

**PERUBAHAN KETERSEDIAAN Cu, Zn, DAN Ni PADA TANAH 25
TAHUN PASCAPERLAKUAN LIMBAH INDUSTRI DENGAN
PEMBERIAN *BIOCHAR* TANDAN KOSONG
KELAPA SAWIT**

(Skripsi)

Oleh

**YANTI ANGGRAINI
2014181015**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PERUBAHAN KETERSEDIAAN Cu, Zn, DAN Ni PADA TANAH 25 TAHUN PASCAPERLAKUAN LIMBAH INDUSTRI DENGAN PEMBERIAN *BIOCHAR* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

Oleh

Yanti Anggraini

Pencemaran lingkungan antara lain adalah pencemaran tanah yang disebabkan oleh logam berat yang berasal dari limbah industri. Logam berat didefinisikan sebagai unsur dengan kerapatan atom relatif tinggi $>6 \text{ g cm}^3$ atau berat jenis lebih 5 g/cm^3 . Metode yang menjanjikan untuk menurunkan logam berat di dalam tanah adalah pemanfaatan *biochar*. *Biochar* memiliki kapasitas adsorpsi yang relatif tinggi terhadap kation logam, memiliki kemampuan untuk meningkatkan pH tanah secara signifikan, dan dapat menurunkan ketersediaan logam berat di dalam tanah. Oleh karena itu, kehadiran *biochar* dapat mengakibatkan perubahan kimia tanah khususnya ketersediaan logam berat di dalam tanah. Penelitian ini ditujukan untuk mempelajari perubahan ketersediaan Cu, Zn, dan Ni dalam tanah tercemar logam berat yang diperlakukan dengan *biochar*.

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan September 2023 sampai bulan Maret 2024. Contoh tanah diambil dari petak percobaan yang terletak di desa Sidosari, Kecamatan Natar, Lampung Selatan yang telah dibuat pada tahun 1998. Penelitian ini disusun secara faktorial menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan 2 faktor 3 ulangan. Faktor pertama adalah tingkat cemaran logam berat dalam

contoh tanah yang diberi perlakuan limbah industri 25 tahun yang lalu (1998) dengan tiga taraf yaitu $S_0 = 0 \text{ Mg ha}^{-1}$, $S_1 = 15 \text{ Mg ha}^{-1}$, dan $S_2 = 60 \text{ Mg ha}^{-1}$ yang diambil dari petak percobaan. Faktor kedua yaitu perlakuan *biochar* tandan kosong kelapa sawit, yaitu $B_0 = 0 \text{ Mg ha}^{-1}$, $B_1 = 5 \text{ Mg ha}^{-1}$, $B_2 = 10 \text{ Mg ha}^{-1}$. Analisis ketersediaan logam berat menggunakan pengekstrak $1N \text{ HNO}_3$ dengan *Flame Atomic Absorption Spectrophotometry* (Flame AAS). Sifat tanah lain yang dianalisis yaitu pH dengan menggunakan elektrode pH-meter dan pengekstrak air destilata dengan perbandingan tanah dan aquades 1:2 dan C-Organik dengan menggunakan metode *Walkley and Black*. Perbedaan antarperlakuan dianalisis dengan menggunakan metode *Standard Error of The Mean* (SEM). Uji korelasi antara peubah utama dan peubah pendukung dilakukan dengan metode *Simple Linear Regression* dan *Multiple Linear Regression* pada taraf 5% dengan aplikasi *Excell*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah dengan perlakuan limbah industri menunjukkan ketersediaan Cu, Zn, dan Ni yang lebih tinggi dengan urutan S_2, S_1, S_0 . Perlakuan *biochar* tandan kosong kelapa sawit menurunkan ketersediaan Cu dalam tanah pada taraf 60 Mg ha^{-1} dengan dosis *biochar* 5 Mg ha^{-1} dan 10 Mg ha^{-1} , menurunkan ketersediaan Zn dalam tanah pada taraf 60 Mg ha^{-1} dengan dosis *biochar* 5 Mg ha^{-1} , menurunkan ketersediaan Ni dalam tanah pada taraf 60 Mg ha^{-1} dengan dosis *biochar* 5 Mg ha^{-1} . Ketersediaan Cu, Zn dan Ni berkorelasi negatif dengan pH, serta pH dan kandungan C-Organik.

**PERUBAHAN KETERSEDIAAN Cu, Zn, DAN Ni PADA TANAH 25
TAHUN PASCAPERLAKUAN LIMBAH INDUSTRI DENGAN
PEMBERIAN BIOCHAR TANDAN KOSONG
KELAPA SAWIT**

Oleh

YANTI ANGGRAINI

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
202**

Judul Skripsi : **PERUBAHAN KETERSEDIAAN Cu, Zn,
DAN Ni PADA TANAH 25 TAHUN
PASCAPERLAKUAN LIMBAH
INDUSTRI DENGAN PEMBERIAN
BIOCHAR TANDAN KOSONG KELAPA
SAWIT**

Nama Mahasiswa : **Yanti Anggraini**

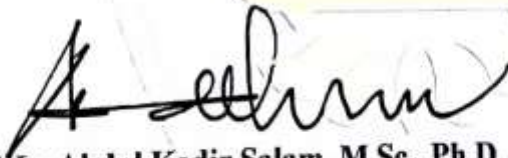
Nomor Pokok Mahasiswa : **2014181015**

Program Studi : **Ilmu Tanah**

Fakultas : **Pertanian**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Prof. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc., Ph.D.
NIP 196011091985031001


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

2. Ketua Jurusan Ilmu Tanah

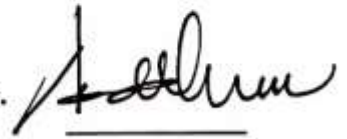

Ir. Hery Novpriansyah, M.S.
NIP 196611151990101001

MENGESAHKAN

1. Tim penguji

Ketua

: Prof. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc., Ph.D.



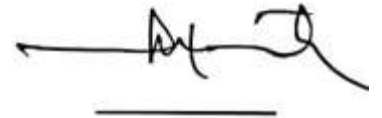
Sekretaris

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



Anggota

: Ir. Hery Novpriansyah, M.S.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

NIP 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 08 Juli 2024

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“PERUBAHAN KETERSEDIAAN Cu, Zn, DAN Ni PADA TANAH 25 TAHUN PASCAPERLAKUAN LIMBAH INDUSTRI DENGAN PEMBERIAN *BIOCHAR* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT”** merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil karya orang lain.

Penelitian ini merupakan penelitian bersama dosen Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, yaitu Prof. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc., Ph.D. dan Dr. Supriatin, S.P., M.Sc. Dana yang digunakan dalam penelitian ini adalah dana pribadi dari dosen pembimbing pertama.

Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini saya kutip dari hasil karya orang lain dan telah saya tuliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan 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, 08 Juli 2024


Yanti Anggrami
NPM. 2014181015

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kota Bandar Lampung pada 06 Mei 2002 sebagai anak pertama dari pasangan bapak Abdullah dan ibu Aidawati. Penulis memulai pendidikan pada tahun 2007 di TK Al-Fajar, Kecamatan Sukarame, Kota Bandar Lampung. Penulis melanjutkan pendidikan dasar pada tahun 2008 di SDN 2 Way Dadi, Kecamatan Sukarame, Kota Bandar Lampung. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPN 29 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2017. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di SMAS Gajah Mada Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2020. Kemudian penulis melanjutkan studi ke tingkat perguruan tinggi di Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif mengikuti UKM Racana (Pramuka) Universitas Lampung pada tahun 2020, dan aktif menjadi anggota Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) pada tahun 2022. Penulis pernah menjadi anggota himpunan mahasiswa Gabungan Mahasiswa Ilmu Tanah Unila pada tahun 2022, kemudian pada tahun 2023 menjadi Sekretaris Bidang Pendidikan dan Pelatihan. Penulis juga aktif dalam kegiatan seminar, baik sebagai kepanitiaan acara dan kepanitiaan lomba di Universitas Lampung. Penulis juga pernah menjadi panitia kegiatan pada mata kuliah Praktik Pengenalan Pertanian (P3).

Pada tahun 2023 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Suka Mulya, Kecamatan Pagar Dewa, Lampung Barat, dan pada tahun yang sama penulis melaksanakan kegiatan Praktik Umum (PU) di UPTD Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Lampung, Kota Bandar Lampung.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya”

(Q.S Al-Baqarah: 286)

“Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain).”

(Q.S Al-Insyirah: 6-7)

“Dan jangan kamu berputus asa dari rahmat Allah, sesungguhnya yang berputus asa dari rahmat Allah, hanyalah orang-orang yang kafir.”

(Q.S Yusuf [12]: 87)

“Jangan pernah takut untuk bermimpi besar, karena dalam bermimpi terdapat kekuatan untuk mewujudkannya. Kesuksesan tidak datang dengan mudah, tetapi melalui kerja keras, tekad yang kuat, dan ketekunan yang tiada henti.”

(B.J. Habibie)

Alhamdulillahirabbil'alamin...

Yang utama dari segalanya

Sembah sujud serta syukur kepada Allah SWT

Tiada lembar yang paling indah dalam penulisan skripsi ini kecuali lembar persembahan. Skripsi ini saya persembahkan sebagai tanda bukti kepada orang tua saya tercinta yang telah memberikan doa-doa di sepanjang hidup penulis tanpa pernah mengeluh, memberi motivasi, perhatian dan kasih sayang sepenuh hati.

Adik, keluarga besar, dan sahabat yang telah memberi support untuk menyelesaikan penulisan skripsi ini.

SANWACANA

Alhamdulillah, Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala nikmat dan karunia serta hidayah-Nya yang selalu memberikan kesempatan dan kemampuan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi berjudul “Perubahan Ketersediaan Cu, Zn, dan Ni pada Tanah 25 Tahun Pascaperlakuan Limbah Industri dengan Pemberian *Biochar* Tandan Kosong Kelapa Sawit” secara baik sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sajarna Pertanian dari Universitas Lampung.

Selama penelitian dan penulisan skripsi ini, penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Bapak Ir. Hery Novpriansyah, M.S., selaku Ketua Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc., Ph.D., selaku pembimbing pertama yang telah membimbing dan meluangkan banyak waktunya dalam memberikan ide, saran, arahan, nasihat dan motivasi dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi, termasuk pendanaan untuk analisis logam berat.
4. Ibu Dr. Supriatin, S.P., M.Sc., selaku pembimbing kedua yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan, saran, kritik, nasihat dan motivasi dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi.

5. Bapak Dr. Ir. Henrie Buchari, M. Si. dan Ir. Hery Novpriansyah, M.Si., selaku penguji bukan pembimbing yang telah berperan dalam perbaikan penulisan skripsi melalui saran, kritik dan dukungan kepada penulis.
6. Bapak Ir. Sarno, M.S. dan Prof. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc., Ph.D., selaku pembimbing akademik yang telah banyak membantu, memberi saran, dan nasehat berbagai hal akademik.
7. Bapak dan Ibu dosen Universitas Lampung, dan secara khusus dosen Jurusan Ilmu Tanah, yang selama ini telah banyak membimbing dan memberi begitu banyak ilmu sehingga penulis dapat mencapai jenjang saat ini.
8. Seluruh staf dan karyawan Gedung Ilmu Tanah atas bantuannya dan kemudahan-kemudahan yang diberikan, semoga semua itu bernilai ibadah dan dapat menjadi amal jariyah.
9. Kedua orang tuaku tercinta, Ayah Abdullah dan Ibu Aidawati yang telah memberikan penulis semangat, motivasi, kasih sayang, pengorbanan, dan doa di sepanjang hidup penulis tanpa pernah mengeluh.
10. Adikku tercinta Eva Rahmawati yang telah memberikan perhatian, semangat dan doa yang tulus kepada penulis.
11. Nenekku tercinta Hj. Incik Saodah dan Masni yang telah memberikan kasih sayang, semangat, motivasi, dan doa di sepanjang hidup penulis tanpa pernah mengeluh.
12. Paman saya Prof. Dr. Ir. Wan Abbas Zakaria, M.S., yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran, kritik, motivasi dan memberikan begitu banyak ilmu terhadap diri penulis pribadi.
13. Keluarga besarku yang selalu menantikan kelulusanku dengan memberi dukungan, mendoakan, semangat, dan motivasi.
14. Jaka Setiawan yang selalu memberikan dukungan, semangat, perhatian, nasehat, motivasi, dan doa kepada penulis.
15. Vina Sheisya Hasan sebagai teman seperjuangan dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi, yang selalu memberikan dukungan, nasehat, kerjasama, kritik, saran kepada penulis.
16. Sahabat-sahabatku Siti Maysaroh, Nova Kurnia Ramadina, Kharisma Rahmawati, Rina Maryani, Lutfia Ananda Syahputri, Rizky Rahmantika,

yang telah memberikan doa, dukungan, motivasi, nasehat, kritik dan saran, serta memberikan pelajaran dan pengalaman yang berharga.

17. Seluruh teman-teman Angkatan 2020 Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung atas kepedulian, bantuan, dan rasa kekeluargaan selama ini.
18. Semua pihak yang telah berjasa dan terlibat dalam penyelesaian skripsi ini.
19. Yang terakhir, kepada diri saya sendiri Yanti Anggraini terimakasih sudah bertahan sampai sejauh ini. Terimakasih tetap berusaha untuk merayakan dirimu sendiri hingga sampai detik ini, walaupun sering kali merasa putus asa atas apa yang telah diusahakan belum tercapai. Namun terimakasih tetap menjadi manusia yang selalu berusaha dan tidak lelah untuk mencoba. Sesulit apapun proses penulisan skripsi ini kamu telah menyelesaikan sebaik dan semaksimal mungkin. Ini merupakan pencapaian yang patut dirayakan untuk diri sendiri. Berbahagialah selalu dimana pun berada, apapun kurang dan lebihmu mari merayakan diri sendiri.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Untuk itu penulis harapkan saran dan kritik yang bersifat membangun guna kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga penulisan skripsi ini memberikan manfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 08 Juli 2024

Yanti Anggraini

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Kerangka Pemikiran	3
1.5 Hipotesis	6
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pencemaran Tanah oleh Logam Berat	7
2.2 Teknik Menurunkan Ketersediaan Logam Berat	8
2.3 Pengaruh Aplikasi <i>Biochar</i> terhadap Logam Berat	10
BAB III. BAHAN DAN METODE	12
3.1 Waktu dan Tempat	12
3.2 Alat dan Bahan	12
3.3 Metode	13
3.4 Pelaksanaan Penelitian	15
3.4.1 Pembuatan <i>Biochar</i> Tandan kosong Kelapa Sawit	15

3.4.2 Pengambilan Sampel Tanah	17
3.4.3 Pengujian Awal Sampel Tanah	17
3.4.4 Pengaplikasian <i>Biochar</i>	17
3.4.5 Pengairan Sampel Tanah	18
3.4.6 Analisis Sampel Tanah di Laboratorium	18
3.4.7 Analisis Data	19
3.5 Peubah Pengamatan	19
3.5.1 Peubah Utama	19
3.5.2 Peubah Pendukung	20
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Perubahan Ketersediaan Cu, Zn, dan Ni pada Tanah Tercemar Limbah Industri Berlogam Berat Akibat Pemberian <i>Biochar</i> Tandan Kosong Kelapa Sawit	22
4.2 Perubahan pH dan C-Organik pada Tanah Tercemar Limbah Industri Logam Berat Akibat Pemberian <i>Biochar</i> Tandan Kosong Kelapa Sawit	27
4.3 Korelasi antara Ketersediaan Cu, Zn, dan Ni pada Tanah Tercemar Limbah Industri Logam Berat Akibat Pemberian <i>Biochar</i> Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan pH dan Kandungan C-Organik Tanah	29
BAB V. SIMPULAN DAN SARAN	32
5.1 Simpulan	32
5.2 Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	39

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Contoh Tanah untuk Percobaan	13
2. Ketersediaan Cu, Zn, Ni, pH dan C-Organik sampel awal tanah tercemar logam berat	22
3. Batas maksimum yang diizinkan untuk logam berat tersedia dalam tanah menurut WHO (1996).	23
4. Persentase peningkatan atau penurunan ketersediaan Cu, Zn, Ni, pH, dan C-Organik tanah tercemar logam berat	24
5. Pengaruh biochar terhadap ketersediaan Cu, Zn, dan Ni tanah tercemar logam berat	25
6. Persentase peningkatan atau penurunan ketersediaan Cu, Zn, dan Ni tanah	26
7. Pengaruh biochar terhadap pH dan C-Organik tanah	28
8. Persentase peningkatan atau penurunan pH dan kandungan C-Organik tanah	29
9. Korelasi antara ketersediaan Cu, Zn, dan Ni dengan pH dan kandungan C-Organik tanah	30
10. Pengaruh pemberian <i>biochar</i> terhadap ketersediaan Cu, Zn, dan Ni pada tanah tercemar logam berat	40
11. Pengaruh pemberian biochar terhadap pH dan C-Organik tanah tercemar logam berat	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran penelitian perubahan ketersediaan Cu, Zn, dan Ni pada tanah 25 tahun pascaperlakuan limbah industri dengan pemberian <i>biochar</i> tankos kelapa sawit	6
2. Denah Tata letak percobaan aplikasi limbah industri pada bulan Juli 1998 Sidosari, Kecamatan Natar, Lampung Selatan	14
3. Tata letak percobaan Rancangan Acak Lengkap (RAL) di dalam rumah kaca Perguruan Tinggi Al-Madani Raja Basa, Bandar Lampung	15
4. Pembuatan <i>Biochar</i> menggunakan Cerobong dari kawat kasa dalam pembuatan <i>biochar</i> tandan kosong kelapa sawit	16
5. Pengairan pot percobaan dengan menggunakan cara kapiler	18
6. Analisis <i>Simple Linear Regression</i> antara ketersediaan Cu dan pH	42
7. Analisis <i>Simple Linear Regression</i> antara ketersediaan Cu dan C-Organik	43
8. Analisis <i>Multiple Linear Regression</i> antara ketersediaan Cu dengan pH dan C-Organik	44
9. Analisis <i>Simple Linear Regression</i> antara ketersediaan Zn dan pH	45
10. Analisis <i>Simple Linear Regression</i> antara ketersediaan Zn dan C-Organik	46
11. Analisis <i>Multiple Linear Regression</i> antara ketersediaan Zn dengan pH dan C-Organik	47
12. Analisis <i>Simple Linear Regression</i> antara ketersediaan Ni dan pH	48

13.	Analisis Simple Linear Regression antara ketersediaan Ni dan C-Organik	49
14.	Analisis <i>Multiple Linear Regression</i> antara ketersediaan Ni dengan pH dan C-Organik	50

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran lingkungan merupakan salah satu isu yang paling menonjol saat ini, seiring dengan peningkatan jumlah pabrik-pabrik yang bertujuan memenuhi kebutuhan penduduk yang semakin hari terus bertambah. Pabrik - pabrik tersebut menghasilkan limbah yang cukup besar, dan bila tidak dikelola dengan baik dan bertanggung jawab akan memberikan efek negatif kepada lingkungan atau pencemaran lingkungan (Zhang dkk., 2013).

Pencemaran lingkungan antara lain adalah pencemaran tanah yang disebabkan oleh logam berat yang berasal dari limbah industri. Sumber pencemaran logam berat berasal dari aktivitas manusia yang dapat menghasilkan limbah, yaitu salah satunya limbah industri dari berbagai pabrik. Industri tersebut menggunakan bahan baku yang mengandung logam berat dalam proses produksinya, sehingga limbah yang dihasilkan mengandung unsur-unsur logam berat sama dengan bahan bakunya (Purwani, 2019). Logam berat juga berasal dari penyusun batuan alami, yang dibebaskan melalui proses pelapukan masuk ke tanah dan sedimen dasar (Omwene dkk., 2018).

Logam berat dianggap sebagai kontaminan yang penting di lingkungan bila konsentrasinya melebihi konsentrasi alami (Bing dkk., 2016). Beberapa dari logam berat bersifat racun terhadap organisme hidup bahkan pada konsentrasi yang rendah sekalipun, beberapa di antaranya penting secara biologis namun menjadi racun pada konsentrasi yang relatif tinggi (Duruibe dkk., 2007). Logam

berat menimbulkan masalah serius bagi pencemaran lingkungan karena toksisitas, daya tahan, dan potensi bioakumulasinya (Islam dkk., 2015).

Sebagai contoh, residu Cu dan Zn berubah selama 20 tahun setelah perlakuan limbah industri. Konsentrasi Cu dan Zn di dalam tanah secara umum meningkat dengan penambahan limbah industri, seperti dari hasil penelitian sebelumnya. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa terdapat peningkatan yang signifikan dalam konsentrasi ketersediaan Cu dan Zn di dalam tanah selama 20 tahun setelah perlakuan pada tahun 1998 dengan pengecualian Zn pada 20 tahun. Dilaporkan bahwa kompos organik dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi tanah terhadap logam berat terutama setelah perlakuan, tetapi tidak mempengaruhi retensi Cu dan Zn dalam waktu yang lama. Namun, apabila dikombinasikan dengan perlakuan limbah, kapur dan kompos organik menunjukkan menurunkan secara signifikan konsentrasi Cu dan Zn di dalam tanah pada 3 dan 10 tahun setelah perlakuan (Salam, Pakpahan, dkk., 2021).

Permasalahan logam berat di dalam tanah harus diatasi dengan baik berbasis hasil penelitian. Perkembangan terbaru penanganan tanah yang tercemar logam berat adalah dengan menggunakan *biochar*. *Biochar* merupakan biomassa organik yang mengalami proses termolisis dan dapat dibuat dengan cara yang sederhana dan dapat dikembangkan untuk mengatasi permasalahan lingkungan tercemar hingga level terendah seperti pada petani. *Biochar* memiliki area permukaan yang luas, dan kapasitas yang tinggi untuk menyerap logam berat sehingga dapat berpotensi digunakan untuk mengurangi bioavailabilitas dan pencucian logam berat dan juga polutan organik dalam tanah melalui adsorpsi dan reaksi fisikokimia lainnya (Park, 2011). *Biochar* biasanya merupakan bahan basa yang dapat meningkatkan pH tanah dan berkontribusi terhadap stabilisasi logam berat. Aplikasi *biochar* untuk perbaikan tanah yang tercemar dapat memberikan solusi yang baik untuk masalah polusi tanah.

Pemanfaatan dan penganeekaragaman manfaat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) perlu dilakukan sebagai langkah penanganan sekaligus memberi nilai

tambah (*added value*) TKKS dalam mengatasi permasalahan limbah TKKS secara efektif dan berdaya guna menjadi *biochar*. *Biochar* (biomassa *charcoal*) adalah hasil pembakaran biomassa limbah secara parsial melalui proses pirolisis atau gasifikasi menjadi arang hayati berpori. *Biochar* merupakan bahan yang dihasilkan melalui proses pembakaran biomasa yang tidak lengkap tidak sampai menjadi abu (Rauf dkk., 2020).

Oleh karena itu, kehadiran *biochar* dapat mengakibatkan perubahan kimia tanah khususnya ketersediaan logam berat di dalam tanah. Penelitian ini ditujukan untuk mempelajari perubahan ketersediaan Cu, Zn, dan Ni dalam tanah tercemar logam berat yang diperlakukan dengan *biochar* asal tandan kosong kepala sawit.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, berikut ini adalah rumusan masalah penelitian ini, apakah perlakuan *biochar* tandan kosong kelapa sawit dapat menurunkan ketersediaan Cu, Zn dan Ni pada tanah 25 tahun pascaperlakuan limbah industri berlogam berat?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh perlakuan *biochar* tandan kosong kelapa sawit terhadap perubahan ketersediaan Cu, Zn dan Ni pada tanah 25 tahun pascaperlakuan limbah industri berlogam berat.

1.4 Kerangka Pemikiran

Akumulasi logam yang ada pada tanah dapat mengakibatkan penurunan populasi, aktivitas mikroba tanah, kesuburan tanah, kualitas tanah secara keseluruhan, dan

juga penurunan hasil serta masuknya bahan beracun ke rantai makanan. Tanah dan air merupakan dua komponen yang menjadi sasaran pencemaran. Bila tanah dan air tercemar logam berat maka logam berat akan masuk ke dalam rantai makanan dan membentuk jaring-jaring makanan dan akhirnya menuju kepada manusia sebagai konsumen universal sehingga menimbulkan berbagai macam penyakit pada manusia khususnya gangguan pada sistem syaraf (Sudarmaji, 2006).

Logam berat didefinisikan sebagai unsur dengan kerapatan atom relatif tinggi $> 6 \text{ g cm}^3$ atau berat jenis lebih 5 g/cm^3 (Salam dan Ginanjar, 2018). Logam berat terbagi menjadi 2 yaitu logam berat esensial dan logam berat non-esensial.

Logam berat esensial akan membahayakan apabila konsentrasinya tinggi akan tetapi tidak beracun jika kadarnya rendah. Sedangkan logam berat non-esensial adalah logam berat yang keberadaannya di dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya bahkan sampai bersifat toksik (Irhamni dkk., 2017). Logam berat dapat dibagi menjadi beberapa kelompok berdasarkan toksisitasnya, yaitu bersifat toksik tinggi yang terdiri dari unsur-unsur kadmium (Cd), timbal (Pb), merkuri (Hg), tembaga (Cu), dan seng (Zn); logam berat yang bersifat toksik sedang terdiri dari nikel (Ni), kromium (Cr), dan kobalt (Co); logam berat yang bersifat toksik rendah terdiri dari unsur-unsur mangan (Mn) dan besi (Fe) (Salam, 2017).

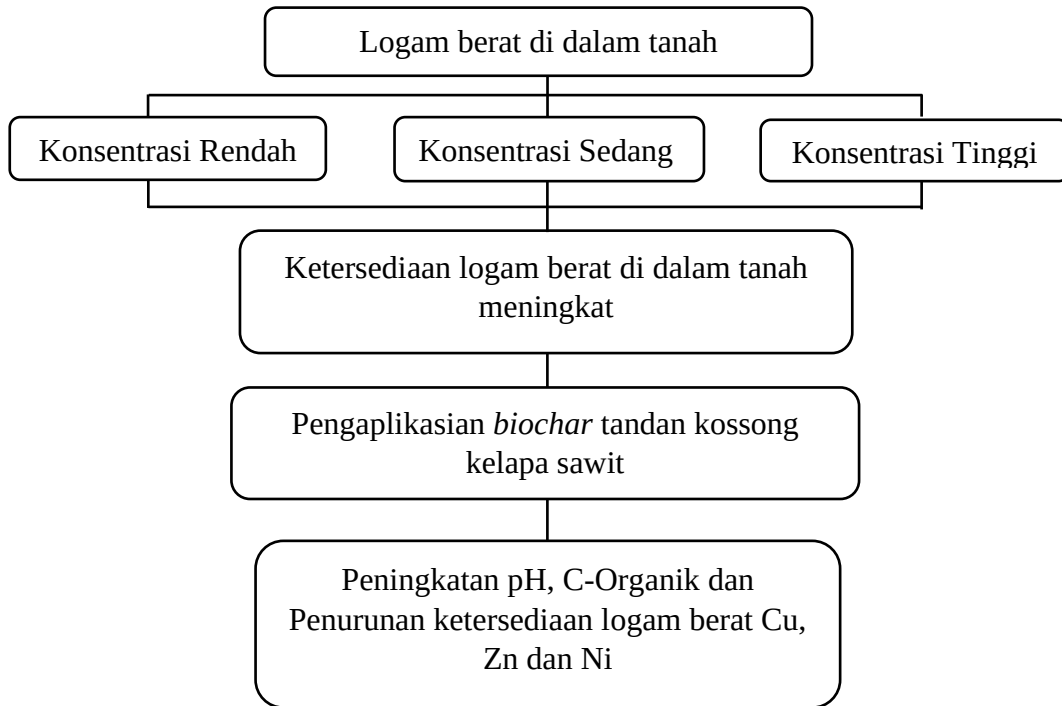
Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa konsentrasi Cu dan Zn menurun seiring dengan waktu pengambilan sampel tanah selama 20 tahun. Efek yang diharapkan dari kompos dan kapur dapat menurunkan konsentrasi Cu dan Zn yang telah diamati. Secara umum dengan beberapa pengecualian pada waktu pengambilan sampel tertentu, Cu dan Zn mengikuti urutan tinggi (kontrol atau tanpa kapur dan tanpa kompos), agak tinggi (dengan kompos dan tanpa kapur), sedang (tanpa kompos dengan kapur), rendah (dengan kompos dan dengan kapur). Kecenderungan ini semakin nyata hingga 3 tahun untuk Cu dan hingga 10 tahun setelah perlakuan untuk Zn. Secara umum, Cu dan Zn menurun selama 20 tahun, Cu menurun menjadi 17-53% dan Zn menurun menjadi 12-33% sehingga konsentrasinya secara umum lebih rendah akibat kapur dan kompos (Salam, Pakpahan, dkk., 2021).

Metode yang menjanjikan untuk menurunkan logam berat di dalam tanah adalah pemanfaatan *biochar*. *Biochar* sebagai bahan pembenah tanah banyak digunakan untuk mengatasi permasalahan pada tanah. *Biochar* memiliki kapasitas adsorpsi yang relatif tinggi terhadap kation logam, memiliki kemampuan untuk meningkatkan pH tanah secara signifikan, meningkatkan kapasitas tukar kation tanah, dan dapat menurunkan ketersediaan logam berat di dalam tanah (Salam dkk., 2022) (Gambar 1). Menurut Guo dkk. (2014), *biochar* juga dapat meningkatkan konsentrasi N-total dan P di tanah karena dapat mengurangi pencucian dan mampu menjerap unsur tersebut dalam tanah. Selain itu, pemberian *biochar* pada tanah juga mampu meningkatkan pertumbuhan serta serapan hara oleh tanaman (Satriawan dan Handyanto, 2015).

Potensi pengaplikasian *biochar* untuk menghilangkan daya toksisitas logam berat telah dilakukan oleh banyak peneliti diantaranya Fellet dkk. (2011) menyatakan bahwa pengaplikasian *biochar* yang berasal dari sampah kebun dapat menghilangkan daya toksisitas logam berat pada limbah tambang, hasil yang terjadi adalah peningkatan pH, kapasitas tukar kation, dan kapasitas daya pegang air seiring dengan peningkatan jumlah *biochar* yang diberikan dan terjadi penurunan bioavailabilitas Cd, Pb, Zn, dan Cu dalam jumlah yang signifikan. Jiang dkk. (2012) juga menyatakan bahwa pengaplikasian *biochar* jerami padi dapat mengurangi mobilitas radikal Pb, Cd pada tanah Ultisol yang ber-pH rendah dan penyerapan non-elektrostatik sangat berperan pada jenis *biochar* ini.

Mekanisme penjerapan logam berat oleh *biochar* dilakukan oleh kompleksasi dengan gugus fungsional, pertukaran kation, dan presipitasi (Li dkk., 2017). Penelitian Aryo Sasmita, dkk (2021) menunjukkan bahwa terdapat gugus fungsional karboksil ($-\text{COOH}$), hidroksil ($-\text{OH}$), dan fenolik ($-\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) yang terdapat pada *biochar*. Atom hidrogen pada gugus karboksil ($-\text{COOH}$), hidroksil ($-\text{OH}$), dan fenolik ($-\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) terlepas sebagai ion H^+ atau mengalami deprotonasi. Gugus karboksil ($-\text{COO}^-$), hidroksil ($-\text{O}^-$), dan fenolik ($-\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-$) dapat membentuk kompleks dengan ion logam. Proses tersebut merupakan hasil dari gaya tarik intermolekuler antara molekul padatan dan substansi yang

diadsorpsi. Logam berat tidak menembus ke dalam kisi-kisi kristal *biochar* serta tidak melarut di dalamnya, tetapi sepenuhnya berada pada permukaan *biochar* (Hidayat dan Damris, 2019).



Gambar 1. Kerangka pemikiran penelitian perubahan ketersediaan Cu, Zn, dan Ni pada tanah 25 tahun pascaperlakuan limbah industri dengan pemberian *biochar* tandan kosong kelapa sawit.

1.5 Hipotesis

Berdasarkan kerangka pemikiran yang telah disusun maka didapat hipotesis yaitu terjadi penurunan ketersediaan Cu, Zn dan Ni pada tanah 25 tahun pascaperlakuan limbah industri berlogam berat akibat penambahan *biochar* tandan kosong kelapa sawit.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Tanah oleh Logam Berat

Pencemaran logam berat pada tanah dan lingkungan masih menjadi masalah utama karena keberadaan logam berat secara langsung dan tidak langsung dapat membahayakan makhluk hidup (Singh dkk., 2016). Logam berat di dalam tanah terdapat dalam berbagai bentuk, termasuk logam berat terlarut, logam berat teradsorpsi dan logam berat struktural dalam mineral tanah dan organik (Salam, Milanti, dkk., 2021). Toksisitas yang sangat berbahaya pada umumnya berasal dari limbah industri, terutama berkaitan dengan logam berat dalam proses produksi berbagai industri modern (Palar, 2004).

Perkembangan teknologi dan meningkatnya berbagai aktivitas manusia di dalam bidang industri maupun rumah tangga dapat menghasilkan limbah yang berbahaya bagi kehidupan, yang salah satunya adalah limbah industri berlogam berat yang dapat mencemari tanah. Logam asal limbah akan masuk ke dalam tanah dan dapat membahayakan kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya (Adila, dkk., 2014 dan Widaningrum, dkk., 2007). Akumulasi logam berat di dalam tanah dapat menyebabkan penurunan populasi dan aktivitas mikroba tanah, kesuburan tanah, kualitas tanah secara keseluruhan, menurunkan hasil tanaman, serta menyebabkan masuknya bahan beracun ke dalam rantai makanan (Silva dkk., 2021).

Kelebihan dari logam berat di dalam tanah bukan sekadar meracuni organisme dan tanaman saja, tetapi akan berdampak juga pada pencemaran lingkungan secara luas. Di dalam tanah sebenarnya terdapat pula logam berat seperti Zn, Cu, Fe, Mn, Mo yang merupakan unsur hara mikro esensial bagi tanaman, tetapi bila jumlahnya terlalu besar logam-logam ini juga akan menjadi racun bagi tanaman. Adanya racun di dalam tanah diakibatkan oleh adanya logam berat yang telah terakumulasi dan telah melebihi batas kritis dalam tanah (Salam, 2017).

2.2 Teknik Menurunkan Ketersediaan Logam Berat

Logam berat yang terakumulasi di dalam tanah dapat menurunkan kualitas tanah baik secara biologi, kimia maupun fisika. Komunitas mikroorganisme dapat hilang atau berubah kualitasnya karena ekologi tanah sebagai tempat hidupnya telah tercemari logam berat, yang dapat menyebabkan keracunan. Berbagai proses biologi di dalam tanah yang dikatalisasi oleh mikroorganisme akan terganggu akibat pencemaran logam berat. Selain itu, logam berat akan mengakibatkan perubahan sifat kimia tanah yang berhubungan dengan penyediaan dan penyerapan unsur hara dari tanah ke tanaman. Novriansyah, dkk. (2001) menyatakan bahwa akumulasi logam berat dapat mengakibatkan unsur Cu dan Zn meningkat di dalam tanah. Unsur Cu dan Zn termasuk unsur hara esensial yang dibutuhkan tanaman tetapi apabila jumlahnya berlebih juga akan bersifat toksik. Kondisi ini perlu dimitigasi berdasarkan teknik yang didasarkan pada pemahaman kimia, fisika dan biologi tanah.

A. Teknik Fitoremediasi

Teknik fitoremediasi digunakan sebagai cara untuk menurunkan konsentrasi logam berat pada tanah yang terkontaminasi. Beberapa tanaman dinyatakan dapat menstabilkan logam berat pada akar tumbuhan disebut fitostabilizer dan sebagian besar mengangkut logam berat ke pucuk tumbuhan yang disebut *phytoextractors* (Rachman dkk., 2022). Metode fitoremediasi telah terbukti efisien untuk menurunkan dan menghilangkan berbagai jenis kontaminan baik di tanah maupun

air yang sudah tercemar, khususnya oleh logam berat (Yulyana dan Harmin, 2021).

Fitoremediasi sangat membantu untuk mengurangi risiko yang terkait dengan kontaminan logam berat melalui pemanfaatan tanaman hiperakumulator (Pinho dan Ladeiro, 2012). Spesies tanaman yang digunakan dalam fitoremediasi harus memiliki potensi pertumbuhan yang cepat dan bebas dari penyakit dan hama, harus mampu kompetitif terhadap spesies yang kurang diminati, harus dapat beradaptasi dengan kondisi tanah dan iklim setempat, serta harus dapat tumbuh di tanah yang tidak subur (Salam dkk., 2021). Beberapa tanaman yang dapat digunakan dalam teknik fitoremediasi adalah bayam, kangkung, bunga matahari, buncis, kubis, brokoli, selada dan beberapa gulma seperti rumput gajah (Aini dkk., 2023).

B. Teknik Adsorpsi

Telah dilakukan beberapa cara alternatif untuk menghilangkan logam berat, salah satunya adalah menggunakan proses adsorpsi. Adsorpsi adalah proses molekul atau ion dalam cairan menyentuh dan menempel ke permukaan padatan. Berbagai macam zat dapat digunakan sebagai adsorben untuk proses adsorpsi (Pratiwi and Prinajati, 2018). Metode adsorpsi ini memiliki beberapa kelebihan antara lain adalah pada cara pengolahannya relatif sederhana, efisiensinya relatif tinggi, efektif dan tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan (Hossain dkk., 2012).

Adsorpsi dapat dibagi menjadi dua proses yaitu adsorpsi secara fisika dan adsorpsi secara kimia. *Van der Waals* merupakan proses adsorpsi secara fisika yang bersifat dapat bolak-balik. Ketika ada kemampuan daya tarik-menarik antara adsorben dan zat terlarut yang lebih besar dengan pelarut tersebut akan diadsorpsi di permukaan. Adsorpsi secara kimia yaitu berlangsungnya ikatan antara zat terlarut dan zat padat yang telah teradsorpsi, (Mufrodi dkk., 2008). Berbagai adsorben tersedia dalam lingkungan, di antaranya adalah *biochar*, yang memiliki kapasitas jerap tinggi dan dapat meningkatkan pH tanah sehingga akan

sangat efisien dalam menurunkan ketersediaan logam berat pencemar dalam tanah.

C. Bahan Organik

Penambahan bahan organik ke dalam tanah tercemar logam berat dinyatakan secara signifikan menurunkan logam berat di dalam tanah, salah satunya adalah penambahan kompos organik. Efek kompos organik lebih signifikan bila ditambahkan bersamaan dengan bahan potensial lainnya, contohnya adalah menambahkan kompos dan kapur. Penambahan kompos dan kapur terbukti lebih baik dalam menurunkan logam berat di dalam tanah (Singh dkk., 2016).

Pemberian bahan organik juga memiliki beberapa kelemahan, yaitu salah satunya adalah bahan organik rentan terhadap proses pembusukan. Kandungan C yang dimiliki bahan organik tanah dapat menurun seiring berjalannya waktu melalui proses dekomposisi. Hal tersebut dapat mengurangi jumlah muatan negatif yang penting untuk retensi logam berat di lingkungan (Salam, 2017). Salah satu upaya untuk mengatasi kelemahan dari pemberian bahan organik yang terkait dengan dekomposisi yang relatif cepat yaitu dengan menggunakan bahan yang lebih tahan di lingkungan tanah. Upaya tersebut adalah pemanfaatan *biochar* yang telah terbukti dapat menyerap beberapa zat, seperti logam berat (Buss dkk., 2012).

2.3 Pengaruh Aplikasi *Biochar* terhadap Logam Berat

Pemanfaatan *biochar* sebagai bahan pembenah tanah telah banyak dilakukan khususnya dalam memperbaiki aspek fisika tanah, karena sifatnya yang porous sehingga dapat meningkatkan porositas dan kadar air tanah sehingga kondisi tanah menjadi cocok untuk aktivitas mikroba dan biota tanah. Lebih lanjut Ichriani dkk. (2018) menyatakan penambahan *biochar* ke dalam media tanah mampu menekan Al dan Fe larut serta meningkatkan bahan organik tanah. Aplikasi *biochar* diharapkan dapat memperbaiki sifat fisika seperti struktur tanah, daya simpan air, dan aerasi tanah, biologi dan kimia tanah.

Pemanfaatan *biochar* secara kimia pada tanah terkontaminasi adalah untuk menghilangkan keaktifan ion-ion logam berat, sehingga ion-ion ini tidak masuk ke dalam sistem rantai makanan pada manusia dan tidak membahayakan karena akan segera tercuci dan mengendap. Hal ini sangat berhubungan dengan kualitas *biochar* yang dihasilkan. *Biochar* yang diproduksi dengan suhu yang tinggi (≥ 600 °C) umumnya memiliki luas permukaan yang tinggi yang baik untuk penyerapan secara fisika, tetapi mempunyai sedikit gugus fungsional dan kandungan hara yang rendah, tetapi sebaliknya *biochar* yang dibentuk dengan suhu 400-500 °C memiliki gugus fungsional yang beragam dan relatif mengandung banyak hara (Zhang dkk., 2013).

Biochar memiliki kemampuan menstabilkan logam berat pada tanah yang tercemar dengan menurunkan secara nyata penyerapan logam berat oleh tanaman dan dapat meningkatkan kualitasnya dengan memperbaiki sifat-sifat fisika, kimia dan biologi tanah (Ippolito dkk., 2012; Komarek dkk., 2013). Uchimiya dkk. (2010) menyatakan bahwa aplikasi *biochar* dapat meningkatkan pH tanah dan kapasitas tukar kation, dan kemudian meningkatkan imobilisasi logam berat dalam tanah. Oleh karena itu, penerapan *biochar* berpotensi untuk dapat memberikan solusi yang baik untuk perbaikan dari tanah yang tercemar oleh logam berat, (Lu dkk., 2012).

BAB III. BAHAN DAN METODE

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2023 – Maret 2024 di rumah plastik Perguruan Tinggi Al-Madani Raja Basa, Bandar Lampung. Contoh tanah diambil dari petak percobaan yang terletak di Sidosari, Kecamatan Natar, Lampung Selatan. Analisis tanah dilaksanakan di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Analisis logam berat dilakukan di Laboratorium Departemen Ilmu Tanah Institut Pertanian Bogor.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah ayakan 2 mm, botol film, botol kocok, labu erlenmeyer, *Flame Atomic Absorption Spectrophotometry* (Flame AAS), gelas beaker, gelas ukur, kertas label, kertas watman No. 42, labu ukur, pH meter, neraca analitik, alat pengocok, spatula dan alat tulis.

Sedangkan bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel tanah tercemar logam berat yang berasal dari Sidosari Kecamatan Natar Lampung Selatan, 1N HNO₃, K₂CrO₇, aquades, *biochar* yang berasal dari tandan kosong kelapa sawit dan larutan standar Cu, Zn dan Ni.

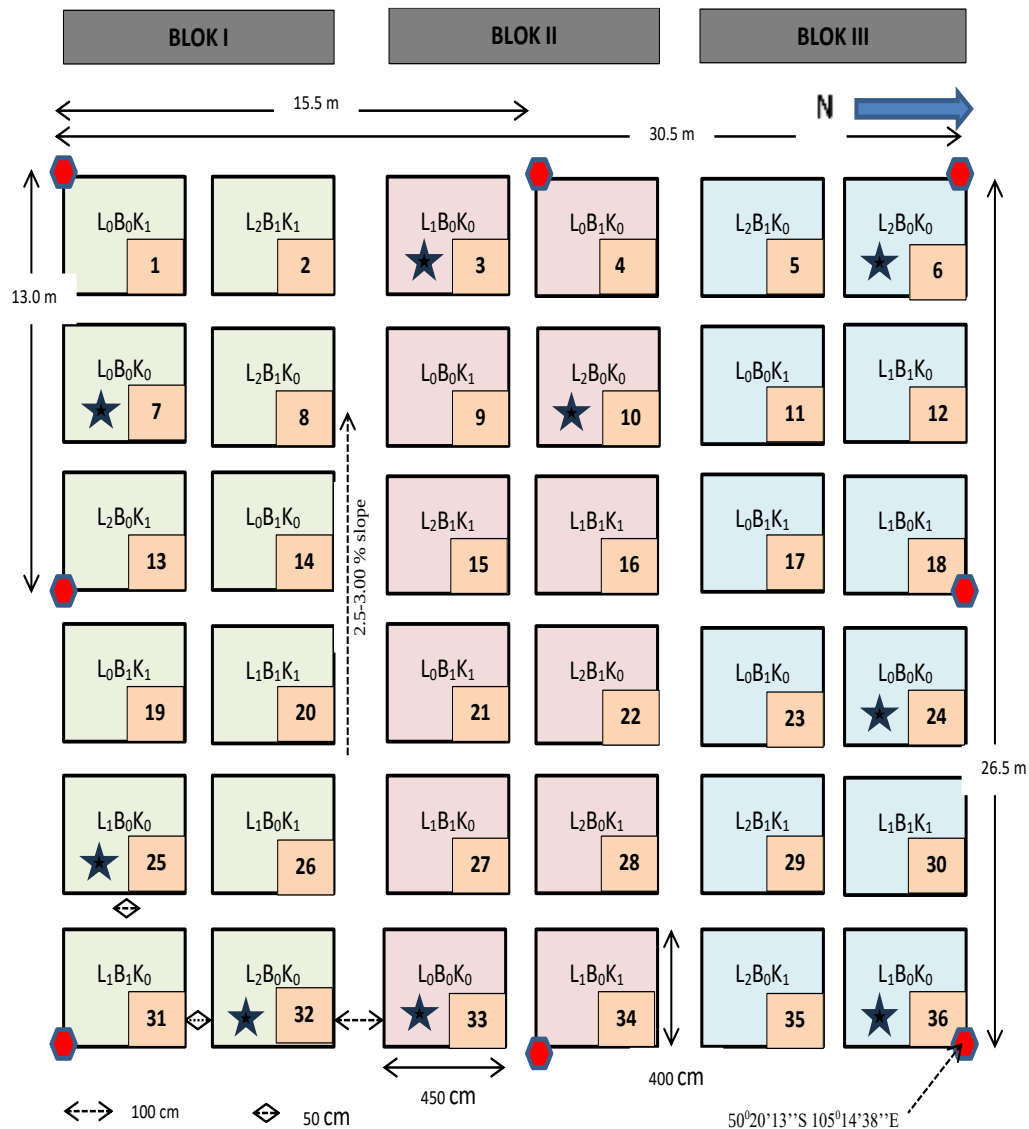
3.3 Metode

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan menggunakan dua faktor dan tiga ulangan. Faktor pertama adalah tingkat cemaran logam berat dalam contoh tanah yang diberi perlakuan limbah industri 25 tahun yang lalu dengan tiga taraf yaitu, $S_0 = 0 \text{ Mg ha}^{-1}$, $S_1 = 15 \text{ Mg ha}^{-1}$, $S_2 = 60 \text{ Mg ha}^{-1}$, yang diambil dari petak percobaan pada Gambar 2. Faktor kedua yaitu perlakuan *biochar* tandan kosong kelapa sawit, yaitu $B_0 = 0 \text{ Mg ha}^{-1}$, $B_1 = 5 \text{ Mg ha}^{-1}$, $B_2 = 10 \text{ Mg ha}^{-1}$. Contoh tanah disajikan pada Tabel 1.

Semua faktor dikombinasikan 3×3 (3 perlakuan limbah industri dan 3 perlakuan aplikasi *biochar* tandan kosong kelapa sawit) sehingga terdapat 9 satuan perlakuan. Setiap perlakuan diulang sebanyak 3 kali sehingga menjadi 27 satuan percobaan dengan tata letak satuan pada Gambar 3.

Tabel 1. Contoh tanah untuk percobaan.

Contoh Tanah	Perlakuan 1998 (Gambar 2)		
	Limbah (L)	Kompos (B)	Kapur (K)
	 Mg ha^{-1}		
S_0	0	0	0
S_1	15	0	0
S_3	60	0	0



Gambar 2. Denah Tata letak percobaan aplikasi limbah industri pada bulan Juli 1998 Sidosari, Kecamatan Natar, Lampung Selatan. (L = Limbah Industri, L₀ = 0, L₁ = 15, L₂ = 60 Mg ha⁻¹, B = Kompos Daun Singkong, B₀ = 0 Mg ha⁻¹, B₁ = 5 Mg ha⁻¹, K = Kapur, K₀ = 0 Mg ha⁻¹, K₁ = 5 Mg ha⁻¹). ★ = Petak percobaan untuk pengambilan sampel tanah.

$S_1B_2U_1$	$S_0B_1U_2$	$S_2B_2U_3$
$S_0B_1U_3$	$S_2B_2U_2$	$S_0B_0U_2$
$S_0B_2U_3$	$S_0B_0U_3$	$S_2B_1U_1$
$S_1B_2U_2$	$S_2B_1U_3$	$S_0B_1U_1$
$S_2B_0U_3$	$S_1B_1U_2$	$S_1B_1U_3$
$S_1B_0U_3$	$S_2B_0U_1$	$S_2B_0U_2$
$S_1B_1U_1$	$S_0B_2U_2$	$S_1B_0U_2$
$S_1B_0U_1$	$S_2B_1U_2$	$S_2B_2U_1$
$S_1B_2U_3$	$S_0B_0U_1$	$S_0B_2U_1$

Keterangan:

S_0 = Tanpa limbah industri

S_1 = 15 Mg ha⁻¹ limbah industri

S_2 = 60 Mg ha⁻¹ limbah industri

B_0 = Tanpa aplikasi *biochar*

B_1 = 5 Mg ha⁻¹ aplikasi *biochar*

B_2 = 10 Mg ha⁻¹ aplikasi *biochar*

U_1 = Ulangan 1

U_2 = Ulangan 2

U_3 = Ulangan 3

Gambar 3. Tata letak percobaan Rancangan Acak Lengkap (RAL) di dalam rumah plastik Perguruan Tinggi Al-Madani Raja Basa, Bandar Lampung.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Pembuatan *Biochar* Tandan Kosong Kelapa Sawit

Pembuatan *biochar* tandan kosong kelapa sawit dilakukan di Laboratorium Lapang Terpadu, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Bahan baku pembuatan *biochar* adalah tandan kosong kelapa sawit yang telah dikeringkan dan dipotong menjadi beberapa bagian. Tandan kosong kelapa sawit dihancurkan terlebih dahulu menggunakan alat rabakong. Pembuatan *biochar* tandan kosong kelapa sawit dilakukan dengan cara tradisional menggunakan alat berupa

gulungan kawat kasa dengan ukuran lubang 1 cm x 1 cm, tinggi 1,5 m dan lingkaran diameter 20-30 cm. Cerobong kawat kasa diletakkan di atas tanah kemudian di sekelilingnya ditimbunkan tandan kosong kelapa sawit yang telah di cacah sehingga kawat kasa berada di tengah-tengah timbunan tandan kosong kelapa sawit. Masukkan bahan bakar seperti daun kering, kayu kering dan bambu kering ke dalam cerobong kawat kasa hingga setinggi 10-20 cm. Proses pembakaran *biochar* tandan kosong kelapa sawit dilakukan selama 3-4 jam. Usahakan agar api tetap menyala di tengah-tengah cerobong sampai tandan kosong kelapa sawit yang mengelilingi cerobong mulai nampak menghitam, kemudian segera lakukan penyiraman untuk mematikan bara. Ketika bara telah mati timbunan *biochar* tersebut dapat diratakan di permukaan tanah untuk dikeringkan (Gambar 4).



Gambar 4. Pembuatan *Biochar* menggunakan Cerobong dari kawat kasa dalam pembuatan *biochar* tandan kosong kelapa sawit.

3.4.2 Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan cara mengompositkan sampel tanah dari beberapa titik pengambilan dan perlakuan percobaan yang sudah tercemar logam berat dari 3 blok terdiri dari 9 petak satuan percobaan (Tabel 1). Sampel tanah diambil dari petak percobaan yang berukuran 4,5 m x 4 m jarak dari antarpetak 0,5 m dan jarak antarkelompok 1 m. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada 5 titik yang berbeda pada setiap petak percobaan dengan kedalaman 0-20 cm dari permukaan tanah. Seluruh sampel tanah dari petak perlakuan yang sama dari 3 blok disatukan, diaduk rata, dan dikeringanginkan sehingga terkumpul 3 contoh tanah komposit yaitu S_0 , S_1 , dan S_2 (Tabel 1). Setelah itu, sampel tanah dikeringkan dan dihaluskan tembus 2 mm. Selanjutnya, untuk keperluan percobaan kadar air tanah ditentukan secara gravimetrik. Untuk percobaan tanah ditimbang sebanyak 200 g (setara berat kering oven 105 °C) per satuan percobaan.

3.4.3 Pengujian Awal Sampel Tanah

Pengujian awal sampel tanah merupakan tahap awal untuk mengetahui kandungan logam berat Cu, Zn dan Ni serta pH, C-Organik pada tanah. Pengujian awal sampel tanah ini akan dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

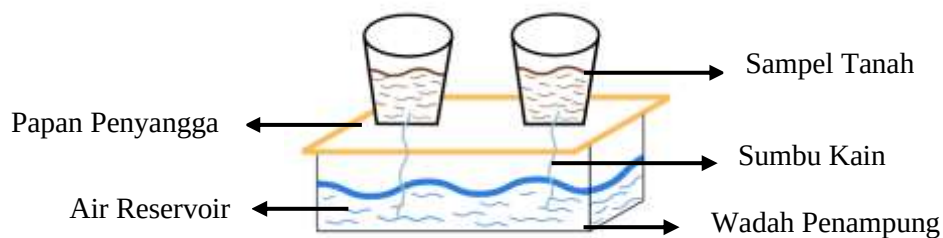
3.4.4 Pengaplikasian *Biochar*

Biochar tandan kosong kelapa sawit diaplikasikan pada tiap pot plastik (Gambar 3). Pengaplikasian *biochar* dengan berbagai dosis, yaitu $B_0 = 0 \text{ Mg ha}^{-1}$, $B_1 = 5 \text{ Mg ha}^{-1}$, $B_2 = 10 \text{ Mg ha}^{-1}$ dengan demikian, per satu pot plastik (200 g tanah) diaplikasikan *biochar* sebanyak $B_0 = 0 \text{ g/ 200 g tanah}$, $B_1 = 0,2 \text{ g/ 200 g tanah}$, $B_2 = 1 \text{ g/ 200 g tanah}$ ke dalam tanah yang sudah tercemar logam berat (Gambar 3).

Pengaplikasian *biochar* tersebut dengan cara dicampurkan dengan sampel tanah yang telah tercemar oleh limbah industri sebanyak 200 g setara Berat Kering Oven (BKO 105 °C). Sampel tanah dan *biochar* tankos kelapa sawit yang telah dicampur hingga merata di atas lembaran plastik bersih sampai merata kemudian dimasukkan ke dalam pot plastik ukuran 500 g, dan ditambah air sampai kapasitas lapang secara kapiler seperti pada Gambar 5.

3.4.5 Pengairan Sampel Tanah

Pengairan sampel tanah yang dilakukan yaitu pembasahan secara kapiler. Pembasahan dilakukan dengan pemberian air sampai kapasitas lapang untuk setiap satuan percobaan. Kadar air kapasitas lapang ditetapkan dengan metode pengairan secara kapiler pada Gambar 5. Air dalam bak penampung dipelihara dan diperiksa setiap waktu untuk menjaga kapasitas lapang tanah. Campuran sampel tanah dan *biochar* dibiarkan dalam kondisi kadar air kapasitas lapang selama 4 pekan.



Gambar 5. Pengairan pot percobaan dengan menggunakan cara kapiler.

3.4.6 Analisis Sampel Tanah di Laboratorium

Di akhir percobaan (setelah 4 pekan), analisis sampel tanah dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung dan di Laboratorium Departemen Ilmu Tanah Institut Pertanian Bogor. Analisis sampel

tanah yang dilakukan meliputi ketersediaan Cu, Zn dan Ni dengan pengestrak 1N HNO₃ menggunakan *Flame Atomic Absorption Spectrophotometry* (Flame AAS). Sifat tanah lain yang dianalisis yaitu pH dengan menggunakan elektrode pH dan pengestrak air destilata dengan perbandingan tanah dan aquades 1:2 dan C-Organik dengan menggunakan metode *Walkley and Black*.

3.4.7 Analisis Data

Perbedaan antarperlakuan dianalisis dengan menggunakan metode *Standard Error of The Mean* (SEM) dengan aplikasi *Excell*. Uji korelasi antara peubah utama dan peubah pendukung dilakukan dengan metode *Simple Linear Regression* dan *Multiple Linear Regression* pada taraf 5%.

3.5 Peubah Pengamatan

3.5.1 Peubah Utama

3.5.1.1 Pengukuran Ketersediaan Logam Berat Cu, Zn dan Ni dalam Tanah

Analisis ketersediaan logam berat Cu, Zn dan Ni dalam tanah dilakukan dengan menimbang 10 g contoh tanah dimasukkan ke dalam botol film kemudian ditambah 20 ml larutan pengestrak 1N HNO₃. Setelah dikocok selama 2 jam, fase cairan disaring menggunakan kertas *Whatman* No. 42. Konsentrasi Cu, Zn, dan Ni ditentukan dengan Menggunakan *Flame Atomic Absorption Spectrophotometry* (Flame AAS).

3.5.2 Peubah Pendukung

3.5.2.1 pH Tanah

Metode yang digunakan dalam pengukuran pH tanah yaitu dengan metode elektrode menggunakan pH-meter. Perbandingan tanah dan aquades 1:2. Tanah yang digunakan adalah tanah kering udara yang lolos ayakan 2 mm. Tanah ditimbang sebanyak 5 gr lalu dimasukkan ke dalam botol sampel. Kemudian ditambah dengan 10 ml air destilata (larutan pereaksi) dan dikocok selama 30 menit menggunakan mesin pengocok (*shaker*). Kemudian sampel didiamkan sebentar dan dilakukan pengukuran dengan pH-meter.

3.5.2.2 Kandungan C-Organik Tanah

Analisis C-organik dilakukan berdasarkan bahan organik yang mudah teroksidasi dengan metode *Walkley and Black* yaitu menimbang 0,5 gram tanah kering udara kemudian tempatkan dalam Erlenmeyer 250 ml, lalu ditambahkan 5 ml $K_2Cr_2O_7$ N dengan pipet sambil menggoyangkan erlenmeyer perlahan-lahan agar berlangsung pencampuran dengan tanah, kemudian ditambahkan 10 ml H_2SO_4 pekat dengan gelas ukur di ruang asam sambil digoyang cepat hingga tercampur rata, biarkan campuran tersebut di ruang asam selama 30 menit hingga dingin, diencerkan dengan 100 ml air destilata, ditambahkan 5 ml asam fosfat pekat, 2,5 ml larutan NaF 4% dan 5 tetes indikator difenil amin, selanjutnya dititrasi dengan larutan $((NH_4)_2Fe(SO_4)_2)$ 0,5 N hingga warna larutan berubah dari coklat kehijauan menjadi biru keruh. Lalu titrasi hingga mencapai titik akhir, yaitu saat warna berubah menjadi hijau terang dan penetapan blangko dilakukan sama seperti cara kerja di atas, tetapi tanpa menggunakan contoh tanah.

Perhitungan:

$$\% \text{ C-organik} = \frac{mL \text{ } K_2Cr_2O_7 \times (1 - \frac{V_S}{V_B})}{Berat \text{ Sampel Tanah (gram)}} \times 0,3886\%$$

$$\% \text{ Bahan Organik} = \% \text{ C-Organik} \times 1,724$$

Keterangan:

V_B = ml titrasi blanko

V_S = ml titrasi sampel

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan didapatkan simpulan bahwa:

1. Tanah dengan perlakuan limbah industri menunjukkan ketersediaan Cu, Zn, dan Ni yang lebih tinggi, ketersediaanya menurun dari S₂, S₁, dan S₀.
2. Perlakuan *biochar* tandan kosong kelapa sawit dapat menurunkan ketersediaan Cu dalam tanah pada taraf limbah industri 60 Mg ha⁻¹ dengan dosis *biochar* 5 Mg ha⁻¹ dan 10 Mg ha⁻¹, menurunkan ketersediaan Zn dalam tanah pada taraf limbah industri 60 Mg ha⁻¹ dengan dosis *biochar* 5 Mg ha⁻¹, menurunkan ketersediaan Ni dalam tanah pada taraf limbah industri 60 Mg ha⁻¹ dengan dosis *biochar* 5 Mg ha⁻¹.
3. Ketersediaan Cu, Zn dan Ni berkorelasi negatif dengan pH.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pemberian *biochar* terhadap perubahan ketersediaan logam berat di dalam tanah dengan dosis yang lebih tinggi dan waktu inkubasi yang lebih lama dari penelitian sebelumnya.

BAB IV. DAFTAR PUSTAKA

- Adhani R., Husaini. 2017. Logam Berat Sekitar Manusia. Lambung Mangkurat University Press. Banjarmasin. Hlm:140-141.
- Adila, M., T. Laz, dan E. Yunita. 2014. Kadar unsur Timbal pada Tanaman Kangkung di Tiga Pasar Tradisional Kecamatan Cilandak, Jakarta Selatan. *Jurnal Biologi*. 2 (7): 99-105.
- Aini, S. N., Silva, G., Buchari, H., & Salam, A. K. 2023. The Phytoremediation Potential of Several Plants in Heavy-Metal-Polluted Tropical Soils. *AIP Conference Proceedings*, 2583 (January).
- Akbar, R., Darman, S., & Hasanah, U. 2018. Kajian Aktivitas Hg Dalam Tanah dan Jaringan Tanaman Pada Tanah Tercemar Logam Merkuri Dengan Pemberian Bahan Organik Pada Kedalaman yang Berbeda. *Mitra Sains*, 50–60.
- Ali. S dan Rusman. AR. 2017. Kuat Tekan Material Dari Bahan Komposit Diperkuat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). *Jurnal Mekanova. Meulaboh*. Vol. 3/5 2017. ISSN: 2502-0498.
- Basaran, B. 2013. What makes manufacturing companies more desirous of recycling? Management of Environmental Quality. *An International Journal*. Vol. 24 (1): 107- 122.
- Bing, H., Zhou, J., Wu, Y., Wang, X., Sun, H., Li, R. 2016. Current state, sources, and potential risk of heavy metals in sediments of Three Gorges Reservoir Environ. *Pollut China*. Vol. 214: 485–496.
- Duruibe, J.O., Ogwuegbu, M.C., Egwurugwu, J.N. 2007. Heavy Metal Pollution and Human Biotoxic Effects. *International Journal of Physical Sciences*. Vol. 2: 112-118.

- Efficiency, P., Adamczyk-szabela, D., & Wolf, W. M. (2022). *The Impact of Soil pH on Heavy Metals Uptake and Photosynthesis Efficiency in Melissa officinalis, Taraxacum officinalis, Ocimum basilicum*.
- Febriana, W., Agroekoteknologi, P. S., Pertanian, F., Andalas, U., Studi, P., Tanah, I., Pertanian, F., & Andalas, U. (2023). *PERBAIKAN TANAH BEKAS TAMBANG EMAS MELALUI APLIKASI IMPROVEMENT OF EX-GOLDEN MINING SOIL THROUGH THE APPLICATION OF RUBBER LITTLE COMPOST AND BIOCHAR EMPTY OIL*. 4(1), 53–64.
- Fellet G, Marchiol L, Delle Vedove G, Peressotti A. 2011. Application of biochar on mine tailings: effects and perspectives for land reclamation. *Chemosphere* 83:1262–1297.
- Gaur, A., Adholeya. A. 2004. Prospects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soils. *Current Science*. Vol. 86: 528-523.
- Guo, S., Whalen, J.K., Thomas, B.W., Sachdeva, V. 2014. Physicochemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions. *Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment*. (206): 46-59.
- Hair, Jr., Joseph F., dkk. 2011. *Multivariate Data Analysis*. Fifth Edition. PrenticeHall, Inc. New Jersey. Hlm: 730.
- Hidayat, A. P., & Damris, D. 2019. Pengaruh Penambahan Biochar dari Batubara Lignite pada Tanah Bekas Penambangan Batubara Terhadap Konsentrasi Logam Kadmium (Cd) Terlarut Menggunakan Kolom Fixed Bed Sorption. *Jurnal Engineering*, 1(1), 1–16.
- Hidayat, W., Riniarti, M., Prasetya, H., Niswati, N., Hasanudin, U., Banuwa, I.S., Yoo, J., Kim, S., Lee, S. 2021. Characteristics of biochar produced from the harvesting wastes of meranti (*Shorea sp.*) and oil palm (*Elaeis guineensis*) empty fruit bunches. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 749: 012040.
- Hossain, M. A., Ngo, H. Hao, W. S. Guo and Nguyen, T. V. 2012. Removal of Copper from Water by Adsorption onto Banana Peel as Bioadsorbent. *Int. Journal of GEOMATE*. Vol. 2, No. 2 (Sl. No. 4), pp. 227-234
- Ichriani, G.I, Fahrumsyah dan Handayanto, E. 2018. Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Sumber Fungi Pelarut Fosfat Indigenus Dan Media Pembawa Fungi. *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah*. Vol. 3(1) 263-266.
- Irhamni, et al. 2017. Serapan Logam Berat Esensial dan Non Esensial pada Air Lindi TPA Kota Banda Aceh dalam Mewujudkan Pembangunan

- Berkelanjutan. *Jurnal Serambi Engineering*. Volume 2 No 3. ISSN:2528-3561.
- Ippolito JA, Laird DA, Busscher WJ. 2012. Environmental benefits of biochar. *Journal Environ Qual*. 41:967–972.
- Islam, S., Ahmed, K., Habibullah-Al-Mamun, M., Masunaga, S. 2015. Potential ecological risk of hazardous elements in different land-use urban soils of Bangladesh. *Sci. Total Environ*. Vol. 512–513: 94–102.
- Jaya, W.S., Baharudin, A.B., Mulyati. 2018. Pengaruh pemberian berbagai macam biochar dan dosis nitrogen terhadap pertumbuhan dan produksi kedelai (*Glycine max L. Merrill*). *Agrocrop*. 9(1): 60-70.
- Jiang J, Ren-kou Xua, Tian-yu Jiang, Zhuo Li. 2012. Immobilization of Cu(II), Pb(II) and Cd(II) by the addition of rice straw derived biochar to a simulated polluted Ultisol. *Journal of Hazardous Materials*. 229– 230 (2012) 145– 150.
- Li, H., X.Dong, E.B.daSilva, L.M. de Oliveira, Y.Chen, L.Q.Ma. 2017. Mechanisms of metal sorption by biochars: Biochar characteristics and modifications. *Chemosphere*. 178, 466–478.
- Lu H, Zhang YY, Huang X, Wang S, Qiu R. 2012. Relative distribution of Pb2 sorption mechanisms by sludge-derived biochar. *Wat Res*. 46:854–862.
- Mufrodi, Zahrul, Widiastuti, Nur, Kardika, Ranny Cintia. 2008. Adsorpsi Zat Warna Tekstil Dengan Menggunakan Abu Terbang (*Fly Ash*) Untuk Variasi Massa Adsorben Dan Suhu Operasi. *Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan*. ISBN: 978-979-3980-15-7.
- Novriansyah, H., D. C. Pramono, dan A. K. Salam. 2001. Ketersediaan Unsur Hara Makro dan Mikro pada Tanah Ultisol Sungkai Utara yang Diperlakukan Pupuk Berbahan Baku Limbah Industri Sendok Logam, Kapur dan Gambut. *Jurnal Tanah Tropikal*. 13 (1):1-58.
- Nurida, N.L. 2014. Potensi pemanfaatan biochar untuk rehabilitasi lahan kering di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan Edisi Khusus*. Hlm: 57-68.
- Ogundele, DT., AA, A., & OE, O. (2015). Heavy Metal Concentrations in Plants and Soil along Heavy Traffic Roads in North Central Nigeria. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 05(06), 6–10.
- Omwene, P. I., Oncel, M.S., Çelen, M., Kobya, M. 2018. Heavy metal pollution and spatial distribution in surface sediments of Mustafa Kemal Pasa stream located in the world's largest borate basin (Turkey). *Chemosphere*. Vol. 208: 782–792.

- Palar, S. 2004. *Toksikologi Logam Berat dan Pencemaran Lingkungan, Edisi ke2*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Park. J.H, Girish K. C, Nanthi S. B, Jae W C, Thammared C. 2011. Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant Soil*. Vol. 348:439–451.
- Pinho, S. and B. Ladeiro. 2012. Phytotoxicity by lead as heavy metal focuses on oxidative stress. *Journal Botany*. ID369572.
- Pratiwi, R., Prinajati, D.P.S. 2018. Adsorption for lead removal by chitosan from shrimp shells. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*. 2(1):35-46.
- Purwani, J. D. E. dan I. J. (2019). Pengaruh Pemupukan dan Pembenah Tanah Terhadap Populasi Bakteri Pada Lahan Sawah Bekas Tambang Timah Yang Ditanami Padi. *Balai Penelitian Tanah*, 53(9), 38–46.
- Putra, D. S dan A. Putra. 2014. Analisis Pencemaran Limbah Cair Kelapa Sawit Berdasarkan Kandungan Logam, Konduktivitas, TDS dan TSS. *Jurnal Fisika Unand*. Vol. 3 (2).
- Putri, V. I., Mukhlis, Hidayat, B. 2017. Pemberian beberapa jenis biochar untuk memperbaiki sifat kimia tanah ultisol dan pertumbuhan tanaman jagung. *Jurnal Agroekoteknologi*. Vol. 5(4): 824- 828.
- Rachman, F., Supriatin, S., Niswati, A., & Salam, A. K. 2022. Lime-Enhanced Phytoextraction of Copper and Zinc by Land Spinach (*Ipomoea reptans* Poir.) from Tropical Soils Contaminated with Heavy Metals. *AIP Conference Proceedings*. 2563(October).
- Rauf, A., Supriadi, Harahap, F. S.Wicaksono, M. 2020. Karakteristik Sifat Fisika Tanah Ultisol Akibat Pemberian Biochar Berbahan Baku Sisa Tanaman Kelapa Sawit. *Jurnal Solum*. Vol. 17(2), 21-28.
- Ridhuan, K., Irawan, D., Inthifawzi, R. 2019. Proses pembakaran pirolisis dengan jenis biomassa dan karakteristik asap cair yang dihasilkan. *TURBO*. Vol. 8(1): 69-78.
- Rumhayati. B. 2009. *Sedimen Perairan (Kajian Kimiawi, Penentuan, dan Peran)*. Universitas Bandung Press. Malang.
- Salam, A. K. 2012. *Ilmu Tanah Fundamental*. Global Madani Press. Bandar Lampung. 362 hlm.
- Salam, A. K. 2017. *Manajemen of heavy metals intropical soil and environment*. Global Madani Press. Lampung. 257 hlm.

- Salam, A. K., & Ginanjar, K. 2018. Tropical Soil Labile Fractions of Copper in the Experimental Plots $\pm$ Ten Years after Application of Copper-Containing-Waste. *Journal of Tropical Soils*. 23(1), 11–18.
- Salam, A. K., Hidayatullah, M. A., Supriatin, S., & Yusnaini, S. 2021. The phytoextraction of Cu and Zn by elephant grass (*Pennisetum purpureum*) from tropical soil 21 years after amendment with industrial waste containing heavy metals. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 637(1), 1–8.
- Salam, A. K., Milanti, M., Silva, G., Rachman, F., Santa, I. M. T. D., Rizki, D. O., Novpriansyah, H., & Sarno, S. 2021. The use of N HNO₃ to determine copper and zinc levels in heavy-metal polluted tropical soils. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 905(1).
- Salam, A. K., Rizki, D. O., Santa, I. T. D., Supriatin, S., Septiana, L. M., Sarno, S., & Niswati, A. 2022. The biochar-improved growth-characteristics of corn (*Zea mays* L.) in a 22-years old heavy-metal contaminated tropical soil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1034(1).
- Salmina. 2016. Studi pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit oleh masyarakat di Jorong Koto Sawah Nagari Ujung Gading Kecamatan Lembah Melintang. *Jurnal Spasial*. Vol. 3(2): 33-40.
- Sari, R., Maryam, & Yusmah, R. A. (2023). Penentuan C-Organik Pada Tanah Untuk Meningkatkan Produktivitas Tanaman Dan Keberlanjutan Umur Tanaman Dengan Metoda Spektrofotometri Uv Vis. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 12(1), 11–19.
- Sasmita, A., Elstia, S., dan Fajri, S. 2021. Penyisihan Logam Berat Pb pada Tanah dengan Penambahan Biochar Sekan Padi. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. 15(2): 256-278.
- Satriawan B. D., Handayanto, E. 2015. Effects of biochar and crop residues application on chemical properties of a degraded soil of South Malang, and P uptake by maize. *Journal of Degraded and Mining Lands*. 2(2): 271 - 281.
- Silva, G., Aini, S. N., Buchari, H., & Salam, A. K. (2021). The Phytoextraction of Copper from Tropical Soil 21 Years after Amendment with Heavy-Metal Containing Waste. *Journal of Tropical Soils*, 26(1), 11.
- Singh, J., Kumar, M., Sharma, A., Pandey, G., Chae, K., & Lee, S. (2016). We are IntechOpen , the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 %. *Intech*, 11(tourism), 13.

- Sudarmaji, J. Mukono, Corie. 2006. Toksikologi logam berat B3 dan dampaknya terhadap kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. Vol. 2, No. 2. 134-142.
- Uchimiya M, Lima IM, Klasson KT, Wartelle LH. 2010. Contaminant immobilization and nutrient release by biochar soil amendment: roles of natural organic matter. *Chemosphere*. 80:935–940.
- WHO. (1996). Permissible limits of heavy metals in soil and plants. (Geneva: World Health Organization), Switzerland.
- Widaningrum, Miskiyah, dan Suismono. 2007. Bahaya Kontaminasi Logam Berat dalam Sayuran dan Alternatif Pencegahan Cemarannya. *Buletin Teknologi Pasca Panen Pertanian*. 3: 16-27.
- Winarso, S. 2005. *Kesuburan Tanah*. Gava Media. Yogyakarta. 263 hlm.
- Xue, M., Li, J., dan Xu, Z. 2013. *Management strategies on the industrialization road of state-of-the-art technologies for e-waste recycling: the case study of electrostatic separation*. *Waste Management & Research*. Vol. 31 (2): 130- 140.
- Yulyana Suci Nursagita dan Harmin Sulistyaning. 2021. Kajian Fitoremediasi untuk Menurunkan Konsentrasi Logam Berat di Wilayah Pesisir Menggunakan Tumbuhan Mangrov (Studi Kasus: Pencemaran Merkuri di Teluk Jakarta). *Jurnal Teknik Its*. Vol. 10, No. 1, ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print).
- Zhang P, Sun H, Yu L, Sun T. 2013. Adsorption and catalytic hydrolysis of carbaryl and atrazine on pig manure-derived biochars: impact of structural properties of biochars. *Journal Hazard Mater*. 244– 245:217–224.
- Zheng W, Guo MX, Chow T, Bennett DN, Rajagopalan N. 2010. Sorption properties of greenwaste biochar for two triazine pesticides. *Journal Hazard Mater*. Vol. 181:121–126.