji <i>standard error of mean</i> Zn terserap akar tanaman padi gogo | 47 |
| 18. Uji <i>standard error of mean</i> Ni terserap akar tanaman padi gogo | 47 |
| 19. Uji <i>standard error of mean</i> berat kering tajuk tanaman padi gogo | 48 |
| 20. Uji <i>standard error of mean</i> berat basah tajuk tanaman padi gogo | 48 |
| 21. Uji <i>standard error of mean</i> Cu terserap tajuk tanaman padi gogo | 49 |
| 22. Uji <i>standard error of mean</i> Zn terserap tajuk tanaman padi gogo | 49 |
| 23. Uji <i>standard error of mean</i> Ni terserap tajuk tanaman padi gogo | 50 |
| 24. Uji <i>standard error of mean</i> berat basah akar+tajuk tanaman padi gogo | 50 |
| 25. Uji <i>standard error of mean</i> berat kering akar+tajuk tanaman padi | 51 |

| | |
|---|----|
| 26. Uji <i>standard error of mean</i> Cu terserap akar+tajuk tanaman padi gogo..... | 51 |
| 27. Uji <i>standard error of mean</i> Zn terserap akar+tajuk tanaman padi gogo..... | 52 |
| 28. Uji <i>standard error of mean</i> Ni terserap akar+tajuk tanaman padi gogo..... | 52 |
| 29. Uji korelasi regresi linear Cu tanah dan pH tanah | 52 |
| 30. Uji korelasi regresi linear Zn tanah dan pH tanah..... | 53 |
| 31. Uji korelasi regresi linear Ni tanah dan pH tanah | 53 |
| 32. Uji korelasi regresi linear Cu akar dan berat kering akar..... | 53 |
| 33. Uji korelasi regresi linear Zn akar dan berat kering akar | 53 |
| 34. Uji korelasi regresi linear Ni akar dan berat kering akar | 53 |
| 35. Uji korelasi regresi linear Cu tajuk dan berat kering tajuk | 54 |
| 36. Uji korelasi regresi linear Zn tajuk dan berat kering tajuk | 54 |
| 37. Uji korelasi regresi linear Ni tajuk dan berat kering tajuk | 54 |
| 38. Uji korelasi regresi linear Cu total dan berat kering total | 54 |
| 39. Uji korelasi regresi linear Zn total dan berat kering total | 54 |
| 40. Uji korelasi regresi linear Ni total dan berat kering total..... | 55 |
| 41. Uji korelasi regresi linear Cu tanah dan Cu akar | 55 |
| 42. Uji korelasi regresi linear Zn tanah dan Zn akar..... | 55 |
| 43. Uji korelasi regresi linear Ni tanah dan Ni akar | 55 |
| 44. Uji korelasi regresi linear Cu tanah dan Cu tajuk | 55 |
| 45. Uji korelasi regresi linear Zn tanah dan Zn tajuk..... | 56 |
| 46. Uji korelasi regresi linear Ni tanah dan Ni tajuk | 56 |
| 47. Uji korelasi regresi linear Cu tanah dan Cu total | 56 |
| 48. Uji korelasi regresi linear Zn tanah dan Zn total..... | 56 |
| 49. Uji korelasi regresi linear Ni tanah dan Ni total | 56 |
| 50. Uji korelasi regresi anova Cu tanah dan pH tanah..... | 57 |
| 51. Uji korelasi regresi anova Zn tanah dan pH tanah | 57 |
| 52. Uji korelasi regresi anova Ni tanah dan pH tanah..... | 57 |
| 53. Uji korelasi regresi anova Cu akar dan berat kering akar | 57 |
| 54. Uji korelasi regresi anova Zn akar dan berat kering akar | 57 |

| | |
|--|----|
| 55. Uji korelasi regresi anova Ni akar dan berat kering akar | 57 |
| 56. Uji korelasi regresi anova Cu tajuk dan berat kering tajuk | 57 |
| 57. Uji korelasi regresi anova Zn tajuk dan berat kering tajuk | 58 |
| 58. Uji korelasi regresi anova Ni tajuk dan berat kering tajuk | 58 |
| 59. Uji korelasi regresi anova Cu total dan berat kering total | 58 |
| 60. Uji korelasi regresi anova Zn total dan berat kering total | 58 |
| 61. Uji korelasi regresi anova Ni total dan berat kering total | 58 |
| 62. Uji korelasi regresi anova Cu tanah dan Cu akar | 58 |
| 63. Uji korelasi regresi anova Zn tanah dan Zn akar | 58 |
| 64. Uji korelasi regresi anova Ni tanah dan Ni akar | 59 |
| 65. Uji korelasi regresi anova Cu tanah dan Cu tajuk | 59 |
| 66. Uji korelasi regresi anova Zn tanah dan Zn tajuk | 59 |
| 67. Uji korelasi regresi anova Ni tanah dan Ni tajuk | 59 |
| 68. Uji korelasi regresi anova Cu tanah dan Cu total | 59 |
| 69. Uji korelasi regresi anova Zn tanah dan Zn total | 59 |
| 70. Uji korelasi regresi anova Ni tanah dan Ni total | 59 |
| 71. Uji korelasi koefisien Cu tanah dan pH tanah | 60 |
| 72. Uji korelasi koefisien Zn tanah dan pH tanah | 60 |
| 73. Uji korelasi koefisien Ni tanah dan pH tanah | 60 |
| 74. Uji korelasi koefisien Cu akar dan berat kering akar | 60 |
| 75. Uji korelasi koefisien Zn akar dan berat kering akar | 61 |
| 76. Uji korelasi koefisien Ni akar dan berat kering akar | 61 |
| 77. Uji korelasi koefisien Cu tajuk dan berat kering tajuk | 61 |
| 78. Uji korelasi koefisien Zn tajuk dan berat kering tajuk | 61 |
| 79. Uji korelasi koefisien Ni tajuk dan berat kering tajuk | 62 |
| 80. Uji korelasi koefisien Cu total dan berat kering total | 62 |
| 81. Uji korelasi koefisien Zn total dan berat kering total | 62 |
| 82. Uji korelasi koefisien Ni total dan berat kering total | 62 |
| 83. Uji korelasi koefisien Cu tanah dan Cu akar | 63 |
| 84. Uji korelasi koefisien Zn tanah dan Zn akar | 63 |
| 85. Uji korelasi koefisien Ni tanah dan Ni akar | 63 |
| 86. Uji korelasi koefisien Cu tanah dan Cu tajuk | 63 |

| | |
|--|----|
| 87. Uji korelasi koefisien Zn tanah dan Zn tajuk | 64 |
| 88. Uji korelasi koefisien Ni tanah dan Ni tajuk | 64 |
| 89. Uji korelasi koefisien Cu tanah dan Cu total | 64 |
| 90. Uji korelasi koefisien Zn tanah dan Zn total | 64 |
| 91. Uji korelasi koefisien Ni tanah dan Ni total | 65 |

DAFTAR GAMBAR

Gambar

| | |
|---|----|
| 1. Kerangka pemikiran perubahan keterekstrakan Cu, Zn dan Nipada tanah 25 tahun pascaperlakuan limbah industri akibat tanaman padi gogo | 7 |
| 2. Kombinasi perlakuan dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) | 15 |
| 3. Tata letak unit percobaan aplikasi limbah industri pada bulan Juli 1998 | 16 |
| 4. Pengairan pot percobaan dengan menggunakan metode kapiler | 17 |
| 5. Hubungan antara serapan total Cu, Zn dan Ni oleh tanaman (Tabel 4) dan perubahan Cu, Zn dan Ni tanah (Tabel 2) | 25 |
| 6. Hubungan bobot kering akar, bobot kering tajuk, bobot kering total terhadap Cu, Zn dan Ni tersedia di dalam tanah tercemar logam berat | 28 |
| 7. Persiapan pengambilan sampel tanah | 66 |
| 8. Pengambilan sampel tanah | 66 |
| 9. Persiapan media tanam dan penanaman benih padi gogo | 66 |
| 10. Pemeliharaan sampel tanah dan tanaman padi gogo | 66 |
| 11. Pemanenan contoh tanah dan tanaman padi gogo pada Blok 1 | 67 |
| 12. Pemanenan contoh tanah dan tanaman padi gogo pada Blok 2 | 67 |
| 13. Pemanenan contoh tanah dan tanaman padi gogo pada Blok 3 | 67 |
| 14. Pengocokan sampel tanah pada analisis pH | 67 |
| 15. Penyaringan sampel tanah menggunakan 1N HNO ₃ | 68 |

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah merupakan komponen utama yang sangat penting dalam kehidupan. Tanah terbentuk karena adanya proses-proses yang mempengaruhi seperti bahan induk, topografi, organisme, relief, iklim, dan waktu, yang membentuk suatu tanah (Sugiharyanto dan Khotimah, 2009). Proses pembentukan tanah ini mempengaruhi sifat-sifat tanah baik sifat fisika, sifat biologi maupun sifat kimia tanah. Terdapat reaksi-reaksi alamiah yang terjadi dalam pembentukan tanah yang menjadi media atau tempat bertumbuhnya tanaman. Tanaman memerlukan unsur hara untuk tumbuh dan berkembang dalam jumlah yang cukup atau tersedia, di antaranya yaitu unsur hara makro seperti C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, dan S. Selain itu, diperlukan pula unsur hara mikro yaitu B, Cu, Zn, Fe, Mo, dan Mn. Kesuburan tanah harus dipelihara dengan baik, akan tetapi tanah sangat rawan terhadap berbagai proses perusakan.

Salah satu kerusakan tanah adalah karena adanya logam berat berlebih yang terkandung dalam tanah. Logam berat merupakan unsur yang memiliki densitas yang lebih besar atau tinggi dari unsur yang lainnya. Logam berat dalam tanah dapat menurunkan produktivitas suatu tanah dan dapat merusak lingkungan di sekitarnya jika dibiarkan saja tanpa adanya penanganan. Menurut Notohadiprwiro (1999) logam berat setidaknya memunculkan empat persoalan penting dalam pertanian yaitu mempengaruhi kesuburan tanah, mempengaruhi hasil panen tanaman baik dalam mutu maupun jumlahnya dan dapat mempengaruhi kesehatan

ternak dan manusia yang mengonsumsi tanaman yang tercemar logam berat tersebut.

Kandungan logam berat di dalam tanah terdistribusi dalam beberapa bentuk yaitu ion bebas, ion kompleks, bentuk yang dapat ditukar, endapan, dan mineral. (Salam, 2017). Berdasarkan beberapa bentuk tersebut, ion bebas sampai batas tertentu dan ion bebas dan bentuk yang dapat dipertukarkan adalah yang paling mobil dan berpotensi untuk mempengaruhi makhluk hidup karena dapat terserap oleh tanaman dan juga memiliki toksisitas logam berat yang tinggi (Salam 2001; Daoust *dkk* 2006; Salam 2017).

Salah satu logam yang dapat menjadi masalah tanah adalah Cu. Tembaga (Cu) sebenarnya merupakan unsur hara mikro yang dibutuhkan oleh tanaman, tetapi jika kandungannya berlebihan akan menimbulkan bahaya toksisitas. Tembaga merupakan unsur hara yang berguna dan memegang peran penting dalam pertumbuhan tanaman yaitu sebagai aktivator enzim dan berguna untuk pertumbuhan jaringan tumbuhan terutama pada jaringan daun, yang merupakan tempat terjadinya fotosintesis (Hamzah dan Agus, 2010). Meskipun demikian, kelebihan Cu dapat mengakibatkan atau mengganggu pertumbuhan serta proses fotosintesis dan respirasi pada tumbuhan (Kristianti *dkk.*, 2007).

Seng (Zn) juga merupakan unsur logam berat yang termasuk ke dalam golongan unsur hara mikro yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang sedikit. Seng (Zn) berperan sebagai kofaktor atau membantu mempercepat berbagai kerja enzim yang berkaitan dengan proses sistem kekebalan, indera mata, rasa dan penciuman. Penyebaran logam Zn tidak hanya melalui kegiatan industri tetapi dapat melalui kendaraan bermotor juga turut menyumbangkan emisi tersebut lewat udara. Sifat seng (Zn) yang mudah berikatan dengan oksida dapat menjadi sumber bergerak yang potensial terhadap penyebaran logam berat (Sipos, 2012). Distribusi atau pergerakan seng yang berada di tanah dipengaruhi oleh spesifikasi Zn dan karakteristik lingkungan yang tercemar dan solubilitas seng yang umumnya

ditentukan oleh pH. Pada pH tanah masam, Zn berbentuk ion sedangkan pada pH basa seng dapat mengendap.

Nikel (Ni) merupakan logam transisi (Golongan ke-IV) dan banyak digunakan dalam industri sebagai *alloy* bersama logam lain seperti baja. Selain itu, nikel (Ni) juga digunakan dalam analisis di laboratorium kimia. Nikel (Ni) dapat masuk ke dalam tanah melalui penggunaan pupuk fosfat, pestisida, dan juga bahan limbah lain yang bersumber dari industri. Jerapan Ni pada tanah dapat meningkat seiring dengan bertambahnya kandungan nilai C-organik dan juga dipengaruhi oleh kadar liat aktif yang tinggi (Mellis dkk., 2004).

Kelebihan berbagai logam berat ini dapat menimbulkan permasalahan dalam tanah dan makhluk hidup. Oleh karena itu, tingginya unsur-unsur ini harus diatasi. Salah satu cara untuk menurunkan konsentrasi logam berat dalam tanah adalah dengan penggunaan tanaman penyerap logam berat. Namun demikian, apapun tanamannya pada tanah yang tercemar logam berat, penanaman akan mengganggu kesetimbangan logam berat di dalam tanah. Penanaman suatu jenis tanaman akan menimbulkan perubahan keterekstrakan logam berat karena berbagai reaksi kimia dan biokimia.

Sebuah penelitian yang dilakukan sejak tahun pertama perlakuan yaitu 1998 sampai 20 tahun setelahnya 2018, perubahan logam berat yang terkandung di dalam tanah mengalami penurunan yaitu Cu 17-53% dan Zn 12-33% dengan perlakuan kapur dan/atau kompos. Pada tahun 2022 oleh Salam dkk, tanah yang terkandung logam berat yang ditanami bayam duri mengalami penurunan Cu tersedia berkisar antara 14,30-25,08 mg kg⁻¹ dan serupa juga ditunjukkan oleh penurunan Zn tersedia berkisar antara 3,79-4,50 mg kg⁻¹, sehingga tanah yang terkandung logam berat tersebut mengalami penurunan karena *treatment* atau perlakuan yang dilakukan.

Penelitian ini ditujukan untuk mempelajari perubahan keterekstrakan logam berat Cu, Zn dan Ni dalam tanah tercemar logam berat akibat penanaman tanah dengan

padi gogo. Tanaman padi gogo merupakan tanaman semusim yang dapat tumbuh dalam keadaan ekstrem dan tergolong dalam tanaman yang dapat menyerap logam berat. Tanaman padi gogo memiliki akar serabut yang dapat menyerap logam berat dalam tanah dengan jumlah yang besar dan termasuk ke dalam salah satu tanaman akumulator atau tanaman yang dapat menyerap logam berat (Juhaeti dkk 2009).

Selain itu, tanaman padi gogo juga dapat mengeluarkan senyawa organik kompleks yang memudahkan penyerapan logam berat. Penelitian Adhikari (2018) menunjukkan bahwa akar tanaman padi gogo dapat menghasilkan asam sitrat, yang membantu dalam penyerapan logam berat dalam tanah. Ini menunjukkan bahwa tanaman padi gogo memiliki adaptasi alami yang memungkinkannya untuk efektif dalam fitoremediasi logam berat di dalam tanah.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab masalah yang dirumuskan dalam pertanyaan berikut:

1. Apakah terjadi perubahan keterekstrakan Cu, Zn, dan Ni dalam tanah tercemar logam berat pascaperlakuan limbah industri 25 tahun yang lalu akibat penanaman padi gogo?
2. Apakah serapan Cu, Zn dan Ni mempengaruhi pertumbuhan pada tanaman padi gogo?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mempelajari perubahan keterekstrakan Cu, Zn dan Ni pada tanah 25 tahun pascaperlakuan limbah industri akibat penanaman padi gogo.
2. Mempelajari pengaruh serapan Cu, Zn dan Ni pada pertumbuhan tanaman padi gogo.

1.4 Kerangka Pemikiran

Pencemaran tanah oleh logam berat dapat terjadi karena adanya aktivitas manusia yang menghasilkan limbah yang dapat membahayakan lingkungan. Beberapa industri yang menghasilkan logam berat dalam prosesnya biasanya menggunakan bahan baku yang dipakai sama dengan yang dihasilkan (Erfandi dan Juarsah, 2014). Logam berat yang dapat terkandung di dalamnya di antaranya adalah Cu, Zn, dan Ni.

Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) merupakan unsur hara mikro yang dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah sedikit. Namun jika konsentrasi atau tingkat ketersediaannya melebihi kemampuan tanah dalam menyerapnya maka dapat membuat tanah tersebut tercemar dan menjadi beracun bagi tanaman dan makhluk hidup lainnya. Menurut Palar (2012) jika limbah logam berat yang dibuang ke tanah melebihi kemampuan tanah dalam mencerna limbah, maka limbah akan mengakibatkan pencemaran tanah dan akan menghambat penyerapan unsur hara lain dan berakibat tanaman tidak dapat tumbuh dengan sempurna dan lama kelamaan tanaman akan mati. Ini adalah masalah, yang perlu di atasi dengan bijak, dengan berbagai teknik yang telah dikembangkan berdasarkan penelitian intensif. Demikian juga, yang dapat terjadi pada Nikel (Ni), yang dapat mengakibatkan toksisitas terhadap makhluk hidup.

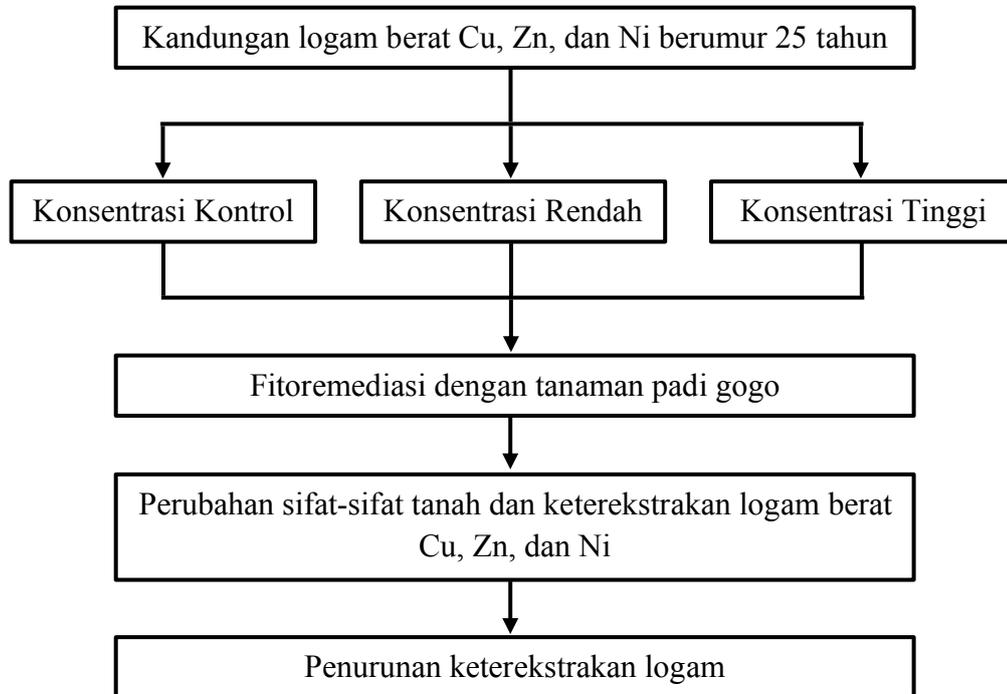
Penggunaan tanaman sebagai agen untuk mengurangi konsentrasi logam berat (fitoremediasi) menjadi perhatian saat ini. Metode fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan polutan dari suatu tanah atau perairan yang terkontaminasi logam berat. Teknik atau metode ini menggunakan tumbuhan sebagai agen yang dapat menyerap logam berat tetapi tidak semua tumbuhan dapat menyerap atau mengakumulasi unsur logam tertentu dalam konsentrasi yang cukup tinggi (Juhaeti dkk., 2005).

Beberapa tanaman diduga dapat menurunkan konsentrasi logam berat pada tanah yang tercemar. Berdasarkan penelitian Prasad dan Freitas (2003), penggunaan vegetasi atau tanaman toleran dapat menurunkan kandungan logam berat yang ada di dalam tanah tercemar. Vegetasi ini terdiri atas beberapa jenis atau beraneka ragam, seperti alang-alang maupun tanaman yang membentuk jalinan berupa rumpun. Tanaman menyerap logam berat melalui akar dan selanjutnya akan mengakumulasinya dalam akar, batang, daun, buah, dan biji.

Mekanisme fitoremediasi terdiri atas beberapa jenis, yaitu: fitoekstraksi (*phytoextraction*), rizofiltrasi (*rhizofiltration*), fitostabilisasi (*phytostabilization*), rizodegradasi (*rhizodegradation*), fitodegradasi (*phytodegradation*), dan fitovolatisasi (*phytovolatilization*). Menurut Purwaningsih (2009) keunggulan fitoremediasi dengan metode atau teknologi penanganan limbah yang lain adalah prosesnya yang alami, dan adanya hubungan sinergis antara tanaman, mikroorganisme, dan lingkungan atau habitat hidupnya. Metode fitoremediasi menggunakan tanaman sebagai akumulator bagi logam berat dan hal ini merupakan cara yang efektif dan ekonomis untuk mengangkut logam berat di dalam tanah dibandingkan dengan metode yang lainnya. Selain itu, fitoremediasi juga mengurangi resiko yang terkait dengan kandungan logam berat melalui tanaman hiperakumulator (Pinho dan Ladeiro, 2012).

Tanaman padi gogo merupakan tanaman semusim yang tergolong ke dalam rumput-rumputan dan salah satu tanaman akumulator atau tanaman yang dapat menyerap logam berat. Dalam penelitian Juhaeti (2009) tanaman padi memenuhi kriteria sebagai tanaman akumulator bagi logam berat. Berdasarkan pada penelitian di aliran sungai Opak Kabupaten Bantul (2020), tanaman padi mampu menyerap logam berat Cr dalam jumlah yang besar (Boris dkk., 2020). Pada penelitian tersebut bulir padi adalah bagian yang paling besar menyerap logam berat selanjutnya adalah batang, daun dan terakhir adalah akar tanaman. Tanaman fitoekstraksi merupakan kemampuan tumbuhan untuk menyerap dan mengangkut logam berat dari akar yang kemudian ditranslokasikan pada organ tanaman.

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh tanaman padi gogo dalam mengubah fraksi labil Cu, Zn, dan Ni di dalam tanah yang tercemar logam berat dengan kerangka pemikiran seperti tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pemikiran perubahan keterekstrakan Cu, Zn, dan Ni pada tanah 25 tahun pascaperlakuan limbah industri akibat tanaman padi gogo.

1.5 Hipotesis

Berdasarkan dari hasil kerangka pemikiran maka dapat dikemukakan hipotesis yaitu sebagai berikut :

1. Terjadi penurunan keterekstrakan Cu, Zn dan Ni di dalam tanah tercemar logam berat 25 tahun pascaperlakuan limbah industri akibat penanaman padi gogo.
2. Serapan Cu, Zn dan Ni mempengaruhi pertumbuhan tanaman padi gogo.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Tanah oleh Logam Berat dan Perubahannya dengan Waktu

Pencemaran tanah menjadi hal yang sangat penting untuk diperhatikan.

Pencemaran tanah atau kerusakan lahan didefinisikan sebagai proses hilangnya atau berkurangnya potensi dan kegunaan tanah atau lahan sebagai tempat tumbuh tanaman serta tempat tinggal organisme di dalamnya. Pembuangan limbah secara tidak teratur atau sembarangan ke dalam aliran air atau tanah dapat mengakibatkan tanah tercemar atau lingkungan yang tercemar dan berakibat tanah tidak dapat lagi berfungsi sebagai media tanam yang baik untuk tumbuhan.

Kegiatan industri yang terjadi saat ini dapat berdampak buruk apabila limbahnya tidak dikelola dengan benar. Jika limbah yang dibuang ke sungai atau aliran air yang digunakan sebagai irigasi dialirkan ke lahan pertanian maka hal ini dapat mencemari lingkungan khususnya tanah. Dari hasil analisis Suganda dkk (2002), salah satu pabrik tekstil terbesar di Rancaekek menunjukkan konsentrasi limbah 15,61 ppm Pb, 0,13 ppm Cd, 13 ppm Cr. Hal ini bila dibiarkan terus terjadi akan mengakibatkan kerusakan lingkungan karena logam berat yang terus mengalir di perairan yang digunakan sebagai aliran sawah akan terakumulasi dalam jumlah besar dan tanaman yang menyerap logam berat menjadi berbahaya ketika dikonsumsi oleh hewan dan manusia.

Rusaknya tanah atau pencemaran tanah menyebabkan adanya ketidakseimbangan ekosistem. Semakin banyaknya logam berat yang berada di aliran air dan terjepit di dalam tanah akan semakin membahayakan.

Akumulasi logam berat di dalam tanah dapat mengakibatkan penurunan aktivitas mikroba tanah, kesuburan tanah dan kualitas tanah secara keseluruhan dan masuknya bahan beracun ke rantai makanan. (Kurnia dkk., 2003).

Telah diketahui bahwa logam berat merupakan unsur kimia beracun yang apabila dikonsumsi manusia dapat menyebabkan berbagai penyakit. Logam berat didefinisikan sebagai zat yang memiliki densitas lebih besar dari 5 g/cm^3 dan memiliki ketahanan yang baik karena memiliki sifat stabil dan sulit diuraikan. Saeni (2002) mengatakan bahwa unsur-unsur logam berat utama yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan adalah Fe, As, Cd, Hg, Mn, Ni, Cr, Zn, dan Cu karena memiliki toksisitas yang tinggi. Logam berat yang berada di tanah atau sedimen dapat mengalami proses pertukaran ion dan adsorpsi terlebih lagi pada partikel yang halus. Alloway (1995) menjelaskan bahwa kelebihan logam berat pada tanah bukan hanya meracuni tanaman dan organisme tetapi dapat berimplikasi pada pencemaran lingkungan. Beberapa unsur logam berat tertentu seperti Cu dan Zn dalam konsentrasi tinggi juga bersifat racun.

Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) merupakan unsur hara mikro yang penting dalam tanah dalam menunjang pertumbuhan tanaman tetapi apabila kandungan atau ketersediaannya berlebihan maka akan menghambat penyerapan hara oleh tanaman. Unsur Zn atau seng merupakan unsur hara esensial mikro yang dibutuhkan hampir semua organisme dalam jumlah sedikit. Ambang batas kandungan logam berat Zn di lingkungan tanah adalah sebesar 70 ppm. Namun jika jumlah logam Zn di dalam tanah melebihi batas ambang maka akan membahayakan bagi kehidupan organisme dan bersifat toksik (Dahuri, 2003).

Akumulasi atau standar ambang batas kandungan logam berat Cu di lingkungan tanah berkisar antara 60-125 ppm. Tembaga merupakan unsur hara esensial mikro yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah sedikit. Tembaga berperan penting dalam pertumbuhan jaringan daun yang berguna sebagai tempat fotosintesis. Tetapi jika kekurangan logam Cu mengakibatkan tumbuhan berdaun kecil dan berwarna

kuning. Kekurangan Cu dapat mengakibatkan gagal memproduksi bunga (Hamzah dan Agus, 2010).

2.2 Usaha Penurunan Logam Berat dalam Tanah

Dengan waktu, logam berat dalam tanah akan terus menurun karena berbagai proses pencucian, adsorpsi oleh tanah pergeseran akibat olah tanah (Salam, 2021). Usaha dalam penurunan logam berat dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu secara fisika, kimia dan secara biologi. Penurunan konsentrasi logam berat secara biologi atau fitoremediasi dapat dilakukan dengan menggunakan tanaman padi gogo sebagai tanaman akumulator. Montiel-Rozas dkk.(2016) menyatakan bahwa konsentrasi logam berat dalam tanah yang tercemar dapat dimodifikasi dengan eksudat akar yang berbeda dengan kata lain beberapa tanaman atau penutup tanah dapat menurunkan konsentrasi logam berat yang terkandung di dalam tanah termasuk padi gogo.

Fitoremediasi merupakan cara atau metode menurunkan konsentrasi logam menggunakan vegetasi sebagai medianya. Dalam penelitian Sandra (2006) penurunan logam berat pada tanah tercemar menggunakan tanaman pengikat logam yaitu eceng gondok, haramay, mendong, dan akar wangi menunjukkan bahwa ada pengaruh nyata pemberian keempat vegetasi terhadap serapan logam dalam daun. Pada penelitian kali ini penulis menggunakan metode fitoremediasi untuk mempelajari penurunan konsentrasi logam berat Cu, Zn dan Ni di dalam tanah akibat penanaman dengan padi gogo.

Fitoremediasi adalah suatu cara atau metode penggunaan tanaman dan bagiannya untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Vegetasi atau tanaman yang digunakan beragam jenis yaitu alang-alang maupun rerumputan. Beberapa vegetasi yang dapat mengikat logam berat antara lain yaitu *Jasio montana*, *Brassica juncea*, *Thiaspi caerulescens* (Hasegawa, 2002). Bagian dalam tanaman yang dapat berkontak langsung dengan tingginya logam adalah akar, yang

selanjutnya terakumulasi di dalam batang, daun, buah dan bunga. Akar merupakan organ kontak langsung yang menyerap logam berat sehingga kandungan logam berat di dalam akar akan lebih tinggi dibandingkan dengan bagian yang lain. Tanaman yang dapat menyerap logam berat tertentu dengan konsentrasi tinggi disebut dengan hiperkumulator.

Beberapa tahapan proses berikut memberikan penjelasan bahwa akar tanaman berperan penting dalam penyerapan unsur logam berat oleh tanaman. Menurut Salt dkk (1995) dalam Suresh dan Ravishankar (2004), secara serial tahapan yang terjadi di sekitar akar atau melibatkan akar tanaman terhadap zat kontaminan/pencemar yang berada di sekitarnya, yaitu:

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

Tumbuhan atau tanaman yang digunakan adalah tanaman padi gogo. Tanaman padi (*Oryza sativa*) adalah tanaman semusim dengan akar serabut. Tanaman padi gogo merupakan salah satu varietas yang dapat tumbuh di lahan kering dan dapat menghasilkan produksi yang berkualitas. Varietas padi gogo yang terbaru memiliki karakteristik tahan terhadap penyakit, berdaya hasil tinggi dan beras yang dihasilkan memiliki kandungan protein yang tinggi dan nikmat dibandingkan dengan varietas lainnya serta dapat ditanam dengan menggunakan pola tanam tertentu (Nazirah dkk., 2015).

Menurut Juhaeti dkk (2009) tanaman padi memenuhi kriteria sebagai tanaman akumulator bagi logam berat. Berdasarkan pada penelitian di aliran sungai Opak Kabupaten Bantul yang dilakukan oleh Boris dkk (2020), tanaman padi mampu menyerap logam berat Cr dalam jumlah yang besar. Pada penelitian tersebut bulir padi adalah bagian yang paling besar menyerap logam berat selanjutnya adalah batang, daun dan terakhir adalah akar tanaman. Berdasarkan hasil dari tabel penelitian tersebut tanaman padi dapat dikategorikan sebagai kelompok tanaman fitoekstraksi. Tanaman fitoekstraksi merupakan kemampuan tumbuhan untuk menyerap dan mengangkut logam berat dari akar yang kemudian ditranslokasikan pada organ tanaman.

2.3 Perubahan Kimia Tanah akibat Fitoremediasi

Tumbuhan atau tanaman memiliki kemampuan dalam menyerap ion-ion dari lingkungannya ke dalam tubuh melalui membran sel. Terdapat 2 faktor yang mempengaruhinya yaitu : 1) Konsentrasi; kemampuan tumbuhan dalam mengakumulasi ion sampai pada tingkat konsentrasi tertentu, terkadang jumlahnya lebih besar atau tinggi dibandingkan konsentrasi ion di dalam mediumnya, 2) perbedaan kuantitatif akan kebutuhan hara yang berbeda tiap jenis tumbuhan. Maka dari itu, fitoremediasi merupakan salah satu cara yang dilakukan untuk menurunkan konsentrasi logam berat pada tanah yang tercemar. Selain itu, fitoremediasi juga merupakan perlakuan yang paling murah dibandingkan yang lainnya.

Akumulasi logam dalam tumbuhan tidak hanya tergantung pada kandungan logam berat dalam tanah, tetapi tergantung pada unsur kimia tanah, jenis logam, pH tanah dan spesies tumbuhan yang digunakan dalam penurunan logam berat. Pada tanah yang tercemar logam berat biasanya pH tanah rendah, proses kompleksasi, khelasi, presipitasi atau adsorpsi meningkat karena pH tanah yang meningkat. Proses adsorpsi meningkat karena pH tanah meningkat akibat adanya ionisasi H^+ dari berbagai gugus fungsi tanah, baik organik maupun anorganik. Dengan ini daya ikat kation logam berat dalam air tanah juga ikut meningkat akibat pH tanah yang meningkat pula. Selain itu, usaha fitoremediasi yang dilakukan juga dapat meningkatkan sifat-sifat tanah yang lain seperti meningkatnya kandungan C-organik dan bahan organik tanah sehingga hal ini dapat meningkatkan KTK tanah yang dapat menurunkan konsentrasi logam berat didalam tanah yang disebabkan oleh adsorpsi logam berat. Perubahan atau penanaman vegetasi di atas tanah yang tercemar logam berat dapat menyebabkan kelarutan dan konsentrasi logam berat karena dapat merubah besarnya perubahan pH tanah, asam organik tanah, C organik tanah dan kandungan bahan organik dan juga KTK tanah (Salam dkk., 2020).

Salam dkk (2022) menjelaskan bahwa kapasitas adsorpsi tanah-sebagian dikatakan sebagai KTK adalah sifat tanah yang paling penting dalam mempengaruhi imobilisasi logam berat. Maka dari itu, tanah yang memiliki KTK yang rendah perlu ditingkatkan melalui penambahan bahan amelioran atau bahan organik ke dalam tanah. Hal ini diyakini bahan organik tersebut memberikan gugus seperti fenolik dan karboksil dalam jumlah yang signifikan dan meningkatkan KTK tanah. Peningkatan ini disebabkan oleh dehidrasi permukaan partikel tanah dengan adanya peningkatan konsentrasi OH^- . Peningkatan KTK tanah meningkatkan adsorpsi logam berat. Misalnya, dilaporkan bahwa amandemen $5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$ pada tanah yang tercemar limbah industri secara nyata meningkatkan pH tanah dan menurunkan logam berat labil yang diekstraksi menggunakan beberapa ekstraktan kimia (Salam 2000; 2001; 2017).

III. METODELOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan September 2023 sampai dengan Maret 2024. Percobaan dilakukan di Rumah Kaca Perguruan Tinggi Al-Madani, Kecamatan Rajabasa, Kota Bandar Lampung. Contoh tanah diambil dari lahan percobaan yang telah dibuat pada bulan Juli 1998 di Desa Sidosari, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan. Analisis tanah dan tanaman dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung dan Laboratorium Ilmu Tanah, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

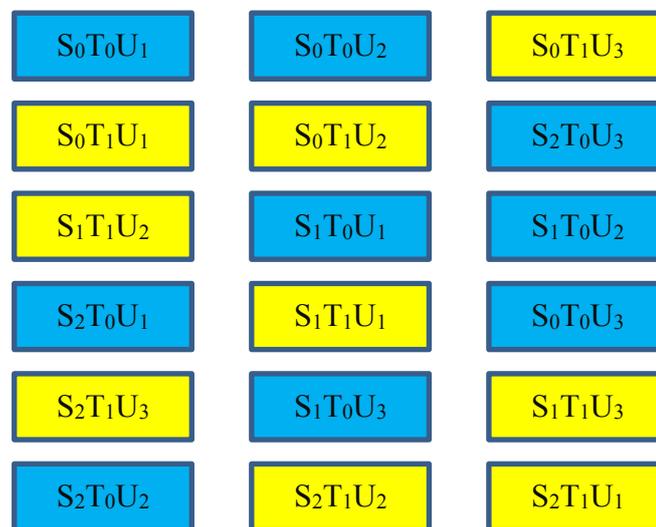
3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sekop, pisau lapang, tali rafia, meteran, karung tempat tanah, alat tulis, pot plastik, mortar, cawan porselen, neraca analitik, *shaker*, lempeng pemanas, kertas saring, alat-alat gelas, botol sampel, pH meter, dan *Atomic Absorption Spectrometer* (AAS) iCE 3000.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu contoh tanah, bibit tanaman padi gogo, air destilata, larutan standar Cu, Zn, dan Ni, larutan pengekstrak 1 N HCl dan 1 N HNO₃.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 2 faktor dan diulang sebanyak 3 kali. Faktor pertama adalah tanah yang punya riwayat ditambahkan limbah industri berlogam berat 25 tahun yang lalu (3 taraf) yaitu : Limbah 0 Mg ha⁻¹ (logam berat kontrol) atau S₀, limbah 15 Mg ha⁻¹ (logam berat rendah) atau S₁ dan limbah 60 Mg ha⁻¹ (Logam berat tinggi) atau S₂ dan faktor kedua adalah penanaman, yaitu: tanpa tanaman padi gogo (T₀) dan dengan tanaman padi gogo (T₁). Seluruh satuan percobaan berjumlah 18 buah yang disusun seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Kombinasi perlakuan dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL).

Keterangan :

S₀ = Tanah dengan Riwayat Perlakuan Logam Berat Kontrol (0 Mg ha⁻¹)

S₁ = Tanah dengan Riwayat Perlakuan Logam Berat Rendah (15 Mg ha⁻¹)

S₂ = Tanah dengan Riwayat Perlakuan Logam Berat Tinggi (60 Mg ha⁻¹)

T₀ = Tanpa Tanaman Padi Gogo

T₁ = Dengan Tanaman Padi Gogo

U₁ = Ulangan 1

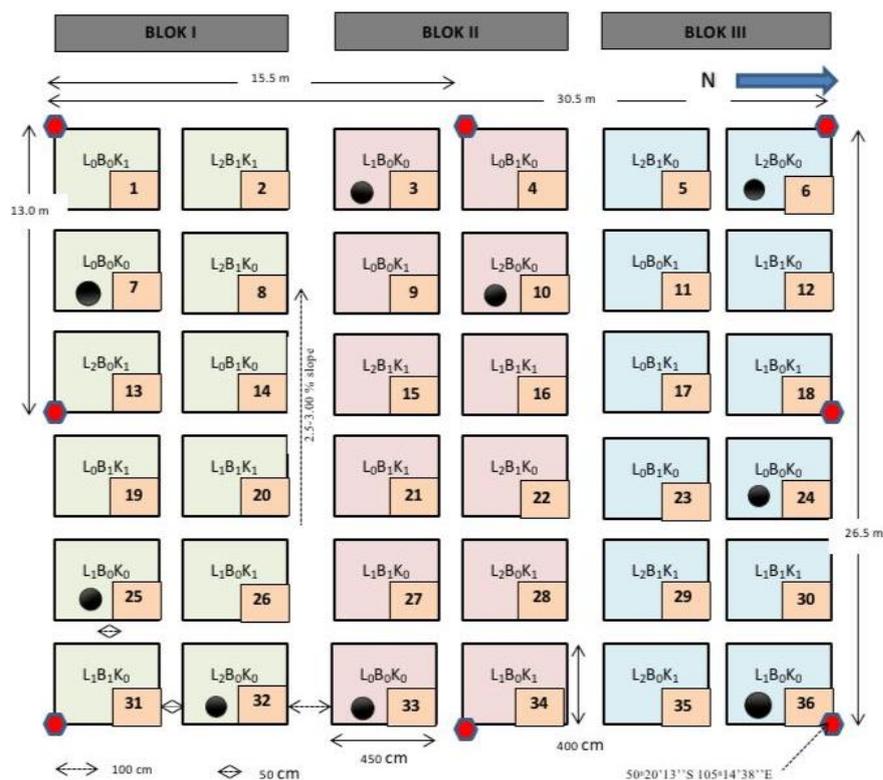
U₂ = Ulangan 2

U₃ = Ulangan 3

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Pengambilan Contoh Tanah untuk Media Tanam

Pengambilan sampel tanah dilakukan di Desa Sidosari, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan dengan menggunakan sekop pada kedalaman 0-20 cm (*top soil*). Contoh tanah diambil dari setiap blok secara komposit dari 5 titik pada perlakuan $L_0B_0K_0$ (0 Mg ha⁻¹, tanpa limbah, bahan organik, dan kapur) atau S_0 , $L_1B_0K_0$ (dengan limbah 15 Mg ha⁻¹, tanpa bahan organik dan kapur) dan S_1 , $L_2B_0K_0$ (dengan limbah 60 Mg ha⁻¹, tanpa bahan organik dan kapur) (Gambar 3). Contoh tanah dari petak perlakuan yang sama, untuk semua blok disatukan, diaduk rata, dan dikering anginkan dan diayak tembus 2 mm sebelum digunakan dalam percobaan.



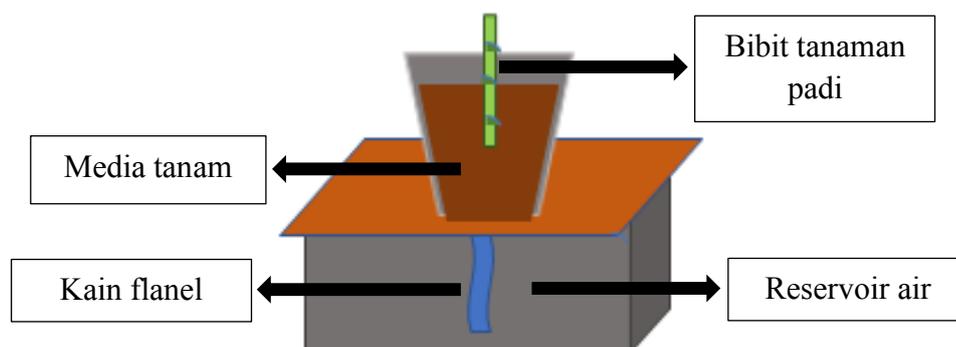
Gambar 3. Tata letak unit percobaan aplikasi limbah industri pada bulan Juli 1998
 L = Limbah Industri, $L_0 = 0$ Mg ha⁻¹, $L_1 = 15$ Mg ha⁻¹, $L_2 = 60$ Mg ha⁻¹,
 B = Kompos Daun Singkong, $B_0 = 0$ Mg ha⁻¹, $B_1 = 5$ Mg ha⁻¹,
 K = Kalsit, $K_0 = 0$ Mg ha⁻¹, $K_1 = 5$ Mg ha⁻¹.

3.4.2 Pengujian Awal Media Tanam

Pengujian awal pada media tanam dilakukan untuk analisis kandungan logam Cu, Zn dan Ni, serta pH sebelum tanam. Pengujian contoh tanah ini dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung dan Laboratorium Ilmu Tanah, , Fakultas pertanian, Institut Pertanian Bogor.

3.4.3 Persiapan Media Tanam dan Penanaman

Contoh tanah yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam pot plastik dengan campuran 400 g tanah yang setara berat kering oven 105° C dalam waktu 24 jam, kemudian ditanami benih padi gogo. Tanah dibasahi dengan air sampai kapasitas lapang dengan menggunakan pengairan metode air kapiler (Gambar 4). Dengan cara ini air dari reservoir akan merayap naik melalui flanel masuk membasahi massa tanah sampai kapasitas lapang. Bibit padi gogo ditanam setelah dilakukan penyemaian. Setelah dilakukan penanaman selama 1 pekan, dilakukan penjarangan dengan menyisakan satu tanaman yang sehat.



Gambar 4. Pengairan pot percobaan dengan menggunakan metode kapiler.

3.4.4 Pemeliharaan Tanaman

Pemeliharaan tanaman padi gogo dilakukan dengan melakukan pengairan. Pengairan dilakukan dengan metode air kapiler (Gambar 4) agar tanah selalu dalam kondisi kapasitas lapang untuk setiap satuan percobaan. Pengendalian hama dan penyakit dilakukan dengan penyemprotan insektisida jika tanaman terserang hama dan penyakit.

3.4.5 Pemanenan Tanaman dan Contoh Tanah

Pemanenan tanaman dan contoh tanah dilakukan pada 4 pekan setelah tanam. Tanah dan tanaman diambil untuk dilakukan analisis Cu, Zn, dan Ni. Tanaman padi gogo dipotong pada batas tanah secara hati-hati, dipisahkan dengan akarnya, kemudian ditentukan berat basah maupun berat keringnya dan kemudian ditentukan juga berat basah dan berat kering dari akar dan tajuk. Panen akar dilakukan dengan cara merendam akar beberapa saat di dalam air. Akar tersebut kemudian dibersihkan dari tanah yang masih melekat. Berat basah akar dan tajuk ditentukan dengan penimbangan langsung setelah pembersihan. Berat kering akar dan tajuk ditentukan setelah pengovenan pada suhu 60°C selama 3x24 jam (sampai beratnya stabil). Pengambilan contoh tanah dilakukan dengan mengambil massa tanah setelah pemanenan tanaman padi gogo. Contoh tanah yang telah diambil kemudian dikering udarakan, dihaluskan lalu diayak menggunakan ayakan 2 mm setelah itu ditimbang untuk dilakukan analisis.

3.4.6 Analisis Tanah dan Tanaman

Analisis tanah dan tanaman dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Universitas Lampung dan Laboratorium Ilmu Tanah, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Peubah dan metode analisis tanah dan tanaman yang dilakukan adalah sebagai berikut :

Analisis Tanah yang dilakukan meliputi:

a. Analisis pH Tanah

Analisis pH tanah menggunakan metode pH meter dengan prosedur kerja sebagai berikut : (1) 10 g contoh tanah ditimbang sebanyak dua kali, masing-masing dimasukkan ke dalam botol kocok, ditambah 20 ml aquades ke botol (pH H₂O) 1:2. Tanah + air dicampurkan dengan mesin pengocok selama 30 menit, (3) suspensi tanah kemudian diukur dengan pH meter yang telah dikalibrasi menggunakan larutan penyangga pH 7,0 dan pH 4,0 sebelum digunakan (Sulaeman, 2005).

b. Analisis Cu, Zn dan Ni Tanah

Prosedur analisis Cu, Zn dan Ni dalam contoh tanah diukur menggunakan metode pengestrak 1 N HNO₃ dengan prosedur kerja sebagai berikut : (1) Contoh tanah ditimbang 10 gram dan dimasukkan ke dalam botol pengocok. (2) Selanjutnya contoh tanah dicampur dengan 20 ml 1N HNO₃. (3) Campuran dikocok dengan pengocok selama 1 jam. (4) Campuran disaring dengan kertas Whatman nomor 42. (5) Absorban diukur dengan *AAS*.

Analisis tanaman yang dilakukan meliputi:

a. Analisis Cu, Zn dan Ni Tanaman

Pengukuran serapan Cu, Zn dan Ni didapatkan dengan cara analisis jaringan tanaman (bagian tajuk dan akar yang sudah digiling). Analisis serapan logam berat Cu, Zn dan Ni dilakukan dengan pengabuan kering, yaitu dengan prosedur kerja sebagai berikut: (1) sebanyak 1 g jaringan tanaman dikering ovenkan dalam sebuah cawan porselen, (2) cawan porselen dimasukkan dalam tungku pengabuan dan sampel jaringan tanaman diabukan pada suhu 300°C selama 2 jam. Kemudian suhu dinaikkan sampai 500°C dan sampel jaringan tanaman diabukan selama 4 jam. Tungku pengabuan dimatikan dan sampel dibiarkan dingin dan diambil dari tungku pengabuan serta didinginkan pada suhu ruang, (3) abu dibasahi dengan beberapa tetes air destilata, (4) sebanyak 10 ml HCl 1 N ditambahkan ke dalam cawan dan cawan diletakkan di atas lempeng pemanas dan dibiarkan sampai mendidih perlahan-lahan, (5) Cawan dari lempeng pemanas dipindahkan,

didinginkan dan abu yang terlarut disaring melalui kertas saring ke labu ukur 100 ml. Cawan dibilas dengan 10 ml HCl 1 N dan dituangkan ke kertas saring dan kertas saring dibilas dengan air destilata kira-kira 50 ml, (6) labu ukur diisi sampai volume tera dengan air destilata dan ditutup, (7) setelah sampel tanaman diabukan dan diencerkan sampai 100 ml dalam labu ukur, Cu, Zn dan Ni ditetapkan dengan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) (Thom dan Utomo, 1991).

3.4.7 Analisis Data

Analisis data menggunakan metode *standard error of mean* atau besar kecilnya nilai kesalahan yang digunakan untuk mengukur tingkat ketelitian dari *mean*/rata-rata. Selanjutnya analisis regresi linear juga dilakukan untuk mengukur hubungan linear antara dua atau lebih peubah dependent . SEM dan regresi linear di hitung dengan menggunakan aplikasi *microsoft excel*.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Simpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tanaman padi gogo tidak berpengaruh terhadap konsentrasi Cu, Zn dan Ni tersedia dalam tanah secara nyata tetapi cenderung menurunkan konsentrasi Cu, Zn dan Ni
2. Pertumbuhan padi gogo tertekan oleh logam berat, secara umum serapan logam berat tanaman padi gogo meningkat dengan semakin tingginya logam berat tanah tetapi pada Zn cenderung stabil.
3. Akumulasi logam berat di dalam akar > tajuk, menunjukkan bahwa tanaman padi gogo adalah fitostabilisator.

5.2 Saran

Penulis menyarankan untuk penelitian selanjutnya dilakukan pengujian dengan menggunakan tanaman dan ditambahkan faktor lain seperti *biochar* dan pengaruh olah tanah untuk melihat kemampuan menurunkan konsentrasi logam berat pada tanah tercemar logam berat. Selain itu, penulis juga menyarankan agar rentang waktu penanaman ditambah sampai batas vegetasi maksimum agar hasil yang didapatkan lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriano, D. C. 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments:
Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals (2nd ed.). Springer.
- Aiyen. 2005. *Ilmu Remediasi Untuk Atasi Pencemaran Tanah di Aceh dan Sumatera Utara* Peneliti Fitoremediasi Dosen Pada Fakultas Pertanian Universitas Tadulako-Palu. Diakses dari <http://pkrlt.ugm.ac.id>
- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals— Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869-881.
- Alloway, B. J. 1995. *Heavy Metals in Soils Blackie Academic & Professional*. London.
- Alloway, B. J. 2012. *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability (3rd ed.)*. Springer.
- Alloway, B. J. 2013. *Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability (3rd ed.)*. Springer.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. 2008. *The Nature and Properties of Soils (14th ed.)*. Prentice Hall.

- Clemens, S., dan Ma, J. F. 2016. Toxic Heavy Metal and Metalloid Accumulation in Crop Plants and Foods. *Annual Review of Plant Biology*. 67 : 489-512 hlm.
- Dahuri, R. 2003. *Keanekaragaman Hayati Laut: Aset Berkelanjutan Pembangunan Indonesia*. PT Gramedia Pustaka. Jakarta. 305 hlm.
- Daoust C. M., Bastien, C., dan Deschenes. 2006. Pengaruh sifat tanah dan penuaan pada toksisitas tembaga pada cacing kompos dan jelai. *J. EnvironQual*. 35 : 558-567 hlm.
- Erfandi, D., dan Juarsah, I. 2014. *Konservasi Tanah Menghadapi Perubahan Iklim*. Badan Litbang Pertanian. Jakarta. 268 hlm.
- Fraser, B. 2010. *High-tech charcoal fights climate change*. *Environ. Sci. Technol*. 44 (2) : 548-549 hlm.
- Gul, S., Whalen, J. K., Thomas, B. W., Sachdeva, V., dan Deng, H. 2015. Physico chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: Mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 206 : 46-59 hlm.
- Hardiani, H. 2009. Potensi Tanaman dalam Mengakumulasi Logam Cu pada Media Tanah Terkontaminasi Limbah Padat Industri Kertas. *Jurnal Selulosa*. 44 (1) : 27-40 hlm.
- Hasegawa, I. 2002. Phytoremediation a novel strategy for removing toxic heavy metals for contaminated soils using plants. *Farming Japan*. 36 (6) : 10-15 hlm.
- Haynes, R. J., dan Mokolobate, M. S. 2001. Amelioration of Al Toxicity and P Deficiency in Acid Soils by Additions of Organic Residues: A Critical

Review of The Phenomenon and The Mechanisms Involved. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 59 (1) : 47-63 hlm.

Huang, J.W., Chen, J., Berti, W.R., & Cunningham, S.D. (1997). Phytoremediation of Lead-Contaminated Soils: Role of Synthetic Chelates in Lead Phytoextraction. *Environmental Science & Technology*, 31(3), 800-805.

Juhaeti, T., Syarif, F. dan Hidayati, N. 2005. Inventarisasi Tumbuhan Potensial untuk Fitoremediasi Lahan dan Air Terdegradasi Penambangan Emas. *J. Biodiversitas*. 6 (1) : 31-33 hlm.

Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2001). Trace Elements in Soils and Plants (3rd ed.). CRC Press.

Khan, M. A., Dind, X., Khan, S., Brusseau, M. L., Khan, A., dan Nawab, J. 2018. The influence of various organic amendments on the bioavailability and plant uptake of cadmium present in mine-degraded soil. *Science of the Total Environment*. 636 : 810-817 hlm.

Kisworo. 2020. Akumulasi Pencemar Kromium (Cr) Pada Tanaman Padi Di Sepanjang Kawasan Aliran Sungai Opak, Kabupaten Bantul. *Biospecies*. 14 : 59-66 hlm.

Kristanti, R. A., Mursidi, dan Sarwono. 2007. *Kandungan Beberapa Logam Berat Pada Bakau (Rhizophora apiculata) di Perairan Bontang Selatan, Kalimantan Timur*. Kalimantan.

Kurnia, U., Erfandi, D., Sutono, S., dan Kusnadi. 2003. Penelitian rehabilitasi dan reklamasi tanah sawah tercemar limbah industri tekstil di Kabupaten Bandung. *Laporan Akhir*. Bagian Proyek Penelitian Sumberdaya Tanah dan Proyek Pengkajian Teknologi Pertanian Partisipatif dengan Dinas

Lingkungan Hidup Pemerintah Daerah Kabupaten Bandung. Balai Penelitian Tanah Puslitbangtanak. Bogor.

Lu, H., Zhang, W., Yang, Y., Huang, X., Wang, S., dan Qiu, R. 2012. Relative distribution of Pb²⁺ sorption mechanisms by sludge-derived biochar. *Water Research*. 46 (3) : 854-862 hlm.

Lombi, E., dan Susini, J. 2009. Synchrotron-Based Techniques for Plant and Soil Science: Opportunities, Challenges and Future Perspectives. *Plant and Soil*. 320 (2) : 1-35 hlm.

Mellis, E.V., Cruz, M. C. P., dan Casagrande, J. C. 2004. Nickel adsorption by soils in relation to pH, organic matter, and iron oxides. *Science of Agriculture Journal*. 61 (2) : 190-195 hlm.

Misra, S. G., & Dwivedi, A. K. (2004). Uptake of Cu and Zn by Rice (*Oryza sativa* L.) Plants as Influenced by Different Levels of Soil Salinity. *Journal of Plant Nutrition*, 27(5), 893–906.

Murbandono, L. 2005. *Membuat Kompos*. Edisi Revisi. Penebar Swadaya. Jakarta.

Montiel-Rozas, M.M., Madejon, E., dan Madejon, P. 2016. Effect of heavy metals and organic matter on root exudates (low molecular weight organic acids) of herbaceous species: An assessment in sand and soil conditions under different levels of contamination. *Environ. Pollut*. 216 : 273-281 hlm.

Nazirah, Laila, Sengli B. J., Damanik. 2015. Pertumbuhan dan hasil tiga varietas padi gogo pada perlakuan pemupukan. *Jurnal Floratek*. 10 : 54-60 hlm.

Notohadiprawiro, T. 1999. *Tanah dan Lingkungan*. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Jakarta.

- Palar, H. 2012. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta. Jakarta. 152 hlm.
- Prasad M. N. V dan Freitas, H. M. O. 2003. Metal Hyperaccumulation in plants Biodiversity Prospecting for Phytoremediation Technology. *Electronic Journal of Biotechnology*. 6 (3).
- Purwaningsih, I. S. 2009. Pengaruh Penambahan Nutrisi Terhadap Efektifitas Fitoremediasi Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Terhadap Limbah Orto-Klorofenol. *Jurnal Rekayasa Proses*. 3 (1) : 5-9 hlm.
- Rahayu, S. T., Fatadila, M., Verawati, E. Y., dan Triana, M. 2014. Respon Bioakumulator Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) terhadap Logam Berat Pb dan Cd di Sungai Pegangsaan Dua. *Pharmaceutical Sciences and Research*. 1 (1) : 9-15 hlm.
- Rosas-Castor JM, Guzmán-Mar JL, Hernández-Ramírez A, Cerón-García AA, Hernández-Díaz JC, et al. (2014) "Heavy Metal Accumulation in Soil and Rice Plant (*Oryza sativa* L.) from the Tula Industrial Corridor, Hidalgo, Mexico." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 11(5): 5198-5213.
- Salam, A. K. 2001. *Manajemen Fraksi Labil Logam Berat di dalam Tanah untuk Pertanian dan Lingkungan*. Universitas Lampung Press. Bandar Lampung. 62 hlm.
- Salam, A. K. 2017. *Management of Heavy Metals in Tropical Soil Environment*. Global Madani Press. Bandar Lampung. 257 hlm.
- Salam, A. K. 2020. *Ilmu Tanah*. Global Madani Press. Bandar Lampung. 411 hlm.

- Salam, A. K., Pakpahan, A. F., Susilowati G., Fernando, N., Sriyani, N., Sarno., Novpriansyah, H., Yusnaini, S., dan Dermiyati. 2021. *Research Article*. The Residual Copper and Zinc in Tropical Soil over 21 Years after Amendment with Heavy Metal Containing Waste, Lime, and Compost. *Applied and Environmental Soil Science*. 14 hlm
- Salam, A. K., Novpriansyah, H., dan Bucharie, H. 2022. Metal Extractability Changes in Soils Under Thorny Amaranth. *Sains Tanah*. 19 (2) : 211–220 hlm. <https://doi.org/10.20961/stjssa.v19i2.65456>
- Salam, A. K., Silva, G., Buchari, H., & Aini, S. N. 2023. The Phytoremediation Potential of Several Plants in Heavy-Metal-Polluted Tropical Soils. *AIP Conference Proceedings*, 2583. <https://doi.org/10.1063/5.0116581>
- Salt, D. E., Smith, R. D., dan Raskin, I. 1998. *Phytoremediation: Annual Review of Plant Biology*. 49 : 643-668 hlm.
- Sandra, S.A. 2006. Rehabilitasi Tanah Tercemar Natrium dan Logam Berat melalui Penggunaan Vegetasi, Bahan Organik dan Bakteri. *Disertasi*. Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Suganda, H., D.Setyorini, H. Kusnadi, I. Saripin dan U. Kurnia. 2002. *Evaluasi pencemaran limbah industri untuk kelestarian sumberdaya lahan sawah*. Laporan Kemajuan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor.
- Sugiharyanto dan Khotimah, Nurul. 2009. *Diktat Mata Kuliah Geografi Tanah*. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Suresh, B., dan Ravishankar, G. A. 2004. *Phytoremediation-A Novel and Promising Approach for Environmental Clean-up*. Taylor & Francis Inc.

- Tangahu, V .B., Abdullah, S. R. S., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., dan Mukhlisin., M. 2011. A Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants through Phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*, Volume 2011, Articiel ID 939161. 31 page. Hindawi Publishing Corporation
- Wang, H., Shan, X., Wen, B., Zhang, S., dan Wang, Z. 2004. Responses of antioxidative enzymes to accumulation of copper in a copper hyperaccumulator of *Commoelina communis*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 47 : 185-192 hlm.
- Wuana, R. A., dan Okieimen, F. E. 2011. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *ISRN Ecology*. 2011 : 1-20 hlm.
- Yruela, I. 2005. Copper in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 17 : 145-146 hlm. doi: 10.1590/S1677-04202005000100012.