

**PERTUMBUHAN DAN SERAPAN Cu DAN Zn BAYAM DURI PADA
TANAH TERCEMAR LOGAM BERAT DIPERLAKUKAN BIOCHAR
DENGAN BERBAGAI KEHALUSAN**

(Skripsi)

Oleh

**Al Adelia Mei Sandi
1914181015**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PERTUMBUHAN DAN SERAPAN Cu DAN Zn BAYAM DURI PADA TANAH TERCEMAR LOGAM BERAT DIPERLAKUKAN BIOCHAR DENGAN BERBAGAI KEHALUSAN

Oleh:

AL ADELIA MEI SANDI

Tembaga (Cu) dan seng (Zn) dianggap sebagai unsur hara mikro yang dibutuhkan bagi pertumbuhan tanaman. Namun, Cu dan Zn pada konsentrasi yang relatif tinggi akan bersifat racun bagi tanaman. Bayam duri dapat dijadikan sebagai tanaman yang digunakan pada teknik fitoremediasi untuk menurunkan konsentrasi logam berat Cu dan Zn di dalam tanah. Selain itu, penambahan biochar juga dapat meningkatkan adsorpsi logam berat di dalam tanah yang diharapkan mampu menurunkan konsentrasi logam berat Cu dan Zn, sehingga pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik. Semakin halus biochar, semakin efektif dalam menjerap dan menurunkan logam berat di dalam tanah. Penelitian ini dilaksanakan di Rumah Plastik Perguruan Tinggi Al-Madani, Rajabasa, Bandar Lampung. Analisis tanah dan tanaman dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Penelitian ini disusun secara faktorial menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) yang terdiri dari 2 faktor dengan 3 ulangan. Faktor pertama adalah dosis limbah industri: 0, 15, dan 60 Mg ha⁻¹. Faktor kedua adalah kehalusan biochar: 4 mm, 2 mm, 0,05 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meningkatnya dosis limbah industri 23 tahun lalu menurunkan Cu dan Zn tersedia di dalam tanah. Meningkatnya dosis limbah industri meningkatkan berat kering tajuk dan akar+tajuk (total). Meningkatnya dosis limbah industri menurunkan serapan Zn. Kehalusan biochar cenderung meningkatkan berat kering akar dan tajuk, namun menurunkan serapan Zn pada akar bayam duri. Kehalusan biochar

menurunkan konsentrasi Cu tersedia tanah pada limbah industri dosis 60 Mg ha^{-1} dan Zn tersedia tanah pada dosis 15 Mg ha^{-1} . Konsentrasi Cu dan Zn menurunkan berat kering bayam duri.

Kata kunci: Bayam Duri, Limbah Industri, Logam Berat Cu dan Zn, Kehalusan Biochar.

**PERTUMBUHAN DAN SERAPAN Cu DAN Zn BAYAM DURI PADA
TANAH TERCEMAR LOGAM BERAT DIPERLAKUKAN BIOCHAR
DENGAN BERBAGAI KEHALUSAN**

Oleh

Al Adelia Mei Sandi

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
2023**

Judul Skripsi

**: PERTUMBUHAN DAN SERAPAN
Cu DAN Zn BAYAM DURI PADA TANAH
TERCEMAR LOGAM BERAT
DIPERLAKUKAN BIOCHAR DENGAN
BERBAGAI KEHALUSAN**

Nama Mahasiswa

: Al Adelia Mei Sandi

NPM

: 1914181015

Jurusan

: Ilmu Tanah

Fakultas

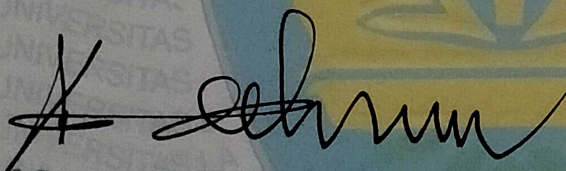
: Pertanian

MENYETUJUI

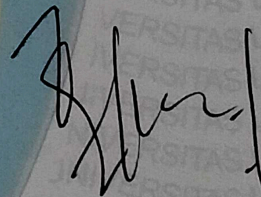
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing pertama

Pembimbing kedua

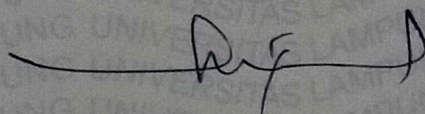


Prof. Dr. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc.
NIP 196011091985031001



Septi Nurul Aini, S.P., M.Si.
NIP 199202022019032021

2. Ketua Jurusan Ilmu Tanah

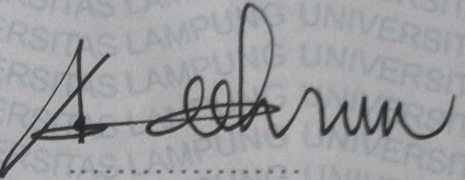


Ir. Hery Novpriansyah, M.Si.
NIP 196611151990101001

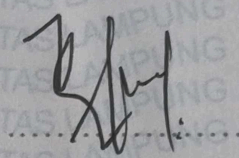
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

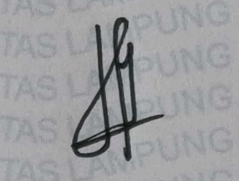
Ketua : Prof. Dr. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc.



Sekretaris : Septi Nurul Aini, S.P., M.Si.



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



2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Arwan Sukri Banuwa, M.Si.

10201986031002

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“Pertumbuhan dan Serapan Cu dan Zn Bayam Duri pada Tanah Tercemar Logam Berat Diperlakukan Biochar dengan Berbagai Kehalusan”** merupakan hasil karya saya sendiri bukan hasil karya orang lain.

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

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

Bandar Lampung, 27 Juli 2023

Penulis,



Al Adelia Mei Sandi
NPM 1914181015

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Lampung Timur pada 18 Mei 2001. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Alm. Bapak Malik dan Ibu Nur Tralali. Penulis memulai pendidikan formal di TK Pertiwi 2 Rajabasa, Lampung Timur, pada tahun 2006-2007 lalu melanjutkan pendidikan di SD Negeri 2 Rajabasa Lama tahun 2007-2013. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMP Negeri 1 Labuhan Ratu pada tahun 2013-2016 dan SMA Negeri 1 Way Jepara pada tahun 2016-2019.

Pada tahun 2019 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur seleksi SBMPTN. Selama berkuliah, penulis pernah menjadi asisten praktikum di beberapa mata kuliah, seperti Kimia Dasar Organik, Dasar-Dasar Ilmu Tanah, Interaksi Hara, Tanah dan Tanaman, dan Analisis Tanah dan Tanaman pada semester yang berbeda-beda. Penulis mendapatkan dana hibah dalam program Holistik Pembinaan dan Pemberdayaan Desa (PHP3D) di Desa Pinang Jaya, Kemiling, Bandar Lampung. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata pada Januari 2022 di Desa Labuhan ratu IV, Kecamatan Labuhan Ratu, Lampung Timur. Penulis melaksanakan Praktik Umum di Jaya Anggara Farm, Bandar Lampung. Penulis mengikuti organisasi Gamatala menjadi anggota Bidang Kewirausahaan (2021-2022).

MOTTO

*“Tiap-tiap yang bernyawa akan merasakan mati”
{TQS Al Imran ayat 185}*

*“Aku bersumpah akan mencintaimu dengan cara yang berbeda”
{TQS Al Ahzab ayat 43}*

*“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan
kesanggupannya”
{TQS Al-Baqarah ayat 286}*

*“Boleh jadi kamu membenci sesuatu padahal ia amat baik bagimu, dan
boleh jadi pula kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk
bagimu, Allah mengetahui sedang kamu tidak mengetahui”.
{TQS : Al-Baqarah ayat 216}*

*“Bukankah rasa ketika sujud pada penciptamu adalah rasa yang tidak
bisa kau temukan di tempat lain?”*

*Teruntuk keluargaku tercinta
Ayahanda "Alm. Malik" dan Ibunda "Nur Tralali"*

*Kupersembahkan karya kecil ini
Sebagai salah satu wujud kesungguhanku
Terimakasih untuk kedua orang tuaku tercinta
Atas limpahan cinta dan kasih sayang yang tiada hentinya.*

*Serta
Almamaterku Tercinta*

"Universitas Lampung

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, serta nikmat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pertumbuhan dan Serapan Cu dan Zn Bayam Duri pada Tanah Tercemar Logam Berat Diperlakukan Biochar dengan Berbagai Kehalusan” sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana. Penulisan skripsi ini tidak akan terlaksana dengan baik tanpa bantuan dan arahan dari para dosen pembimbing, keluarga, dan kerabat. Oleh karena itu, perkenankanlah penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Bapak Ir. Hery Novpriansyah, M.Si. selaku Ketua Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Abdul Kadir Salam M.Sc. selaku pembimbing utama yang telah memberikan saran, bimbingan, dan dana analisis kimia selama penelitian serta penyusunan skripsi.
4. Ibu Septi Nurul Aini, S.P., M.Si. selaku pembimbing kedua yang telah memberikan motivasi dan bimbingan selama penyusunan skripsi
5. Ibu Dr. Supriatin, S.P., M.Sc. selaku dosen penguji yang memberikan arahan, saran, dan kritik yang membangun dalam penelitian dan penulisan skripsi.
6. Kedua orang tuaku, Alm. Bapak Malik dan Ibu Nur Tralali yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan dan doa tulus dalam bentuk apapun dan kakakku Al qoriah beserta sang suami Joko Purnomo dan keponakanku Ghanjafar Bara Hendaru yang selalu membantu dan memberikan semangat positif dalam perkuliahan.
7. Kawan-kawan Ilmu Tanah 2019 Beni Irawan, Desva Melia Sari, Diah Safitri Handayani, Muhammad Frayoga Janata, Abdi Fawwaz Pasya, Anisa Ari Fitriani, Jessica Amarastha Hayu Panjerratri, Teva Agnes Arianti, Zakiyya Nabeela Albajili, Galih Setiawan, Annur Mutiatul Khomsah, Rizki Abdillah,

Dimas Arianto, Marcelin Dinata, Deva Maharani Wirakrama, Muhammad Sofyan Syah, Tri Lestari, Reka Tiana, Rachelia Novia Amanda, Ade Putri Aisyah, Galuh Novrillia Puspita, Wulandari, Dinda Adelia Pramesti, Erwin Hidayah, Mella Rose Wijayanti, Reki Ramadhani, Maisyaroh, Selfy Nursyifa, Desi Lestari, Danang Arjuana, Muhammad Rizki, Kurnia Rahma Dani, Tazkia Assyifa Nur, Annida, Alfina Dwiyantri, Indra Riswanto, Ezta Kharisma Wijayanti, Nuki Aisah, Andika Ferdiansyah, Mahadma YD, Meidita Husnulia Pubian Turi, Cindy Fidia Salsabila, Ersa Julia Ananda, Dian Estuning Passawane, dan Muhammad Andri Saputra yang saling membantu, tempat saling bertukar cerita, menyemangati dari awal perkuliahan hingga penulis menyelesaikan studi S1-nya di Unila.

8. Seseorang yang telah menemani dan selalu membantu saya dalam menjalani hidup di dalam maupun di luar perkuliahan serta selalu memberikan dukungan yang sangat luar biasa.

Semoga bantuan yang diberikan kepada penulis mendapatkan balasan dari Allah SWT dan semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan para pembaca.

Bandar Lampung, 27 Juli 2023

Penulis,

Al Adelia Mei Sandi

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Kerangka Pemikiran	4
1.5 Hipotesis	7
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Logam Berat Tinggi Berdampak Buruk terhadap Makhluk Hidup	9
2.2 Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat dengan Bayam Duri .	10
2.3 Peran Biochar terhadap Logam Berat Tanah	11
2.4 Pengaruh Kehalusan Biochar terhadap Logam Berat Tanah	12
2.5 Pengaruh Fitoremediasi dan Biochar terhadap Logam Berat Tanah	13
III. BAHAN DAN METODE.....	15
3.1 Waktu dan Tempat	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.3 Metode	15
3.4 Pelaksanaan	16
3.4.1 Penyiapan Contoh Tanah	16
3.4.2 Penyiapan Biochar	17
3.4.3 Penyiapan Tanaman Bayam Duri	18
3.4.4 Analisis Tanah Awal.....	18
3.4.5 Pengairan	18
3.4.6 Pengambilan Contoh Tanah dan Tanaman	19
3.4.7 Analisis Tanah dan Tanaman	19

3.4.7 Analisis Data	19
3.4.8 Peubah Pengamatan	20
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Perubahan pH, KTK, Cu dan Zn Tersedia Tanah akibat Perlakuan Limbah Industri dan Biochar	21
4.1.1 Perubahan pH Tanah akibat Perlakuan Limbah Industri dan Biochar.....	21
4.1.2 Perubahan KTK Tanah akibat Perlakuan Limbah Industri dan Biochar	23
4.1.3 Perubahan Logam Berat Cu dan Zn Tersedia di dalam Tanah akibat Perlakuan Limbah Industri dan Biochar	24
4.2 Pertumbuhan dan Serapan Cu dan Zn Tanaman Bayam Duri pada Tanah Tercemar Logam Berat yang Diperlakukan Biochar.....	27
4.3 Pengaruh Cu dan Zn Tersedia terhadap Pertumbuhan Bayam Duri pada Tanah Tercemar Logam Berat	34
V. KESIMPULAN	39
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN	48-61

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Peubah dan metode analisis yang digunakan	19
2. Perubahan pH, KTK,Cu dan Zn tersedia tanah akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan	21
3. Cu tersedia di dalam tanah akibat perlakuan limbah indutri dan biochar berbagai kehalusan	24
4. Zn tersedia di dalam tanah akibat perlakuan limbah industri	26
5. Pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap pertumbuhan (tinggi) tanaman bayam duri	27
6. Pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap berat kering tanaman bayam duri	29
7. Perubahan berat kering tajuk dan akar+tajuk (total) tanaman bayam duri akibat perlakuan limbah industri	29
8. Pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap serapan Cu tanaman bayam duri	31
9. Pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap serapan Zn tanaman bayam duri	33
10. Serapan Zn tersedia akar bayam duri akibat perlakuan biochar berbagai kehalusan.....	33
11. Nilai pH tanah akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan.....	48
12. Sidik ragam pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap pH tanah	48
13. Nilai KTK tanah akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan.....	49
14. Sidik ragam pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap KTK tanah	49

15. Nilai Cu tersedia tanah akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan	50
16. Sidik ragam pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap Cu tersedia tanah	50
17. Nilai Zn tersedia tanah akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan	51
18. Sidik ragam pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap Zn tersedia tanah	51
19. Nilai tinggi tanaman bayam duri akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan	52
20. Sidik ragam pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap tinggi tanaman bayam duri	52
21. Berat kering akar bayam duri akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan	53
22. Sidik ragam pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap berat kering akar bayam duri	53
23. Berat kering tajuk bayam duri akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan	54
24. Sidik ragam pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap berat kering tajuk bayam duri	54
25. Berat kering akar+tajuk (total) bayam duri akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan	55
26. Sidik ragam pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap berat kering akar+tajuk (total) bayam duri	55
27. Serapan Cu akar tersedia bayam duri akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan	56
28. Sidik ragam pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap serapan Cu akar bayam duri	56
29. Serapan Cu tajuk tersedia bayam duri akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan	57
30. Sidik ragam pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap serapan Cu tajuk bayam duri	57

31. Serapan Cu akar+tajuk (total) tersedia bayam duri akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan	58
32. Sidik ragam pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap serapan Cu akar+tajuk (total) bayam duri	58
33. Serapan Zn akar tersedia bayam duri akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan	59
34. Sidik ragam pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap serapan Zn akar bayam duri	59
35. Serapan Zn tajuk tersedia bayam duri akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan	60
36. Sidik ragam pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap serapan Zn tajuk bayam duri	60
37. Serapan Zn akar+tajuk (total) tersedia bayam duri akibat perlakuan Limbah industri dan biochar berbagai kehalusan.....	61
38. Sidik ragam pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap serapan Zn akar+tajuk (total) bayam duri	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran pertumbuhan dan serapan Cu dan Zn bayam duri pada tanah tercemar logam berat diperlakukan biochar dengan berbagai kehalusan.....	7
2. Tata letak satuan percobaan dalam rancangan acak lengkap (RAL)	16
3. Alat pembakaran biochar	17
4. Pengairan dengan metode air kapiler	18
5. Perubahan pH tanah akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan	22
6. Perubahan KTK tanah akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan	23
7. Pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap Cu tersedia di dalam tanah.....	25
8. Pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap Zn tersedia di dalam tanah.....	26
9a. Pengaruh limbah industri dan biochar berbagai kehalusan terhadap pertumbuhan (tinggi) bayam duri.....	28
9b. Foto pertumbuhan (tinggi) tanaman bayam duri akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan pada minggu ke 4	28
10. Perubahan berat kering tanaman bayam duri akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan	30
11. Serapan Cu tbayam duri akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan	32
12. Serapan Zn bayam duri akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan	34
13. Pengaruh konsentrasi Cu tersedia tanah terhadap berat kering bayam duri	35

14. Pengaruh konsentrasi Zn tersedia tanah terhadap berat kering bayam duri	36
15. Pengaruh konsentrasi Cu tersedia tanah terhadap serapan bayam duri....	37
16. Pengaruh konsentrasi Zn tersedia tanah terhadap serapan bayam duri....	38

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan logam berat di lingkungan sudah menjadi masalah global seiring meningkatnya proses industrialisasi, aktivitas pertambangan, dan laboratorium maupun kegiatan sehari-hari. Logam berat adalah unsur-unsur dengan kerapatan atom yang relatif tinggi, yaitu $> 6 \text{ g cm}^{-3}$ atau memiliki berat jenis $> 5 \text{ g cm}^{-2}$ (Salam dan Ginanjar, 2018). Beberapa logam berat dibutuhkan oleh tumbuhan dan hewan dalam jumlah yang relatif sedikit, misalnya Cu dan Zn dianggap sebagai unsur mikro yang dibutuhkan bagi pertumbuhan tanaman. Namun, Cu dan Zn pada konsentrasi yang relatif tinggi akan bersifat racun bagi tanaman. Oleh karena itu, konsentrasi total Cu dalam tanah disarankan tidak melebihi 60 mg kg^{-1} dan konsentrasi Zn harus di bawah 70 mg kg^{-1} (Ros, 1994a). Silva dkk, 2021 melaporkan tanaman salada hanya mampu bertahan hidup pada tanah tercemar logam berat tinggi (60 mg kg^{-1}) selama 2 minggu.

Logam berat secara alami sudah ada di dalam tanah dan tidak dapat terdegradasi, dapat menetap di tanah dan badan air untuk waktu yang lama, sehingga dapat terus meningkat dari waktu ke waktu akibat pencemaran lingkungan (Govindasamy dkk., 2011). Akumulasi logam berat dalam tanah dapat mengakibatkan penurunan aktivitas mikroorganisme tanah, kesuburan tanah, kualitas tanah secara keseluruhan, penurunan hasil pertanian, dan masuknya bahan beracun ke rantai makanan (Atafar dkk., 2010). Oleh karena itu, logam berat tanah harus dengan konsentrasi rendah, agar tidak menimbulkan permasalahan bagi lingkungan.

Logam berat yang terakumulasi pada tanah atau badan air yang terserap oleh tanaman ataupun masuk ke dalam tubuh hewan, kemudian dikonsumsi oleh manusia dapat menyebabkan gangguan metabolisme dalam tubuh. Daya racun

yang dimiliki logam berat akan menjadi penghalang kerja enzim, sehingga sistem metabolisme tubuh terputus. Lebih jauh lagi, logam berat akan bertindak sebagai penyebab iritasi mata, kanker, tumor, dan kematian (Ahsan dkk., 2004). Selain itu, logam berat yang bersumber dari pencemaran udara yang berasal dari asap cerobong industri atau kendaraan bermotor juga akan menimbulkan berbagai permasalahan kesehatan, seperti gangguan pada sistem ginjal dan otak bila terhirup dan terakumulasi pada tubuh manusia. Permasalahan akibat adanya pencemaran logam berat telah terjadi di sungai yang berada di wilayah Kumamoto, Jepang. Hal tersebut menyebabkan penduduknya menjadi keracunan dan menderita penyakit “itai-itai” (Agustina, 2014). Oleh karena itu, pencemaran logam berat harus segera ditangani agar tidak menimbulkan berbagai permasalahan kesehatan bagi manusia.

Bayam duri dapat dijadikan sebagai tanaman yang digunakan pada teknik fitoremediasi untuk menurunkan konsentrasi logam berat tanah. Fitoremediasi merupakan usaha pemanfaatan tanaman untuk membersihkan lingkungan dari bahan pencemar. Jenis tanaman yang digunakan pada teknik fitoremediasi harus memiliki potensi pertumbuhan yang cepat dan memiliki daya serap tinggi terhadap logam berat. Tanaman bayam duri merupakan tanaman yang tergolong ke dalam jenis gulma. Dilaporkan bahwa tanaman bayam duri dapat menyerap logam berat Cu sebesar $259,65 \text{ mg kg}^{-1}$ (Syahril, 2015). Hal ini menunjukkan bahwa tanaman bayam duri memiliki potensi sebagai tanaman akumulator Cu. Menurut Pivetz, (2001) dalam menyerap logam berat, bayam duri melakukan mekanisme fitoekstraksi, yaitu tanaman menarik zat kontaminan dari media, sehingga terakumulasi di sekitar akar tanaman. Akar tanaman akan menyerap polutan dan selanjutnya ditranslokasikan ke seluruh jaringan tanaman. Tanaman fitoremediasi dapat tumbuh dengan baik apabila logam berat di dalam tanah tidak terlalu tinggi. Oleh karena itu, perlu adanya penambahan bahan pembenah tanah yang diharapkan mampu menurunkan konsentrasi logam berat tanah, sehingga pertumbuhan tanaman dapat menjadi lebih baik.

Pemberian bahan pembenah tanah, seperti biochar dapat menjadi salah satu metode berbiaya rendah untuk mengatasi pencemaran logam berat di lingkungan. Dalam fitoremediasi, penambahan biochar dapat mengurangi penyerapan logam berat oleh tanaman (Salam, 2022). Biochar dapat menstabilkan logam berat di tanah yang terkontaminasi, meningkatkan kualitas tanah yang terkontaminasi (Ippolito dkk., 2012) dan secara signifikan mengurangi serapan logam berat oleh tanaman. Nurindriana dkk, (2022) melaporkan bahwa pemberian biochar pada tanah tercemar timbal dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman sawi.

Pemberian biochar pada tanah tercemar menunjukkan potensi untuk mengurangi toksisitas logam berat dalam tanah melalui imobilisasi dan perbaikan sifat tanah (Lebrun dkk., 2018). Biochar akan mengikat logam berat dengan mengubah sifat tanah, sehingga dapat mempercepat transformasi logam berat menjadi fraksi terjerap (Chintala, 2013). Peningkatan pH tanah akibat pemberian biochar berbanding lurus dengan peningkatan OH^- yang dapat merangsang pelepasan H^+ dari gugus fungsi organik, sehingga akan memperluas kemampuan koloid tanah dalam menjerap logam berat dari larutan tanah (Salam, 2022). Penjerapan biochar terhadap logam berat akan meningkat dengan meningkatnya luas permukaan biochar. Sesuai dengan formula umum, penggunaan biochar akan lebih efektif dalam menjerap logam berat dengan meningkatnya kehalusan biochar. Dilaporkan bahwa aplikasi Biochar bambu berukuran 0,15 mm - 0,25 mm lebih banyak mengakumulasi logam berat Zn dibandingkan dengan biochar bambu berukuran 0,25 mm - 0,50 mm (Zheng, 2017).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Apakah terjadi perubahan kadar Cu dan Zn tersedia pada tanah tercemar logam berat setelah diperlakukan biochar berbagai kehalusan?
2. Apakah terjadi perubahan kadar Cu dan Zn tersedia pada tanah tercemar logam berat akibat perlakuan limbah industri?

3. Apakah perlakuan limbah industri mempengaruhi pertumbuhan dan serapan Cu dan Zn pada tanah tercemar logam berat?
4. Apakah pemberian biochar berbagai tingkat kehalusan mempengaruhi pertumbuhan dan serapan Cu dan Zn pada tanah tercemar logam berat?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari pengaruh pemberian biochar berbagai kehalusan terhadap logam berat Cu dan Zn tersedia di dalam tanah.
2. Mempelajari pengaruh perlakuan limbah industri terhadap logam berat Cu dan Zn tersedia di dalam tanah.
3. Mempelajari pertumbuhan dan serapan Cu dan Zn bayam duri pada tanah tercemar logam berat akibat perlakuan limbah industri dan biochar berbagai kehalusan.

1.4 Kerangka Pemikiran

Meskipun beberapa logam berat dibutuhkan oleh tanaman dan hewan, tetapi logam berat dapat berbahaya apabila jumlahnya berlebih, karena akan menimbulkan permasalahan lingkungan, seperti pencemaran tanah, air dan udara. Logam berat pada umumnya bersifat *mobile*, sehingga apabila sudah berada di lingkungan, maka akan mudah menyebar. Pencemaran logam berat pada tanah dapat memberikan efek negatif bagi pertumbuhan tanaman. Salam dkk, (2020) melaporkan bahwa tinggi tanaman jagung dan massa kering (akar, pucuk, dan seluruh tanaman) menurun sehubungan dengan peningkatan konsentrasi Cu dan Zn. Logam berat dapat memasuki rantai makanan, dapat langsung memasuki tubuh hewan dan manusia melalui air minum, atau secara tidak langsung terakumulasi dalam tanah dan terserap oleh tanaman (Salam, 2017), kemudian dapat dikonsumsi oleh manusia, sehingga menimbulkan berbagai permasalahan kesehatan, khususnya gangguan pada sistem syaraf (Sudarmaji, 2006).

Logam berat dapat diturunkan dengan teknik fitoremediasi menggunakan tanaman bayam duri. Beberapa penelitian menyatakan bahwasanya tanaman bayam duri merupakan salah satu tanaman yang dapat bertahan hidup pada tanah tercemar logam berat (Syahril dkk., 2015; Salam, 2022). Salam, (2022) menyatakan bahwa tanaman bayam duri terbukti menyerap logam berat cukup tinggi dari tanah tercemar dan terbukti menjadi salah satu tanaman bioakumulator. Pada tanah tropis dengan perlakuan limbah industri 60 mg ha^{-1} , tanaman bayam duri terbukti secara signifikan mampu menyerap logam Cu sebesar $10,30 \text{ mg kg}^{-1}$ dan menyerap logam Zn sebesar $11,80 \text{ mg kg}^{-1}$.

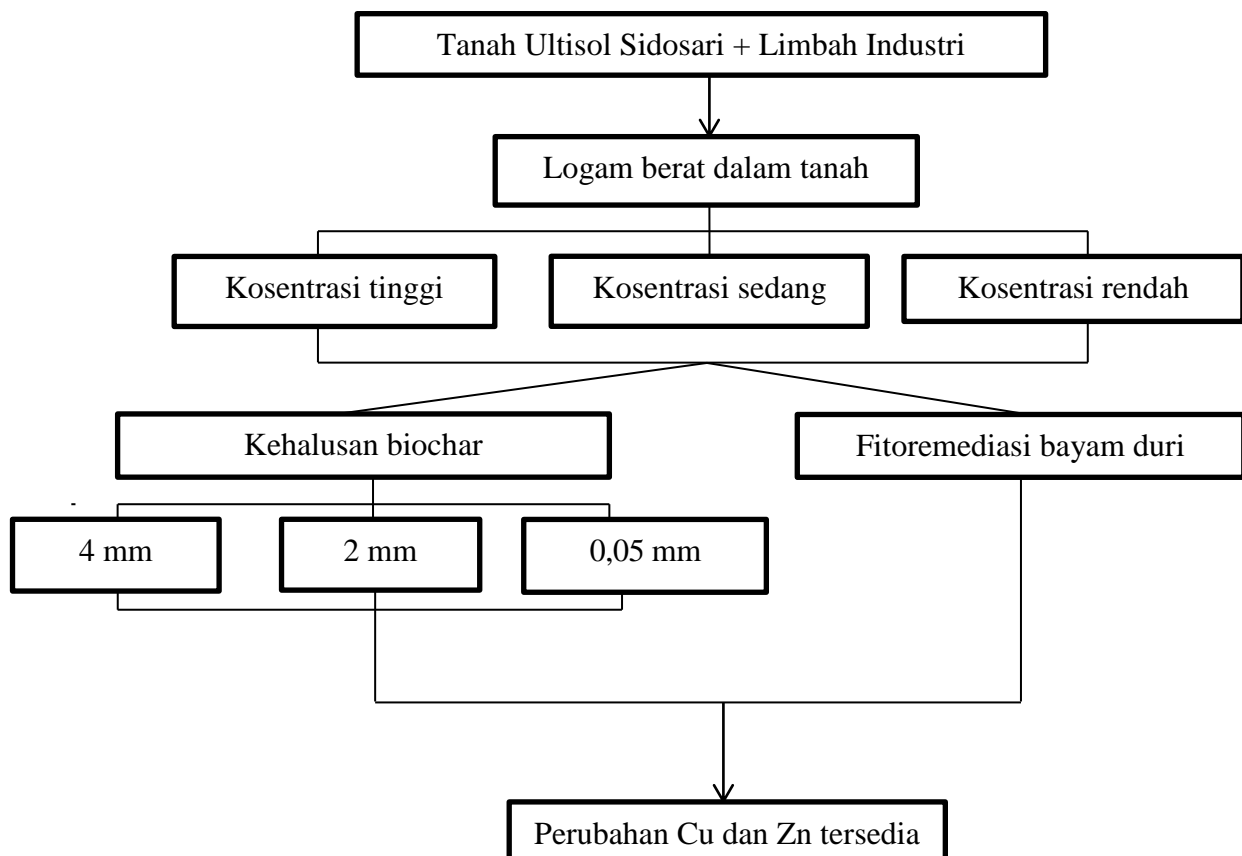
Penambahan biochar pada tanah tercemar dapat menurunkan logam berat tanah, sehingga pertumbuhan tanaman diharapkan mampu berjalan dengan baik. Semita dkk, (2017) menyatakan bahwa penambahan biochar pada tanah tercemar secara signifikan mampu mengurangi serapan Cu pada tanaman sawi. Biochar dapat meningkatkan pH tanah yang menyebabkan meningkatnya konsentrasi ion OH^- yang dapat bereaksi dengan ion H^+ dari permukaan koloid tanah (Salam, 2017). Kenaikan pH tanah akan meningkatkan adsorpsi terhadap logam berat, seperti yang telah disampaikan Salam, (2017) retensi logam berat tanah cukup bergantung pada pH tanah, retensi logam akan rendah pada pH rendah dan sebaliknya. Ippoloto dkk, (2012) melaporkan bahwa biochar dapat menstabilkan tanah yang terkontaminasi logam berat dan secara signifikan menurunkan serapan tanaman terhadap logam berat. Fajri dkk, (2021) melaporkan bahwa penambahan biochar sekam padi dapat menurunkan ketersediaan logam berat Cd sebesar $10,85 \text{ mg kg}^{-1}$.

Pemberian biochar pada tanah tercemar dapat meningkatkan produktivitas tanah melalui perbaikan sifat fisika tanah, kimia tanah dan biologi tanah (Chan dkk., 2007). Tanaman fitoremediasi diharapkan dapat tumbuh dengan baik setelah adanya penambahan biochar, karena telah terjadi perbaikan kesuburan tanah yang ditandai dengan peningkatan C-organik dan pH tanah. Selain itu, peningkatan pH tanah setelah pemberian biochar memungkinkan terjadinya peningkatan aktivitas biologi tanah, sehingga dekomposisi bahan organik akan meningkat dan

mempengaruhi ketersediaan unsur hara N, P, dan K (Masulili dkk., 2010). Hamzah dkk, (2012) melaporkan bahwa biochar mampu meningkatkan unsur hara P sebesar 135,4 mg kg⁻¹ dan K sebesar 5,67 meq g⁻¹. Menurut Putri dkk, (2017) peningkatan pH tanah terjadi, karena adanya peningkatan logam alkali oksida, seperti Ca²⁺, Mg²⁺ dan K⁺ dari biochar yang masuk ke dalam tanah, akibat adanya reaksi pertukaran kation pada permukaan biochar sebagai salah satu mekanisme penjerapan logam berat oleh biochar melalui gugus fungsi, seperti ligan, misalnya gugus karboksilat, hidroksil, dan, fenolik (Uchimiya dkk., 2011). Lu, (2012) menyatakan bahwa ion logam berat pada tanah dapat bertukar dengan kation yang terdapat pada permukaan biochar, seperti Ca²⁺ dan Mg²⁺ dan membentuk kompleks. Menurut Li dkk, (2010) atom hidrogen pada gugus karboksil –COOH dapat dilepaskan sebagai ion H⁺ atau mengalami deprotonasi, sehingga biochar mempunyai peluang membentuk kompleks dengan ion logam. Fika dkk, (2021) melaporkan bahwa pemberian biochar sekam padi pada tanah tercemar dapat menurunkan logam Pb sebesar 91,32 mg kg⁻¹. Dilaporkan bahwa perlakuan biochar sekam padi + 100 g ferrosulfat berpengaruh terhadap distribusi panjang akar tanaman *Vetiveria zizanoides* (Hamzah dkk., 2012).

Ukuran partikel biochar dapat mempengaruhi kapasitasnya dalam menjerap logam berat. Li dkk, (2020) melaporkan biochar berukuran kurang dari 0,15 mm menghasilkan tinggi tanaman yang lebih baik daripada biochar berukuran lebih dari 0,15 mm pada tanah tercemar. Semakin kecil ukuran partikel biochar, maka semakin besar kemampuannya dalam mengurangi konsentrasi logam berat dalam tanah. Semakin kecil ukuran diameter adsorben, maka luas permukaan kontak adsorben biochar dengan logam berat akan semakin besar. Selain itu, luas permukaan juga akan berbanding lurus dengan banyaknya pori yang dimiliki per satuan partikel adsorben. Handiyatmo, (1999) melaporkan bahwa semakin kecil ukuran partikel adsorben menyebabkan semakin banyak adsorbat yang terjerap, karena ukuran partikel yang lebih kecil mempunyai tenaga intermolekuler yang lebih besar, sehingga penjerapan terhadap logam berat menjadi lebih baik. Hal ini sesuai dengan pernyataan Zheng dkk, (2012) bahwa perlakuan biochar halus umumnya lebih efektif dalam menurunkan konsentrasi Zn pada pucuk padi

dibandingkan perlakuan biochar kasar. Fika dkk., (2021) melaporkan bahwa aplikasi biochar sekam padi ukuran 100 mesh dapat menjerap Pb dengan persentase 54,05%, sedangkan aplikasi biochar sekam padi ukuran 400 mesh hanya mampu menjerap Pb dengan dengan persentase sebesar 20%. Kerangka pemikiran pertumbuhan dan serapan Cu dan Zn bayam duri pada tanah tercemar logam berat diperlakukan biochar dengan berbagai kehalusan di perlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pemikiran pertumbuhan dan serapan Cu dan Zn bayam duri pada tanah tercemar logam berat diperlakukan biochar dengan berbagai kehalusan.

1.5 Hipotesis

Berdasarkan kerangka pemikiran yang telah disajikan, maka hipotesis dari penelitian ini yaitu:

1. Terjadi perubahan kadar Cu dan Zn tersedia pada tanah tercemar logam berat akibat perlakuan limbah industri.

2. Terjadi perubahan kadar Cu dan Zn tersedia pada tanah tercemar logam berat setelah diperlakukan biochar berbagai kehalusan.
3. Meningkatnya perlakuan dosis limbah industri meningkatkan pertumbuhan tanaman bayam duri.
4. Meningkatnya perlakuan dosis limbah industri menurunkan serapan Cu dan Zn bayam duri.
5. Meningkatnya konsentrasi Cu dan Zn tersedia di dalam tanah menurunkan berat kering tanaman bayam duri.
6. Semakin halus biochar semakin efektif dalam meningkatkan pertumbuhan dan menurunkan serapan Cu dan Zn bayam duri pada tanah tercemar logam berat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Berat Tinggi Berdampak Buruk terhadap Makhluk Hidup

Keberadaan logam berat di lingkungan tidak dengan sendirinya dapat membahayakan makhluk hidup. Pada umumnya logam berat dalam konsentrasi rendah tidak bersifat racun. Namun, jika logam berat masuk ke dalam sistem metabolisme dengan jumlah yang melebihi batas aman, maka akan membahayakan makhluk hidup (Moenir, 2010). Keberadaan logam berat tanah yang berlebih dapat menghambat penyerapan unsur hara oleh tanaman. Apabila penyerapan unsur hara terhambat, maka tanaman tidak akan dapat tumbuh secara optimal. Silva dkk, (2021) melaporkan bahwa pencemaran logam berat tanah memberikan efek negatif bagi pertumbuhan tanaman salada, kangkung dan caisim. Salada tidak adaptif dan mati pada tanah yang mengandung logam berat tinggi.

Tanah dan air merupakan dua komponen yang menjadi sasaran pencemaran oleh logam berat. Akumulasi logam yang ada pada tanah dapat mengakibatkan penurunan kualitas tanah secara keseluruhan, sehingga dapat menurunkan hasil pertanian dan mengakibatkan masuknya bahan beracun melalui rantai makanan (Atafar dkk., 2010), sehingga dapat menimbulkan berbagai macam penyakit pada manusia, seperti rusaknya sistem sirkulasi darah, pernafasan, penciuman, ginjal dan jantung (Agustina, 2014).

Logam berat memiliki efek buruk bagi kesehatan manusia yang dapat menyebabkan stres oksidatif (Setiawan dan Eko, 2005). Keadaan ini mengakibatkan terjadinya kerusakan sel yang dapat menimbulkan berbagai penyakit, seperti kanker, jantung, katarak, dan penuaan dini (Parwata, 2015). Efek racun logam berat telah terjadi di Jepang, akibat adanya pelepasan merkuri dalam air limbah dari pabrik kimia yang terakumulasi secara biologis pada kerang dan

ikan di Teluk Minamata, kemudian dikonsumsi oleh penduduknya, sehingga menimbulkan penyakit minamata dengan gejala, seperti mati rasa ditangan dan kaki, kelemahan otot umum, dan rusaknya sistem pendengaran yang berlanjut pada kelumpuhan, koma, dan kematian (Agustina, 2014).

2.2 Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat dengan Bayam Duri

Saat ini penggunaan tanaman sebagai agen fitoremediasi berkembang cukup pesat. Fitoremediasi dapat diartikan sebagai pemanfaatan tanaman untuk membersihkan lingkungan hidup dari bahan pencemar. Tanaman yang digunakan sebagai agen fitoremediator dipengaruhi oleh keragaan tanaman (anatomis dan morfologis), pertumbuhan tanaman (sistem perakaran dan biomassa yang dihasilkan) dan proses-proses fisiologis pada tanaman (EPA, 2021). Beberapa tanaman dari banyak *family* terbukti memiliki sifat hipertoleransi terhadap logam berat. Tanaman Hipertoleran adalah tanaman yang mampu mengakumulasi logam berat dalam konsentrasi tinggi di akar dan jaringan pucuk (Salam dkk., 2021), seperti bayam duri (Ishii dkk., 2015).

Bayam duri (*Amaranthus spinosus*) telah dimanfaatkan sebagai adsorben, karena mengandung protein yang memiliki gugus amina (-NH₂), gugus karboksil (-COOH), dan gugus sulfidril (-SH). Disamping itu, pada akar dan batang tanaman bayam duri terdapat dinding sel yang tersusun atas selulosa dan lignin yang mengandung gugus hidroksil (-OH) yang dapat meningkatkan kemampuan tanaman dalam mengikat logam berat. Ketika tanaman terkontaminasi logam berat, maka tanaman akan menghasilkan fitokhelatin yang merupakan bagian utama dalam sistem detoksifikasi logam pada tanaman, karena dapat membentuk ikatan kompleks dengan logam berat, sehingga dapat meningkatkan kapasitas tanaman dalam menyerap logam berat (Mohamad, 2011). Syahril dkk, (2015) menyatakan bahwa pada 4 minggu setelah tanam, bayam duri mampu menyerap Cu sebesar 10,33 mg kg⁻¹ dengan tinggi tanaman 25 cm.

Bayam duri melakukan mekanisme fitoekstraksi dalam menyerap logam berat di dalam tanah (Heriyanto dan Endro, 2011). Logam berat yang terkandung dalam tanah akan diserap oleh akar dan ditranslokasikan ke tunas. Dalam sel tumbuhan, logam akan melewati plasmalema dan sitoplasma, kemudian dialokasikan dalam vakuola. Bagian vakuola menjaga agar logam tidak menghambat metabolisme tumbuhan, sehingga logam tidak akan mengganggu proses fisiologi sel tumbuhan (Heriyanto dan Endro, 2011). Syahril dkk, (2015) menyatakan bahwa didapatkan tanaman bayam duri yang menunjukkan perkembangan dan pertumbuhan yang baik dengan kemampuan menyerap logam Cu sebesar $259,65 \text{ mg kg}^{-1}$.

2.3 Peran Biochar terhadap Logam Berat Tanah

Perkembangan lain penanganan tanah tercemar logam berat adalah dengan menggunakan biochar. Biochar merupakan biomassa organik yang mengalami proses termolisis. Umumnya, biochar mempunyai pH basa yang berkontribusi terhadap stabilisasi logam berat (Hidayat, 2005). Biochar memiliki area permukaan besar dan kapasitas yang tinggi untuk menyerap logam berat, sehingga berpotensi untuk mengurangi kelarutan logam berat di dalam tanah melalui proses adsorpsi (Park, 2011), sehingga pertumbuhan tanaman dapat meningkat. Semita dkk, (2017) menyatakan bahwa biochar meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun, dan berat kering tanaman.

Biochar mengandung senyawa karbon yang stabil dengan struktur karbon aromatik yang dominan (Purakayastha dkk., 2015), sehingga hanya sebagian kecil dari biochar yang dapat termineralisasi dalam waktu singkat. Biochar merupakan sumber bahan organik tanah (Arifin dkk., 2022) yang mengandung mineral-mineral berupa kation-kation basa (Ca, K, Mg, Na) yang dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi ion OH^- (Atmojo, 2013) dimana dapat menyebabkan adanya reaksi antara ion OH^- dengan ion H^+ membentuk H_2O , sehingga keberadaan ion H^+ akan menurun dan menyebabkan pH tanah meningkat (Arifin dkk., 2022). Peningkatan pH tanah menyebabkan kompetisi antara ion H^+ dengan logam berat untuk terikat pada permukaan jerapan koloid tanah menurun, karena

ion H^+ telah berikatan dengan OH^- , sehingga penjerapan terhadap logam berat pada koloid tanah akan meningkat. Bachtiar dkk, 2019 menyatakan bahwa biochar dapat menjadi bahan tambahan yang efektif untuk mengurangi serapan logam berat Cu dan Zn dalam jaringan tanaman. Fazri dkk, (2021) melaporkan bahwa pemberian biochar sekam padi pada tanah tercemar Cd mampu menurunkan logam berat Cd dengan persentase sebesar 45,45%. Fika dkk, (2021) melaporkan bahwa pemberian biochar sekam padi pada tanah tercemar Cd mampu menurunkan logam berat Cd dengan persentase sebesar 47,36%.

2.4 Pengaruh Kehalusan Biochar terhadap Logam Berat Tanah

Saat ini, pemberian biochar untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman pada tanah tercemar dianggap efektif, karena biaya yang dikeluarkan untuk hal tersebut relatif rendah, namun efektifitasnya dalam menurunkan logam berat sangat besar. Efektifitas biochar untuk menurunkan logam berat dalam tanah dan meningkatkan pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh ukuran partikel biochar (Li dkk., 2020). Ukuran partikel biochar akan mempengaruhi banyaknya pori yang akan berkaitan dengan luas permukaan adsorben dan kapasitasnya dalam menjerap logam berat (Xie dkk., 2015). Semakin halus biochar, maka semakin banyak jumlah pori dan semakin luas permukaan adsorben, sehingga kemampuannya dalam menjerap logam berat semakin meningkat.

Tingkat kehalusan biochar menjadi salah satu hal yang perlu diperhatikan. Perlakuan biochar halus umumnya lebih efektif dalam menurunkan konsentrasi Zn dibandingkan dengan perlakuan biochar kasar (Zheng dkk., 2012). Ukuran partikel biochar dapat mengubah kapasitas penjerapan dan mikroporositas biochar untuk menjerap dan menukar ion hara, sehingga memudahkan untuk meningkatkan ketersediaan hara tanaman dan merangsang pertumbuhan tanaman (Xie dkk., 2015).

Kehalusan biochar akan berbanding lurus dengan jumlah pori dan luas permukaan adsorben. Li dkk, (2020), menyatakan bahwa aplikasi biochar sekam padi dengan

ukuran partikel yang berbeda mempengaruhi kualitas tanah, pertumbuhan tanaman, dan akumulasi logam berat dalam tanah. Perlakuan biochar halus umumnya lebih efektif untuk menurunkan serapan Zn pada pucuk tanaman dibandingkan dengan perlakuan biochar kasar (Lu dkk., 2014).

2.5 Pengaruh Fitoremediasi dan Biochar terhadap Logam Berat Tanah

Saat ini, penggunaan tanaman sebagai agen fitoremediasi dan pemberian biochar efektif dijadikan sebagai opsi dalam menurunkan konsentrasi logam berat. Fitoremediasi merupakan usaha pemanfaatan jasa tanaman untuk membersihkan lingkungan hidup dari bahan pencemar, sedangkan biochar adalah biomassa organik yang mengalami proses termolisis dan mempunyai area permukaan besar serta kapasitas yang tinggi dalam menyerap logam berat.

Ada dua pendekatan yang dapat digunakan untuk membantu merediasi tanah yang tercemar logam berat, yaitu dengan fitoremediasi dan pemberian biochar (Moreno dkk., 2005). Tanaman akan mengurangi konsentrasi logam dalam tanah melalui penyerapan dan biochar akan meningkatkan efektivitas fitoremediasi dengan mengurangi mobilitas (Beesley dkk., 2011) dan fitotoksisitas (Beesley dkk., 2010) dari polutan organik dan anorganik dalam tanah. Biochar dapat meningkatkan sifat biologis tanah, meningkatkan pH tanah dan C-organik tanah, memperbaiki agregasi tanah dan mampu meningkatkan kandungan hara tanah (Hamzah dkk., 2012). Efek-efek tersebut akan saling berkaitan dan berpotensi dalam memperbaiki hasil tanaman. Pernyataan tersebut didukung oleh penelitian yang dilakukan Sari, (2014) bahwa pemberian bahan organik, seperti kompos dan biochar pada tanah tercemar mampu mengoptimalkan penyerapan kadar merkuri oleh jaringan tanaman (tajuk dan akar).

Tanaman fitoremediasi akan tumbuh dengan baik bila konsentrasi logam berat dalam tanah tidak terlalu tinggi. Oleh karena itu, diperlukan adanya penambahan bahan pembenah tanah berupa biochar yang dapat memperbaiki kualitas tanah, seperti meningkatkan pH dan kapasitas tukar kation serta dapat meningkatkan

daya jerap tanah terhadap logam berat. Pembenh tanah tersebut diharapkan mampu menurunkan konsentrasi logam berat tanah, sehingga menjadi lebih mudah diserap oleh tanaman. Mendez dkk, (2014) menyatakan bahwa biochar umumnya dilaporkan dalam literatur untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman, sehingga terdapat potensi biochar untuk meningkatkan hasil fitoremediator. Dilaporkan bahwa pemberian biochar pada tanah tercemar secara signifikan mengurangi akumulasi Cd, Cu dan Pb pada tanaman sawi (Hee, 2011).

III. BAHAN DAN METODE

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Oktober 2022 sampai dengan April 2023. Contoh tanah diambil dari petak percobaan dengan perlakuan limbah industri berlogam berat yang terletak di Desa Sidosari, Kecamatan Natar, Lampung Selatan. Percobaan rumah kaca dilakukan di rumah plastik di area Perguruan Tinggi Al-Madani (PTAM), Kota Bandar Lampung. Analisis tanah dan tanaman dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu ayakan 4 mm; 2 mm; 0,05 mm, botol kocok, labu erlenmeyer, gelas beker, gelas ukur, kantong plastik, pot, kertas label, kertas saring Whatman No. 42, labu ukur, pH meter, neraca analitik, *shaker*, spatula, spidol dan *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)*.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aquades, *biochar* dari sekam padi yang berukuran ayakan 4 mm; 2 mm; 0,05 mm, contoh tanah tercemar logam berat dari Sidosari dan larutan pengestrak 1 N HNO₃.

3.3 Metode

Penelitian ini menggunakan 2 faktor dalam Rancangan Acak Lengkap (RAL) (Gambar 2). Faktor pertama yaitu dosis limbah industri (S) yang terdiri dari tanah Sidosari tidak tercemar logam berat takaran 0 Mg ha⁻¹ (S₀) atau konsentrasi rendah, tanah Sidosari tercemar limbah berlogam berat takaran 15 Mg ha⁻¹ (S₁) atau konsentrasi sedang, dan tanah Sidosari tercemar limbah berlogam berat takaran 60 Mg ha⁻¹ (S₂) atau konsentrasi tinggi. Contoh tanah diambil dari petak

percobaan dengan perlakuan limbah industri berlogam berat 0, 15, 60 Mg ha⁻¹ tanpa perlakuan kapur dan kompos (Salam, 1998). Faktor kedua yaitu biochar berbahan sekam padi (B) dengan ukuran 4mm (B₁); 2 mm (B₂); 0,05 mm (B₃). Setiap kombinasi perlakuan diulang 3x yaitu U₁, U₂, dan U₃, sehingga terdapat 3x3x3=27 satuan perlakuan. Percobaan disusun dalam Rancangan Acak Lengkap (RAL) seperti pada Gambar 2.

S ₀ B ₃ U ₂	S ₂ B ₃ U ₃	S ₁ B ₂ U ₂
S ₁ B ₁ U ₂	S ₀ B ₂ U ₃	S ₂ B ₂ U ₁
S ₂ B ₁ U ₃	S ₁ B ₁ U ₃	S ₁ B ₂ U ₁
S ₂ B ₃ U ₂	S ₀ B ₁ U ₁	S ₂ B ₁ U ₂
S ₀ B ₂ U ₂	S ₀ B ₀ U ₃	S ₂ B ₁ U ₁
S ₁ B ₃ U ₂	S ₀ B ₃ U ₁	S ₂ B ₃ U ₁
S ₀ B ₃ U ₃	S ₀ B ₂ U ₁	S ₂ B ₂ U ₂
S ₂ B ₂ U ₃	S ₁ B ₃ U ₃	S ₁ B ₃ U ₁
S ₀ B ₁ U ₂	S ₁ B ₂ U ₃	S ₁ B ₁ U ₁

Gambar 2. Tata letak satuan percobaan dalam rancangan acak lengkap (RAL).

Keterangan:

- S₀ : Tanah dengan dosis logam berat rendah (0 Mg ha⁻¹)
- S₁ : Tanah dengan dosis logam berat sedang (15 Mg ha⁻¹)
- S₂ : Tanah dengan dosis logam berat tinggi (60 Mg ha⁻¹)
- B₁ : Biochar ukuran 4 mm
- B₂ : Biochar ukuran 2 mm
- B₃ : Biochar ukuran 0,05 mm
- U₁ : Ulangan 1
- U₂ : Ulangan 2
- U₃ : Ulangan 3

3.4 Pelaksanaan

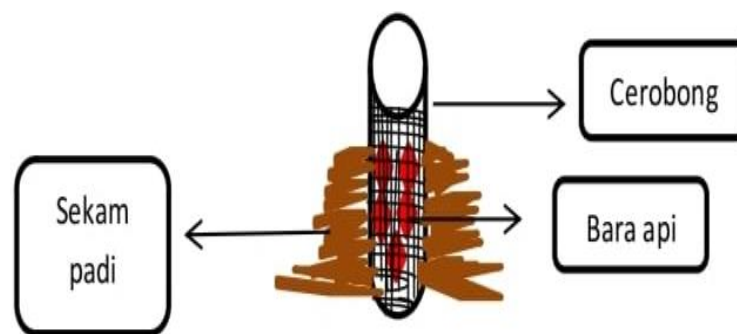
3.4.1 Penyiapan Contoh Tanah

Contoh tanah diambil dari lahan percobaan yang terletak di Desa Sidosari Kecamatan Natar, Lampung Selatan dari kedalaman 0-15 cm. Terdapat 3 blok

percobaan, masing-masing blok terdiri dari 12 petak percobaan. Seluruh blok telah diaplikasikan limbah logam berat, kapur, dan kompos daun singkong pada Juli 1998. Lahan diaplikasikan dengan limbah industri sendok logam yang berasal dari PT *Star Metal Ware Industry*, Jakarta. Contoh tanah hanya diambil dari perlakuan limbah industri tanpa perlakuan kapur dan kompos secara komposit. Setelah itu, contoh tanah dikeringanginkan, ditumbuk halus, diaduk rata dan diayak 2 mm. Kadar air tanah ditentukan secara gravimetrik untuk keperluan penimbangan. Contoh tanah yang digunakan adalah 300 g per pot (berat kering oven 105° C 24 jam) dengan kadar air 4%. Setelah dicampur rata dengan biochar 10 Mg ha⁻¹ atau setara dengan 3 g per pot, contoh tanah dibasahi dengan air sampai kadar air kapasitas lapang. Kadar air kapasitas lapang diatur secara kapiler.

3.4.2 Penyiapan Biochar

Untuk membuat biochar, disiapkan cerobong berbahan kawat dengan diameter kecil untuk menghindari masuknya sekam padi kedalam cerobong yang mengakibatkan tidak adanya rongga udara, sehingga proses pembakaran akan terhambat. Cerobong berfungsi sebagai tempat menghidupkan bara api sekaligus sebagai tempat keluarnya asap pembakaran. Sekam padi diletakkan mengitari cerobong, kemudian bara api dibuat dengan membakar kertas atau ranting di dalam cerobong (Gambar 3). Pembalikan sekam padi bagian bawah dan atas dilakukan secara beraturan agar terbakar merata. Kemudian biochar diayak dengan ukuran 4 mm; 2 mm; 0,05 mm.



Gambar 3. Alat pembakaran biochar.

3.4.3 Penyiapan Tanaman Bayam Duri

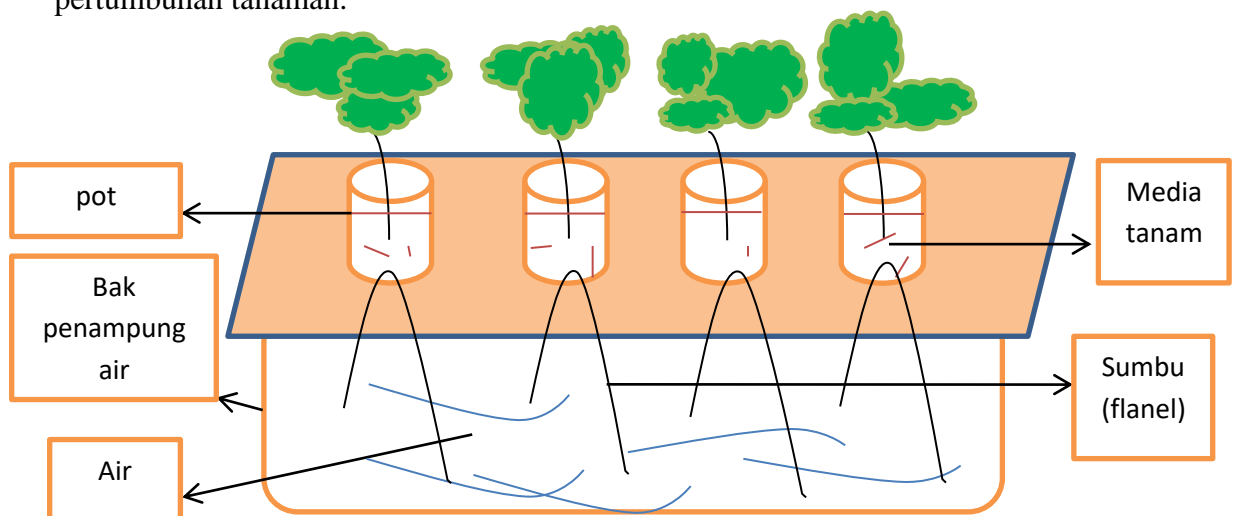
Dipilih bibit bayam duri dengan ukuran daun, akar, batang yang hampir sama. Kemudian, tanaman dipindahkan ke pot berukuran 350 gram yang berisi 300 gram tanah (berat kering oven 105° C 24 jam) dengan kadar air 4% dan 3 gram biochar yang telah dicampur secara merata.

3.4.4 Analisis Tanah Awal

Analisis tanah awal dilakukan untuk mengetahui kandungan logam Cu tersedia, Zn tersedia, pH dan KTK tanah sebelum ditanami. Analisis contoh tanah dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah Universitas Lampung.

3.4.5 Pengairan

Penyiraman tanaman dilakukan dengan metode pengairan secara kapiler menggunakan kain sumbu (flanel) yang menghubungkan contoh tanah dengan reservoir air. Air akan naik melalui sumbu (flanel) dan terserap oleh tanah hingga keadaan kapasitas lapang dapat tercapai (Gambar 4). Air dalam bak penampung dijaga dengan memperhatikan volume air dan melakukan penambahan air jika volume air sudah berkurang agar keadaan kapasitas lapang terjaga selama pertumbuhan tanaman.



Gambar 4. Pengairan tanaman bayam duri dengan metode air kapiler.

3.4.6 Pengambilan Contoh Tanah dan Tanaman

Panen dilakukan saat tanaman berumur 4 pekan setelah tanam (PST). Pada saat panen, dilakukan pengambilan contoh tanah yang akan digunakan untuk analisis akhir. Sebelumnya, contoh tanah akan dikeringudarkan dan dipisahkan dari biochar. Dipisahkannya tanah dengan biochar, karena biochar tidak mudah terdekomposisi. Analisis tanah mencakup konsentrasi Cu tersedia, Zn tersedia, pH dan KTK, sedangkan analisis tanaman mencakup serapan Cu, Zn, bobot kering dan tinggi tanaman. Akar dan tajuk contoh tanaman dibersihkan dari sisa-sisa tanah yang menempel sebelum dilakukan pengeringan dan penimbangan. Pengeringan dilakukan menggunakan oven dengan temperatur 60°C 3x24 jam dan penimbangan dilakukan menggunakan neraca analitik.

3.4.7 Analisis Tanah dan Tanaman

Peubah dan metode analisis tanah dan tanaman yang dilakukan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Peubah dan metode analisis yang digunakan.

Parameter	Metode Analisis
Analisis Tanah	
Cu dan Zn tersedia	Pengekstrak 1 N HNO ₃
pH	pH meter
KTK	1 N NH ₄ OAc pH 7
Analisis Tanaman	
Cu dan Zn	Pengabuan kering
Bobot kering tanaman	Menggunakan neraca analitik
Tinggi tanaman	Menggunakan Penggaris

3.4.8 Analisis Data

Homogenitas ragam data diuji dengan uji Bartlett dan aditivitas data diuji dengan uji Tukey. Setelah data sesuai, data kemudian dianalisis dengan analisis ragam dan dilanjutkan dengan Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf nyata 5%. Selanjutnya dilakukan uji korelasi antara kandungan logam berat tersedia di dalam tanah dengan berat kering tanaman dan serapan logam berat oleh tanaman.

3.4.9 Peubah Pengamatan

Peubah utama yang diamati pada penelitian ini adalah konsentrasi Cu dan Zn tersedia pada tanah dan tanaman. Sedangkan peubah pendukung yang diamati adalah pH tanah, KTK tanah, bobot kering tanaman dan tinggi tanaman.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Konsentrasi Cu dan Zn tersedia di dalam tanah menurun dengan meningkatnya perlakuan dosis limbah industri.
2. Serapan Zn akar, tajuk dan total (akar+tajuk) menurun dengan meningkatnya perlakuan dosis limbah industri.
3. Berat kering tajuk dan total tanaman (akar+tajuk) meningkat dengan meningkatnya perlakuan dosis limbah industri.
4. Meningkatnya kehalusan biochar menurunkan konsentrasi Cu tersedia di dalam tanah pada perlakuan limbah industri 60 Mg ha^{-1} dan menurunkan konsentrasi Zn tersedia di dalam tanah pada perlakuan limbah industri 15 Mg ha^{-1} .
5. Meningkatnya kehalusan biochar menurunkan serapan Zn pada akar bayam duri.
6. Meningkatnya kehalusan biochar cenderung meningkatkan berat kering akar dan tajuk.
7. Konsentrasi Cu dan Zn tersedia di dalam tanah menurunkan berat kering tanaman bayam duri.

5.2 Saran

Dalam penelitian mendatang perlu dilakukan penelitian serupa dan lebih mendalam terkait pengaruh kehalusan biochar terhadap kelarutan logam berat di dalam tanah dan pertumbuhan serta serapan Cu dan Zn tersedia maupun unsur logam berat lainnya oleh tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T. 2014. Kontaminasi Logam Berat pada Makanan dan Dampaknya bagi Kesehatan. *Jurnal Teknologi Busana dan Boga*. 1(1): 53-65.
- Ahsan. 2004. Beban Kanker dari Arsenik dalam Air Minum Di Bangladesh. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. 94(1): 741-744.
- Arifin, Z., Ma'shum, M., Susilowati, E.L., Bustan. 2015. Aplikasi Biochar dalam Mempengaruhi Aktivitas Mikroba Tanah pada Pertanaman Jagung yang menerapkan Pola Pemupukan Terpadu. *Jurnal Prosiding Saintek*. 4(1): 207-2017.
- Atafar, Z., Alireza, M., Jafar, N., Mehdi. H., Masoud, Y., Mehdi, A., Amir, H.M. 2010. Effect of Fertilizer Application on Soil Heavy Metal Concentration. *Journal Environ Monit Assess*. 160(1): 83-89.
- Atmojo, S. W. (2006). *Degradasi Lahan & Ancaman bagi Pertanian*. Solo Pos, 7.
- Bachtiar, T., Nurrobifahmi, C.A., Flatian, N.A. 2019. Teknik Isotop ¹⁵N untuk mengevaluasi Pengaruh Biochar dan Bakteri Penambat Nitrogen terhadap Serapan Nitrogen Tanaman Padi Sawah. *Jurnal Tanah dan Iklim* 43(2): 139-145.
- Beesley, L., Marmiroli, M., 2011. Immobilization and Retention of Dissolved Arsenic and Zinc with Biochar. *Journal Enviromental Pollution*. 159(2): 474-480.
- Beesley, L., Moreno-Jimenez, E., Gomez-Eyles, JL, 2010. Effects of Biochar and Greenwaste Compost Amandements on The Mobility, Bioavailability and Toxicity of Inorganic and Organic Contaminants in Multielemen Polluted Soil. *Journal Enviromental Pollution*. 159(12): 3269-3282.
- Chan, K. Y., Zwieten, B., Meszaros, I., Downie, D., Joseph, S. 2007. Agronomic Value of Greenwaste Biochar as a Soil Amendment. *Australian Journal of Soil*. 45(8): 629-634.
- Chintala, R., Schumacher, T.E., Mc Donald, L.M., Clay, D.E., Malo, D.D., Papiernik, S.K., Clay, S.A., Julson, J.L. 2013. Phosphorus Sorption and Availability From Biochars and Soil/ Biochar Mixture. *Jurnal Soil, Air, Water*. 42(5): 626-634.

- Environmental Protection Agency. 2001. *Brownfields Technology Primer, Selecting and Using Phytoremediation for Site Cleanup*. U.S. Environmental Protection Agency. Washington. 25 hlm.
- Erfandi, D dan Juarsah, I. 2014. *Teknologi Pengendalian Pencemaran Logam Berat pada Lahan Pertanian. Konservasi Tanah Menghadapi Perubahan Iklim*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta. 268 Hlm.
- Fajri, M.S., Sasmita, A., Elystia, S. 2021. Pengaruh Variasi Dosis Penambahan Biochar Sekam Padi terhadap Efisiensi Penyisihan Logam Berat Cd pada Tanah Tercemar. *Jurnal Online Mahasiswa*. 8(1): 1-6.
- Fazlini., Lestari, U.S., Hapsari, I.R. 2014. Applications and Fertilizer Rice Husk Bochar Chicken Coop on Plant Growth and Results Temulawak. *Jurnal Fakultas Pertanian, Universitas Tribhuwana Tungadewi*. 2(2): 1-10.
- Fika H.H., Elystia, S., Sasmita, A. 2021. Pengolahan Tanah Tercemar Logam Berat Pb dan Cd Menggunakan Biochar Sekam Padi dengan Variasi Ukuran Partikel. *Jurnal Sains Teknologi dan Lingkungan*. 7 (1), 59-68.
- Firgianto, R., Purba, T., Junaidi, S.A.P., Ningsih, H., Junairiah, G.B. 2021. *Tanah dan Nutrisi Tanaman*. Yayasan Kita Menulis. Medan. 118 hlm.
- Govindasamy, C., Arulpriya, M., Ruban, P., Francisca, L.J., Ilayaraja, A., 2011. Concentration of Heavy Metals In Seagrasses Tissue of The Palk Strait, Bay of Bengal. *International Journal Environment*. 2(1): 145-153.
- Hadayanto, Muddarisna, Nurul , Amrullah. 2017. *Pengelolaan Kesuburan Tanah*. Universitas Brawijaya Press. Malang.
- Hamzah, A., Kusuma, Z., Utomo, H., Guritno, B. Penggunaan Tanaman Vetiveria Zizanooides L. dan Bochar untuk Remediasi Lahan Pertanian Tercemar Limbah Tambang Emas. *Jurnal Buana Sains*. 12(1): 53-60.
- Hartati, D.R., Suryaman, M., Saepudin, A. 2023. The effect of Phospate Solublizing Bacteria at Various Soil pH on Plant Growth and Yield of Soybean (*Glycie max (L). Merr*). *Journal of Agrotechnology and Crophe Science*. 1(1): 26-34.
- Heriyanto, N.M. & Endro, S. (2011). Penyerapan Polutan Logam Berat (Hg, Pb dan Cu) oleh Jenis-Jenis Mangrove. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 8(2): 1-12.
- Hidayat, B. 2015. Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat Menggunakan Biochar. *Jurnal Pertanian Tropik*. 2(1): 51- 61.

- Hidayah, A dan Sukarjo, S. 2017. *Ketersediaan Unsur Hara Mikro pada Lahan Pertanian di Kabupaten Banjarnegara*. Prosiding seminar Nasional Fakultas Pertanian UNS. 329-333.
- Huang, D., Liu, L., Zeng, G., Xu, P., Huang, C., Deng, L., Wang, R., Wan, J. 2017. Effect of Rice Straw Biochar on Native Microbial Community and Enzyme Activity in Sediments Contaminated with Heavy Metals.. *Journal Chemosphere*. 174(1): 545-553.
- Ippolito, J., Berry, C.M., Strawn, D.G., Novak, J.M., Levine, J., Harley, A. 2017. Biochar Reduces Bioavailable Heavy Metals in Mine Soil. *Journal Environmental*. 46(2): 411-419.
- Ishii, Y., Hamano, K., Kang, D., Idota, S., Nishiwaki, A. 2015. *The Fitoremediation Potensial of Cadmium and Cultivated Napier Grass in Kyushu, Jepang*. Appl Environ Soil Sci ID 756270.
- Kumar, S., Sangwan, P., Dhankhar V., Bidra S. 2013. Utilization of rice husk and their ash : a review. *Journal of Chemical and Environmental Sciences*. 1(5): 126-129.
- Kusuma, E.M. 2020. Aplikasi Residu Biochar Sekam Padi dan Pupuk NPK terhadap Pertumbuhan dan Produksi Rumput Meksiko pada Tahun Kedua. *Jurnal Ilmu Heani Tropika*. 9 (1): 17-22.
- Kuswandi, 1993. *Pengapuran Tanah*. Kanisius. Yogyakarta. 92 hal.
- Lebrun, M., Miard, F., Nandillon, R.L., Eger, J.C., Hambli, H.N., Scippa, G.S., Bourgerie, S., Morabito, D. 2018. Replaced Phytostabilization of Multicontaminated Mining Technosols Using Biochar Amendments: Early Stage Evaluation of Biochar Feedstock and The Effect Of Particle Size on As and Pb Accumulation of Two Salicaceae Species. *Jurnal Chemosphere*. 194(1): 316-326.
- Li, Q., Chai, L., Wang, Q., Yang, Z., Yan, H., Wang, Y. 2010. Fast Esterifikasi of Spent Grain for Enhanced Heavy Metal Ions Adsorption. *Journal Bioresource Technology*. 101(10): 3796-3799.
- Li, X., Xiao, J., Ma, C., Salam, A.M.D., Shi, J., Chen, G. 2020. Effect of Bamboo Biochar Particle Size on Phytoremediation *Salix Psammophila C.* in Multimetal Polluted Soil. *International Journal of Phytoremediation*. 23(6): 658-668.
- Lu, H., Zhang, W., Yang, Y., Huang, X. 2012. Relative Distribution of Pb²⁺ Sorption Mechanism by Sludge Derived Biochar. *Journal Water*. 46 (1): 854-862.

- Lu, K., Yang, X., Shen, J., Robinson, B., Huang, H., Liu, D., Bolan, N., Pei, J., Wang, H. 2014. Effect of Bamboo Biochar and Rice Straw on Bioavailability Cd, Cu, Pb and Zn on Sediments *plumbizincicola*. *Journal Environmental*. 19(1): 124-132.
- Masulii, A., Utomo, W.H., Syekhfani. 2010. Rice Husk Biochar for Rice Based Cropping System in Acid Soil One. The Characteristic of Rice Husk Biochar and Its Influence The for Properties Of Acid Sulfate Soils and Rice Growth in West Kalimantan, Indonesia. *Journal of Agriculture Sains*. 2(1): 39-47.
- Mendez, A., Gasco, G., Ful, S., Lul, H., Ferreira, P.J. 2014. Use of Phytoremediation and Biochar to Restore Heavy Metal Polluted Soil, Chinese University of Science. *Journal Solid Earth*. 5(1): 65-75.
- Moenir M. 2010. Kajian Fitoremediasi sebagai Alternatif Pemulihan Tanah Tercemar Logam Berat. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*. 1(2): 104-176.
- Mohamad, E. 2011. Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd) Dalam Tanah dengan Menggunakan Bayam Duri (*Amaranthus spinosus* L). *Jurnal Entropi*. 3(1): 562-571.
- Mohamad, E. 2013. Pengaruh Variasi Waktu Kontak Tanaman Bayam Duri terhadap Adsorpsi Logam Berat Kadmium (Cd). *Jurnal Entropi*. 8(1): 563-571.
- Moreno, F.N., Anderson, C.W.N., Steward, R.B., Robinson, B.H. 2005. Mercury Volatilization and Phytoextraction From Base Metal Mine Tailings. *Journal Environmental Pollution*. 136(2): 341-352.
- Notohadiprawiro T. 1995. Logam Berat Dalam Pertanian. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 2(7): 3-11.
- Nuril, H. 2013. Mekanisme Fisiologis Tumbuhan Hiperakumulator Logam Berat. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 14 (2). 75-82.
- Nurindriana, M.F dan Wicaksono, S.K. Pemanfaatan Biochar dan Kompos Black Soldier Fly pada Fitoremediasi Tanah Tercemar Timbal dan Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan serta Hasil Tanaman Sawi. *Jurnal Tanah dan Sumber Daya Lahan*. 9 (2): 297-309.
- Oleszczuk, P., Zielinska, A., Cornelissen, G. 2014. Stabilization of Sewage Sludge with Different Biochar to Reduce the Content of Freely Leached Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Journal Technology Bioresour*. 156(1): 139-145.

- Park, J.H., Girish, K. C., Nanthi, S. B., Jae, W.C., Thammared, C. 2011. Biochar Reduces The Bioavailability and Phytotoxicity Of Heavy Metals. *Journal Soil and Plant*. 348(1) :439-451.
- Parwata, A.O.M. 2015. *Antioksidan*. Universitas Udayana. Bali. 46 hlm.
- Pivetz, B.E. 2001. *Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites*. Technology Innovation Office. US Wahington DC. 36 hlm.
- Purakayastha, T. J., Kumari, S., Pathak, H. 2015. Characterisation, Stability, and Microbial Effects of Four Biochars Produced From Crop Residues. *Journal Geoderma*. 239(1): 293-303.
- Putri, V. I., Mukhlis, Hidayat, B. 2017. Pemberian Beberapa Jenis Biochar Untuk Memperbaiki Sifat Kimia Tanah Ultisol dan Pertumbuhan Tanaman Jagung. *Jurnal Agroekoteknologi*. 5(4): 824-828.
- Rachmadiarti, F dan Trimulyono, G. 2019. Phytoremediation Capability on Water Clover in Synthetic Pb Solution. *Applies Ecology and Enviromental*. 17 (4): 9609-9619.
- Rajak, H. 1991. *Petunjuk Cara Pengambilan Contoh dan Metode Analisa Logam Berat, PPPO-LIPI*. Jakarta. 14 hal.
- Ranjan, V., Sen, P., Kumar, D., Sarsawat, A. 2015. Study on the Sabilization of Embankment Slopes by Means of Revegetation with Reference to Native Plats. *Journal Ecologikal Processes*. 4(1): 1-11.
- Rosliani, R., Sumarni, N., Sulastrini, I. 2010. Pengaruh Cara Pengelolaan Tanah dan Tanaman Kacang-Kacangan sebagai Tanaman Penutup Tanah terhadap Kesuburan Tanah dan Hasil Kubus di Dataran Tinggi. *Jurnal Holikultura*. 20 (1): 36-44.
- Ross S.M. 1994a. *Sources and Froms on Potentially Toxixc Metals in Plant Soil Systems*. Dalam: SM Ross (ed.). *Toxic Metals in Soil and Plant Systems*. John Willey & Sons, L., New York. 3-25 hlm.
- Rukmana, A., Susilawati, H., Galang, G. 2019. Pencatat pH Tanah Otomatis. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Teknik Elektro Telekomunikasi Indonesia*. 10(1): 25-32.
- Salam, A.K dan Helmke, A. P. 1995. Measurement of Free Lonic Activities of Heavy Metals in Soil Solution Using Donnan Analysis. *Scientific Journal of Soil Science*. 3 (1): 13-19.

- Salam, A.K., S. Djuniwati, dan H. Novpriansyah. 1998b. Changes in The Solubility of Zink From Industrial Waste in The Tropics Due to the Addition of Lime and Cassava Leaf Compost. *Journal of Tropikal Soils*. 6(1): 111-117.
- Salam A.K., dan Ginanjar, K. Tropical Soil Labile Fractions of Copper in Experiments Plots after 10 years after treatment with Copper Containing Waste. *Journal of Tropikal Soils*. 23 (1): 11-18.
- Salam, A.K., Supriatin, S., Septiana, L.M., Febriansah, M.R. 2020. The Patterns of Lead and Copper Levels in the vicinity of Heavy Metal Sources in Lampung, the Southern part of Sumatra, Indonesia. In: 1 st ULICOSTE 2020.
- Salam, A. K., Pakpahan, A. F., Susilowati, G., Fernando, N., Sriyani, N., Sarno, S., Novpriansyah, H., Yusnaini, S., dan Dermiyati, D. 2021. The Residual Copper and Zinc in Tropical Soil over 21 Years after Amendment with Heavy Metal Cointaining Waste, Lime, and Compost. *Research Article : Apllied and Enviromental Soil Science*. 1-14.
- Salam, A.K., Hidayatullah M.A., Supriatin S., Yusnaini S. 2021. The Phytoektraction of Cu and Zn by Elephant Grass From Tropical Soil 21 Years after Amandemnts with Industrial Waste Containing Heavy Metals. *Journal of Earth and Enviromental Science*. 637 (2001): 2-7.
- Salam, A.K., Novpriansyah, H., Bucharie, H. 2022. Metal Extractability Changes in Soils Under Thorny Amaranth. *Journal of Soil Science and Agroclimatology*. 19(2): 211-220.
- Salam, A.K. 2022. *Potensial Role of Biochar in Restoring Heavy Metal Polluted Tropical Soil and Plant Growth*. Intech Open. Lampung.
- Sari, K. 2014. Remediasi Tanah Tercemar Merkuri (Hg) Menggunakan Tanaman *Digitaria Ciliaris* (Retz.) Koeler dan *Fimbristylis Aphylla* (Lamk) Vahl. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*.
- Semia, K.I., Sujana, P.I., Suryana, M.I. 2017. Pengaruh Pemberian Biochar terhadap Tanaman Sawi Hijau pada Lahan yang Tercemar Limbah Cair di Subak Cuculan Kepaon. *Jurnal Agrimeta*. 7(14): 26-30.
- Setiawan B dan Eko S. 2005. Stres Oksidatif dan Peran Antioksidan pada Diabetes Melitus. *Jurnal Kedokteran Indonesia*. 55(2): 850-860.
- Silva, G., Salam, A.K., Aini, N.S., Buchari, H. 2021. Phytoextraction Copper From the Tropical Realm 21 Years after Amandemnt with Waste Containing Heavy Metals. *Journal of ropical Soils*. 26(1): 11-18.

- Shen, X., Huang, D.Y., Ren, X.F., Zhu, H.H., Wang, S., Xu, C., He, Y.B., Luo, Z.C, Zhu, Q.H. 2016. Phytoavailability of Cd and Pb in Soil with Crop Straw Biochar I Related to Heavy Metal Content in Both Biochar and Soil. *Journal Environmetal*. 168: 245–251.
- Siswanto, D. (2009). Respon Pertumbuhan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) Jagung (*Zea mays* L.) dan Kacang Tolo (*Vigna sinensis* L.) terhadap Pencemar Timbal (Pb). *Jurnal Universitas Brawijaya*.
- Sudarmaji., Mukono, J., & Corrie, I.P. 2006. Toksikologi Logam Berat B3 dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Unair*. 2(2): 129-142.
- Syahril M.R., Nafie N.L., Liong S. 2015. Potensi Bayam Duri Sebagai Tanaman Hiperakumulator Ion Logam Tembaga Cu. *Jurnal Entropi Unhas*. 3(1): 1-11.
- Uchimiya, M., Chang, S.C., Klasson, K.T. 2011. Screening Biochars for Heavy Metal Retention in Soil. role of oxygen functional groups. *Journal Hazard Mater*. 190(1): 432-441.
- Xie, T., Reddy, K.R., Wang, C., Yargicoglu, E., 2015. Characteistics and Application of Biochar for Enveromeal Remediation. *Jounal Environmental*. 45(9): 939-969.
- Zheng, R.L., Cai, C., Liang, J.H., Huang, Q., Chen, Z., Huang, Y.Z., Arp, H.P.H., Sun, G.X. 2012. Effect of Biochar and Rice Residue on iron Plaque Fornation and Accumulation Cd, Zn, Pb, As in Rice seedlings (*Oryza sativa* L.). *Journal Chemosfer*. 89 (7): 856–862.
- Zheng, R., Li, C., Sun, G., Xie, Z., Chen, J., Wu, J., Wang, Q. 2017. Effect of Particle Size and Biochar Raw Materials on Accumation Cd, Zn, Pb, dan As by *Brassica chinensis* L. *Juornal Envirometal*. 24(28): 22340-22352.