PENGARUH RESIDU LOGAM BERAT Cu DAN Zn ASAL LIMBAH INDUSTRI DI TANAH ULTISOL SIDOSARI 23 TAHUN PASCAPERLAKUAN TERHADAP PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI TANAMAN JAGUNG

(Skripsi)

Oleh

M. DHANY GALIH PERMADI
1814181002

FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023

ABSTRAK

PENGARUH RESIDU LOGAM BERAT Cu DAN Zn ASAL LIMBAH INDUSTRI DI TANAH ULTISOL SIDOSARI 23 TAHUN PASCAPERLAKUAN TERHADAP PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI TANAMAN JAGUNG

OLEH

M. DHANY GALIH PERMADI

Pencemaran tanah oleh logam berat telah menjadi masalah lingkungan. Sifat toksisitas dan karsinogenik yang tinggi pada logam berat seperti Cu dan Zn memiliki efek merugikan pada kesehatan manusia yang masuk ke dalam rantai makanan. Penurunan kelarutan dan ketersediaan logam berat di dalam tanah dapat dilakukan dengan pengapuran dan/atau pemberian bahan organik. Meskipun begitu, belum diketahui seberapa berpengaruhnya residu logam berat yang tertinggal di Lahan Sidosari, Natar, Lampung Selatan terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman. Riset harus terus dilakukan agar pengaruhnya masih dalam taraf aman. Tujuan dari penelitian ini untuk mempelajari pengaruh residu logam berat terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman jagung di tanah Ultisol 23 tahun setelah perlakuan limbah industri, kapur dan kompos daun singkong.

Penelitian ini dirancang dalam Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 3 faktor dan menggunakan 3 ulangan. Faktor ke-1 adalah limbah industri 0 Mg ha^{-1} (L_0), limbah 15 Mg ha^{-1} (L_1), dan limbah 60 Mg ha^{-1} (L_2). Faktor ke-2 adalah kompos daun singkong B_0 = 0 Mg ha^{-1}, B_1 = 5 Mg ha^{-1}. Faktor ke-3 adalah kapur ($CaCO_3$), K_0 = 0 Mg ha^{-1}, K_1 = 5 Mg ha^{-1}. Kombinasi faktor perlakuan ini berjumlah 12 satuan

percobaan dengan 3 ulangan sebagai kelompok sehingga diperoleh 36 satuan percobaan. Contoh tanah diambil sebelum dan sesudah tanam. Pengamatan tinggi tanaman diukur 6 kali pada umur 1, 2, 4, 6, 8 dan 10 pekan setelah tanam. Pengamatan produksi dilakukan terhadap bobot pipilan per petak dan bobot 100 butir.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terjadi perbedaan pH, Cu dan Zn tanah akibat residu limbah, kapur dan kompos daun singkong 21-23 tahun pascaperlakuan. Pertumbuhan dan produksi tanaman jagung tidak mengalami perbedaan nyata di tanah Sidosari 23 tahun pascaperlakuan limbah, kapur dan kompos daun singkong.

Kata kunci: Jagung, Kapur, Kompos Daun Singkong , Residu Logam Berat, Ultisol

PENGARUH RESIDU LOGAM BERAT Cu DAN Zn ASAL LIMBAH INDUSTRI DI TANAH ULTISOL SIDOSARI 23 TAHUN PASCAPERLAKUAN TERHADAP PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI TANAMAN JAGUNG

Oleh

M. DHANY GALIH PERMADI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA PERTANIAN

Pada

Jurusan Ilmu Tanah
Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023

Judul Skripsi	:	**PENGARUH RESIDU LOGAM BERAT Cu DAN Zn ASAL LIMBAH INDUSTRI DI TANAH ULTISOL SIDOSARI 23 TAHUN PASCAPERLAKUAN TERHADAP PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI TANAMAN JAGUNG**
Nama	:	**M. Dhany Galih Permadi**
NPM	:	1814181002
Program Studi	:	Ilmu Tanah
Fakultas	:	Pertanian

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing pertama	Pembimbing kedua
Prof. Dr. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc.	**Nur Afni Afrianti, S.P., M.Sc.**
NIP 196011091985031001	NIP 198404012012122002

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.** .....

Sekertaris : **Nur Afni Afrianti, S.P., M.Sc.** .....

Anggota : **Ir. Hery Novpriansyah, M.Si.** .....

2. Dekan Fakultas Pertanian

Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP 196110201986031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **03 Februari 2023**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **"Pengaruh Residu Logam Berat Cu dan Zn Asal Limbah Industri di Tanah Ultisol Sidosari 23 Tahun Pascaperlakuan terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung"** merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil karya orang lain.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian dosen Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang sumbernya dananya bersifat mandiri, 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 Univesitas Lampung. Jika dikemudian 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, 03 Februari 2023

Penulis

M. Dhany Galih Permadi

NPM 1814181002

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Desa Purwosari, Kecamatan Metro Utara, Kota Metro pada tanggal 10 April 2000 sebagai anak pertama dari 2 bersaudara dari pasangan Bapak Agus Waluyo dan Ibu Titin Trimunarsih, M.Pd. Penulis memiliki adik perempuan bernama Nimas Ayu Shinta Wardhany. Penulis memulai pendidikan formal di SD Negeri 1 Way Mengaku Kecamatan Balik Bukit Kabupaten Lampung Barat pada tahun 2006-2012, lalu melanjutkan pendidikan di SMPIT Bina Insani Kota Metro pada tahun 2012-2015 dan selanjutya menempuh pendidikan di SMA Negeri 1 Liwa pada tahun 2015-2018 di Kecamatan Balik Bukit, Kabupaten Lampung Barat.

Penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi pada tahun 2018 dan terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam mengikuti kegiatan organisasi. Penulis pernah tergabung dalam organisasi Gabungan Mahasiswa Ilmu Tanah Universitas Lampung (Gamatala) sebagai anggota bidang Kewirausahaan (2019/2020), dan menjadi Ketua Bidang Kewirausahaan (2021).

Pada bulan Februari sampai Maret 2021 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di desa Padang Dalom, Kecamatan Balik Bukit, Kabupaten Lampung Barat. Pada bulan Agustus sampai September penulis melaksanakan kegiatan Praktik Umum (PU) di Al Izzah Berkah Kurma Indonesia, Kecamatan Metro Pusat, Kota Metro, Provinsi Lampung dengan judul “Teknik Pengolahan Tanah pada Lahan Tanaman Kurma di ABKI (Al Izza Berkah Kurma Indonesia)”.

MOTTO

"Hiduplah seakan kamu mati besok, belajarlah seakan kamu hidup selamanya"

(Mahatma Gandhi)

"untuk hidup bahagia kita tidak perlu memenuhi keinginan orang lain"

(scena)

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

Kedua orang tua saya tercinta
Bapak Agus Waluyo dan Ibu Titin Trimunarsih, M.Pd
yang telah mencurahkan seluruh kasih sayang, perhatian, motivasi, nasehat, pendidikan, serta doa yang tiada henti;

Adik dan Saudara tercinta yang sangat saya sayangi
Terimakasih atas segala kasih sayang, dukungan, motivasi, nasehat, dan kerja keras

Sahabat-sahabat seperjuangan

Almamater tercinta
Universitas Lampung

SANWACANA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan segala rahmat dan berkat hidayah sehingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul "Pengaruh Residu Logam Berat Cu dan Zn Asal Limbah Industri di Tanah Ultisol Sidosari 23 Tahun Pascaperlakuan terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung". Skripsi ini dibuat untuk memenuhi sebagian syarat utama dalam mencapai gelar Sarjana Pertanian, pada Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Penulis menyampaikan banyak terimakasih yang tak terhingga kepada pihak-pihak yang terlibat dalam proses penelitian maupun dalam penyelesaian skripsi, yaitu 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 Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc. selaku dosen Pembimbing Pertama yang telah memberikan bimbingan dan saran serta motivasi serta dana kepada penulis dalam melaksanakan rangkaian proses perkuliahan, penelitian hingga penulisan skripsi.
4. Ibu Nur Afni Afrianti, S.P, M.Sc. selaku dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan pengarahan, saran dan kritik serta nasehat kepada penulis dalam melaksanakan rangkaian proses penelitian hingga penulisan skripsi ini.
5. Bapak Ir. Hery Novpriansyah, M.Si. selaku dosen Penguji yang telah memberikan arahan, saran dan kritik yang membangun dalam penelitian dan penulisan skripsi.

6. Bapak Ir. Hery Novpriansyah, M.Si. selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan saran dan motivasi dalam perkuliahan.
7. Kedua orang tuaku Bapak Agus Waluyo dan Ibu Titin Trimunarsih, M.Pd. serta adik-adik dan saudara saya, yang telah memberikan doa, dukungan serta motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan studi penulis di Universitas Lampung.
8. Adikku Nimas Ayu Shinta Wardhany, serta seluruh keluarga besar yang selalu mendukung dan memberi semangat, nasehat, dan doa dalam setiap langkah untuk menimba ilmu hingga sekarang.
9. Thita Madhanny yang selalu memotivasi dan memberikan semangat, nasehat, doa, dan perhatian.
10. Karyawan-karyawati di jurusan Ilmu Tanah atas semua bantuan dan kerjasama yang telah diberikan.
11. Bapak, Ibu Guru SD, SMP, dan SMA yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan, pendidikan akhlak serta pengalaman kepada penulis.
12. Teman-teman tim penelitian Rani Maryani dan Samini yang telah berjuang bersama selama 1 tahun ini dan bahu-membahu dalam seluruh kegiatan yang ada pada penelitian ini serta memberikan semangat, kerjasama, dan dukungan yang luar biasa.
13. Teman-teman presidium Gamatala 2021 Nugraha Putra Pratama Sinurat, Pandan Arum Irawan, Rangga Febriyansyah, Nurwahidin, Dinar Aditya, Ahmad Maulana Irfanudin, Ega Restapika Natalia, Apryan Ridho Pratama, Dyah Mila Prambudiningtyas, Linandu Darmawan, Fazar Sidiq Kusumah Putra, Arbi Aditya Pradana, dan semua pengurus gamatala yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu selama kepengurusan gamatala 2021.
14. Teman seperjuangan Ilmu Tanah 2018 Ega Restapika Natalia, Dyah Mila Prambudiningtyas, Samini, Erni Tristiana, Galuh Ishardini Rukmana, Ambar Arum Kaloka, Mir'atun Nisa, Linandu Darmawan, Nabila Anjani Anugrah Ihwanto, Sinta Nara Bella, Nugraha Putra Pratama Sinurat, Rani Maryani, Inka Aprilia Sakinah, Maulidya Cahyani, Reta Meliyani, Jonah Febriana, Novita Sari, Kadek Yuni Artini, Dinar Aditya, Titi Marcelia, Ridho Wijaya Saputra, Raquita Gumalau Putri TR., Vivi Putri Handayani, Sri Okta Sari,

Andreas Februando Naenggolan, Ahmad Maulana Irfanudin, Lisboa Karolyne S., Rizky Sanjaya, Arisa Ayu Andita, Adinda Tiara Saphira, Arbi aditya Pradana, M. Faizzi Arditara, M. Adam Galung Abdillah, Prasetyo, Sekar Dwi Parwati, Rangga Febriyansyah, Okta Dwi Andriana, Ina Wati, Nurwahidin Apriyan Ridho Pratama, Fazar Sidiq Kusumah Putra, Pandan Arum Irawan, Yanda Yonathan, Rafidahaziz Azzahra, Bunga Kartini.yang selalu memberikan doa, dukungan, motivasi, nasehat, kritik dan saran, serta memberikan banyak pengalaman baru selama penulis menjalankan studi

15. Kakak tingkat serta adik tingkat 2015, 2016, 2017, 2019, 2020, 2021, dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang saling membantu, memberikan semangat, doa dan kebahagiaan kebersamaan selama perkuliahan hingga penulis menyelesaikan studi di Universitas Lampung.
16. Teman-teman *touring* dan *healing* BROTHLER, ASLI SQUAD, SINTING SCOOTERIST.
17. Semua pihak yang telah berjasa dan terlibat dalam penulisan skripsi ini. Penulis berharap semoga Allah SWT membalas atas segala kebaikan Bapak, Ibu, dan rekan-rekan semua.
18. Almamater tercinta Universitas Lampung.

Akhir kata penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis akan sangat senang jika menerima berbagai masukan, saran, dan kritik dari berbagai pihak yang sifatnya membangun dan menyempurnakan agar lebih baik lagi di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca. Terimakasih.

Bandar Lampung, 03 Februari 2023
Penulis,

M. Dhany Galih Permadi

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR GAMBAR..... iii

DAFTAR TABEL..... iv

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..... 8

2.1 Peningkatan Logam Berat Akibat Residu Limbah Industri..... 8

2.1.1 Logam Berat..... 8

2.1.2 Kandungan Alami Logam Berat di dalam Tanah..... 8

2.1.3 Sumber Logam Berat..... 9

2.2 Pengaruh Kadar dan Residu Logam Berat terhadap Pertumbuhan, Produktivitas, dan Serapan Logam Berat pada Tanaman Jagung... 10

2.2.1 Toksisitas dan Fungsi Fisiologis Logam Berat..... 10

2.2.2 Kelarutan Logam Berat..... 10

2.2.3 Efek Logam Berat..... 12

2.3 Penurunan Logam Berat Tanah Seiring Berjalannya Waktu..... 12

2.3.1 Penurunan Ketersediaan Logam Berat..... 12

2.3.2 Peran Kalsit ($CaCO_3$)..... 13

2.3.2 Peran Bahan Organik..... 14

III. METODE PENELITIAN..... 15

3.1 Waktu dan Tempat..... 15

3.2 Alat dan Bahan..... 15

3.3 Metode Penelitian..... 15

3.4 Sejarah Lahan..... 18

3.5 Pelaksanaan Percobaan..... 19

3.5.1 Persiapan dan Pengambilan Contoh Tanah..... 19

3.5.2 Pengamatan Contoh Tanah..... 19

3.5.3 Analisis Tanah..... 20

3.5.4 Analisis Data..... 20

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN..... 21

4.1 Perbedaan pH, Cu dan Zn Akibat Residu Limbah Industri Berlogam Berat, Kapur dan Kompos Daun Singkong 21 dan 23 Tahun Pascaperlakuan pada Tanah Ultisol Sidosari..... 21

4.2 Perbedaan Kandungan C-Organik Tanah Akibat Residu Limbah Industri Berlogam berat, Kapur dan Kompos daun Singkong 21 Tahun Pascaperlakuan pada Tanah Ultisol Sidosari..... 29

4.3 Pertumbuhan Tanaman Jagung Akibat Residu Limbah Industri Berlogam Berat, Kapur dan Kompos Daun Singkong 23 Tahun Pascaperlakuan pada Tanah Ultisol Sidosari..... 30

4.4 Perubahan Produksi Tanaman Jagung Akibat Residu Limbah Industri Berlogam Berat, Kapur dan Kompos Daun Singkong 23 Tahun Pascaperlakuan pada Tanah Ultisol Sidosari..... 36

V. SIMPULAN DAN SARAN..... 40

5.1 Simpulan..... 40

5.2 Saran..... 40

DAFTAR PUSTAKA..... 41

LAMPIRAN..... 46

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 1. Denah Tata Letak Percobaan Sidosari, Lampung Selatan..... 17

Gambar 2. Diagram Alir Panen Jagung..... 19

Gambar 3. Pengaruh Limbah Industri Berlogam Berat, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung Pekan Ke-8 Tahun 1998..... 32

Gambar 4. Pengaruh Limbah Industri Berlogam Berat, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung Tahun 2022..... 33

Gambar 5. Pengaruh Limbah Industri Berlogam Berat, Tanpa Kapur, dan Tanpa Kompos Terhadap Produksi Tanaman Jagung Tahun 2022..... 37

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1. Rataan Kandungan Logam Berat di Dalam Tanah Secara Alami.... 9

Tabel 2. Ambang Batas Kandungan Logam Berat di Lingkungan..... 13

Tabel 3. Beberapa Sifat Tanah dan Limbah Industri Lahan Percobaan Tahun 1998..... 18

Tabel 4. Pengaruh Residu Limbah Industri Berlogam Berat, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap pH, Cu dan Zn Tanah Tahun 1998 serta 21 dan 23 Tahun Pascaperlakuan..... 22

Tabel 5. Pengaruh Residu Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap pH Tanah Sidosari Natar pada Tahun 1998 dan 2022..... 24

Tabel 6. Pengaruh Residu Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Ketersediaan Cu Tanah Tahun 1998 dan 21 Tahun Pascaperlakuan (2019)..... 26

Tabel 7. Pengaruh Residu Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Ketersediaan Zn Tanah Tahun 1998 dan 21 Tahun Pascaperlakuan (2019)..... 28

Tabel 8. Pengaruh Residu Limbah Industri Berlogam Berat, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap C-Organik Tanah 21 Tahun Pascaperlakuan..... 29

Tabel 9. Pengaruh Residu Limbah Industri Berlogam Berat, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung Tahun 1998 dan 23 Tahun Pascaperlakuan (2022) 31

Tabel 10. Pengaruh Residu Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung Sidosari Natar pada Tahun 1998 dan 2022..... 35

Tabel 11. Pengaruh Residu Limbah Industri Berlogam Berat, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Produksi Tanaman Jagung 23 Tahun Pascaperlakuan pada Tanah Ultisol Sidosari..... 36

Tabel 12. Pengaruh Residu Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Produksi Tanaman Jagung Sidosari Natar pada Tahun 2022..... 39

Tabel 13. Pengaruh Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap pH (H_2O) Tanah 21 Tahun Pascaperlakuan..... 47

Tabel 14. Sidik Ragam Pengaruh Limbah Industri Berlogam Berat, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap pH (H_2O) Tanah 21 Tahun Pascaperlakuan..... 48

Tabel 15. Pengaruh Limbah Industri Berlogam, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap pH (KCl) Tanah 21 Tahun Pascaperlakuan..... 49

Tabel 16. Sidik Ragam Pengaruh Limbah Industri Berlogam Berat, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap pH (KCl) Tanah 21 Tahun Pasca Perlakuan..... 50

Tabel 17. Pengaruh Limbah Industri Berlogam Berat, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Cu Tanah 21 Tahun Pascaperlakuan..... 51

Tabel 18. Pengaruh Limbah Industri Berlogam Berat, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Cu Tanah 21 Tahun Pascaperlakuan (transformasi$\sqrt{x}$)..... 52

Tabel 19. Sidik Ragam Pengaruh Limbah Industri Berlogam Berat, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Cu Tanah 21 Tahun Pascaperlakuan(Transformasi$\sqrt{x}$) 53

Tabel 20. Pengaruh Limbah Industri Berlogam Berat, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Zn Tanah 21 Tahun Pascaperlakuan..... 54

Tabel 21. Sidik Ragam Pengaruh Limbah Industri Berlogam Berat, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Zn Tanah 21 Tahun Pascaperlakuan..... 55

Tabel 22. Pengaruh Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap C- Organik Tanah 21 Tahun Pascaperlakuan..... 56

Tabel 23. Sidik Ragam C-Organik Tanah Akibat Perlakuan Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong 21 Tahun Pascaperlakuan..... 57

Tabel 24. Pengaruh Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Bobot Tanaman Jagung Per Petak 23 Tahun Pascaperlakuan..... 58

Tabel 25. Pengaruh Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Bobot Tanaman Jagung Per 10 Tongkol 23 Tahun Pascaperlakuan..... 59

Tabel 26. Pengaruh Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Bobot Basah Pipilan Tanaman Jagung Per 10 Tongkol 23 Tahun Pascaperlakuan..... 60

Tabel 27. Pengaruh Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Bobot Kering Pipilan Tanaman Jagung Per 10 Tongkol 23 Tahun Pascaperlakuan..... 61

Tabel 28. Pengaruh Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Bobot Kering Pipilan Tanaman Jagung Per 100 Butir 23 Tahun Pascaperlakuan..... 62

Tabel 29. Pengaruh Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Bobot Pipilan Tanaman Jagung Per Petak 23 Tahun Pascaperlakuan..... 63

Tabel 30. Pengaruh Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Bobot Pipilan Kering (Kadar Air 14%) Tanaman Jagung Per Petak Pada 23 Tahun Pascaperlakuan..... 64

Tabel 31. Sidik Ragam Bobot Pipilan Kering (Kadar Air 14%) Tanaman Jagung Per Petak Akibat Perlakuan Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong 23 Tahun Pascaperlakuan..... 65

Tabel 32. Pengaruh Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung 1 Pekan Setelah Tanam 23 Tahun Pascaperlakuan..... 66

Tabel 33. Pengaruh Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung 2 Pekan Setelah Tanam 23 Tahun Pascaperlakuan. 67

Tabel 34. Pengaruh Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung 4 Pekan Setelah Tanam 23 Tahun Pascaperlakuan..... 68

Tabel 35. Pengaruh Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung 6 Pekan Setelah Tanam 23 Tahun Pascaperlakuan..... 69

Tabel 36. Pengaruh Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung 8 Pekan Setelah Tanam 23 Tahun Pascaperlakuan..... 70

Tabel 37. Pengaruh Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung 10 Pekan Setelah Tanam 23 Tahun Pascaperlakuan..... 71

Tabel 38. Sidik Ragam Pertumbuhan Tanaman Jagung 10 Pekan Setelah Tanam Akibat Perlakuan Limbah Industri, Kapur dan Kompos Daun Singkong 23 Tahun Pascaperlakuan..... 72

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah memiliki fungsi penting dalam kelangsungan hidup makhluk hidup, tidak hanya fungsinya sebagai tempat tumbuh tanaman, penyedia sumber daya penting dan tempat berpijak tetapi juga berfungsi sebagai bagian dari ekosistem. Menurunnya fungsi tanah dapat menyebabkan terganggunya ekosistem di sekitarnya, termasuk manusia (Waluyaningsih, 2008). Pencemaran tanah oleh logam berat telah menjadi masalah lingkungan yang serius dengan pesatnya perkembangan industrialisasi dan urbanisasi merupakan salah satu penyebab penurunan ini (Mao, 2015). Sifat toksisitas dan karsinogeniknya yang tinggi pada logam berat seperti Cu dan Zn memiliki efek merugikan pada kesehatan manusia bila masuk ke dalam rantai makanan (Han dkk., 2004). Kelebihan kandungan Cu dan Zn pada tanaman di antaranya dapat menyebabkan klorosis pada helaian di sela-sela tulang daun muda. Pada kasus berat, seluruh daun tanaman dapat menguning dan akhirnya berubah menjadi putih. Tanaman yang kelebihan unsur Cu dan Zn pada tingkat yang lebih lanjut dapat mengalami defisiensi besi (Fe) sebagai akibat terlalu tingginya unsur Cu dan Zn yang terserap (Fageria dkk., 1997).

Dampak negatif dari beberapa logam berat seperti Cu dan Zn terhadap tanaman dapat dikurangi oleh kemampuan tanah sendiri. Tanah mempunyai kemampuan menurunkan kelarutan dan ketersediaan logam berat dengan cara imobilisasi oleh kompleks jerapan (Sutanto, 2005). Salam dkk. (1998) menyatakan bahwa penurunan kelarutan dan ketersediaan logam berat di dalam tanah dapat

dilakukan dengan meningkatkan kapasitas jerap tanah terhadap logam berat melalui pengapuran dan/atau pemberian bahan organik.

Penambahan kapur dapat menetralisasi ion H^+ dan Al^{3+} yang terdapat dalam larutan tanah dan pada kompleks jerapan, dan pada akhirnya dapat meningkatkan daya jerap tanah terhadap kation logam berat terlarut membentuk suatu ikatan kompleks, Penambahan bahan organik juga dapat dimanfaatkan untuk menjerap logam berat asal limbah industri. Bahan organik merupakan salah satu komponen penting di dalam tanah yang memiliki berbagai jenis gugus fungsional dan senyawa organik. Senyawa organik dan logam di dalam tanah dapat membentuk suatu reaksi ikatan secara kompleks yang disebut kelasi atau kelat sehingga kadar logam berat menjadi menurun (Salam dkk., 1998)

Beberapa proses fisika dalam tanah juga seperti aliran massa, difusi, dan pelindian logam berat, serta limpasan air, erosi, dan pembajakan/olah tanah, juga dapat mempercepat pelepasan dan pergerakan logam berat yang teradsorpsi sementara di tanah (Salam dkk., 2021). Selain oleh proses kimia dan fisika penurunan konsentrasi beberapa logam berat seperti Zn dapat dilakukan menggunakan tanaman yang ditanam dan dipanen. Proses penghilangan, pemindahan, atau penghancuran kontaminan logam berat di tanah, air, dan air bawah tanah dengan menggunakan tanaman disebut fitoremediasi. Fitoremediasi sangat membantu untuk mengurangi risiko yang terkait dengan kontaminan logam berat (Fajri dkk., 2021)

Sejumlah logam berat tertentu dapat bertahan dalam sistem tanah karena imobilisasinya melalui reaksi kimia seperti pengendapan pada pH tanah yang tinggi dan adsorpsi pada pH tanah yang rendah, terutama pada tanah dengan kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi. Namun, keefektifan reaksi ini dapat berkurang dengan berjalannya waktu. Menurut Salam dkk. (2021) pengolahan tanah dapat juga membuat logam berat bergerak secara vertikal ke lapisan yang lebih dalam. Salam dkk. (2021) menyebutkan bahwasanya limbah Cu dan Zn pindah ke lapisan tanah yang lebih dalam disebabkan pencucian oleh air. Sampai

batas tertentu, membajak dan mengolah tanah dapat menyebabkan pergerakan logam berat yang paling signifikan dalam sistem tanah.

Seiring berjalannya waktu, kemampuan kapur dan bahan organik dalam menurunkan ketersediaan logam berat juga terus menurun. Pengaruh kapur dapat berkurang melalui proses pencucian dan bahan organik dapat berkurang melalui proses dekomposisi. Ginanjar (2009) melaporkan bahwa ± 10 tahun setelah perlakuan, kapur masih cukup efektif dalam meningkatkan pH tanah hingga kedalaman 30 cm. Namun, pengapuran dan pemberian bahan organik sudah tidak menurunkan konsentrasi fraksi labil Cu dan Zn. Meskipun begitu, belum diketahui seberapa berpengaruhnya residu logam berat yang tertinggal di Lahan Sidosari, Natar, Lampung Selatan, terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman. Riset harus terus dilakukan agar pengaruhnya masih dalam taraf aman. Oleh karena itu, dilakukan penelitian ini yang bertujuan untuk mempelajari pengaruh residu logam berat terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman jagung di tanah Ultisol 23 tahun pascaperlakuan limbah industri, kapur dan kompos daun singkong.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah residu logam berat, kapur dan kompos daun singkong pada tanah Ultisol Sidosari berpengaruh terhadap pH, Cu dan Zn tanah ?
2. Apakah residu logam berat, kapur dan kompos daun singkong pada tanah Ultisol Sidosari berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman jagung ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari perbedaan pH, Cu, dan Zn tanah akibat pengaruh residu limbah industri berlogam berat, kapur dan kompos daun singkong 23 tahun pascaperlakuan.
2. Mempelajari pengaruh residu logam berat, kapur dan kompos daun singkong pada tanah Ultisol Sidosari terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman jagung.

1.4 Kerangka Pemikiran

Meskipun beberapa logam berat dibutuhkan oleh tanaman dan hewan (Erfandi dan Juarsah, 2014), akan tetapi logam berat dapat menjadi kontaminan yang berbahaya, terutama apabila jumlahnya berlebih seperti Cu dan Zn (Baker, 1990). Selain memang disebabkan sifat dasarnya, berisikonya logam berat juga disebabkan oleh sifatnya yang persisten. Logam berat yang telah masuk ke dalam tanah tidak dapat terdegradasi seperti bahan organik, akan tetapi tetap bersifat toksik walaupun telah terkonsumsi manusia. Kondisi tersebut tidak berubah meskipun logam berat telah lama berada di dalam tanah dan mengalami serangkaian proses kimia (Liao dkk., 2006; McLean dan Bledsoe, 1992).

Logam Cu dan Zn yang telah masuk ke dalam tanah pada dasarnya dapat mengalami berbagai kondisi, yaitu (1) terlepas ke larutan tanah, (2) menduduki situs pertukaran ion pada anorganik tanah, (3) terserap secara spesifik oleh anorganik tanah, (4) berasosiasi dengan bahan organik yang tidak larut, serta (5) mengendap sebagai padatan asli atau campuran (McLean dan Bledsoe, 1992).

Kondisi Cu dan Zn yang berpotensi tinggi membahayakan lingkungan adalah ketika larut karena kondisi tersebut menyebabkannya tersedia bagi tanaman (Abdu, 2010). Jumlah Cu dan Zn yang larut erat kaitannya dengan jumlah yang dapat terserap akar tanaman. Semakin banyak Cu dan Zn yang larut, maka semakin banyak pula Cu dan Zn yang dapat terserap oleh akar tanaman (Abdu, 2010; Alrawiq, 2014). Hal tersebut berpotensi menimbulkan bahaya berantai bagi

lingkungan yang terjadi melalui sistem jaring-jaring makanan (Salam, 2017; Liao dkk., 2006; Salam dkk., 1997a). Selain itu, Akumulasi logam berat pada tanah akan mengakibatkan perubahan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah serta dapat menurunkan produktivitas tanah (Erfandi dan Juarsah, 2014).

Sutanto (2005) menjelaskan bahwa tanah bisa menurunkan kelarutan dan ketersediaan logam berat dari limbah industri menggunakan cara imobilisasi oleh kompleks jerapan. Kapasitas jerap tanah terhadap logam barat bisa ditingkatkan melalui pengapuran dan /atau pemberian bahan organik (Salam dkk,. 1998). Sudadi dkk. (1996) mengatakan bahwa kapur pertanian, bahan organik serta zeolit bisa dipergunakan untuk meningkatkan pH tanah, kadar bahan organik dan KTK tanah. Tindakan penambahan kapur dapat meningkatkan pH dan KTK tanah yang didominasi oleh muatan negatif tergantung pH, sehingga penjerapan kation logam berat oleh tanah tersebut meningkat. Kapur dapat meningkatkan jumlah ion OH yang dapat melepaskan ion H^+ yang terikat dalam gugus fungsional tanah dan membentuk molekul air (Utomo, dkk., 2016; Salam, 2012; Salam, 2000).

Bahan organik juga bisa menurunkan ketersediaan logam berat dengan berbagai gugus fungsionalnya yang bisa menaikkan daya jerap tanah. Gugus fungsional bahan organik bisa berikatan dengan logam berat melalui proses pengelatan, sehingga ketersediaan logam berat akan menurun serta membentuk endapan (Tan, 1982). Kompos daun singkong merupakan salah satu jenis bahan organik yang bisa digunakan untuk menurunkan ketersediaan logam berat. Salam (2000) memperlihatkan bahwa kompos daun singkong bisa menurunkan ketersediaan logam berat secara lebih signifikan dibanding bahan organik lainnya.

Pengaruh kalsit terhadap pH tanah cenderung memiliki rentang waktu yang lama, tetapi pengaruhnya tidak bersifat permanen (Ginanjar, 2009). Seiring berjalannya waktu pengaruh kalsit dapat menurun atau habis melalui proses pelindian. Kation-kation basa dapat berkurang atau habis terbawa oleh air hujan, sedangkan secara bersamaan air hujan menyumbangkan ion H^+ sehingga menurunkan pH tanah (Utomo dkk., 2016).

Tiga tahun setelah aplikasi terhadap lahan yang sama dengan penelitian ini, diketahui kalsit masih mampu mempertahankan pH dan masih efektif dalam menahan keberadaan Cu dan Zn di kolom tanah (Salam dkk., 2005; Prihatin, 2002). Begitu pula 10 tahun setelah aplikasi, Ginanjar (2009) melaporkan bahwa kalsit masih cukup mampu mempertahankan pH tanah hingga kedalaman 30 cm. Akan tetapi secara umum pengaruhnya mulai menurun pada kurun waktu tersebut. Hal ini dapat dipahami karena selama rentang waktu tersebut dimungkinkan sebagian komponen Ca^{2+} dan CO_3^{2-} terangkut melalui panen dan/ tercuci kelapisan tanah yang lebih dalam. Begitu pula dengan pemberian kompos daun singkong yang sudah tidak berpengaruh lagi terhadap imobilisasi Cu di dalam tanah (Amirullah, 2000).

Tanaman yang digunakan pada penelitian di lahan Sidosari 23 tahun pascaperlakuan, adalah tanaman jagung. Tanaman jagung merupakan tanaman yang menghasilkan bahan pangan sumber karbohidrat kedua setelah beras. Dalam pertumbuhannya tanaman jagung memerlukan unsur hara. Hara yang dibutuhkan adalah hara makro dan hara mikro. Unsur hara mikro ini sangat dibutuhkan dalam jumlah sedikit dan akan bersifat racun jika berada dalam konsentrasi tinggi. Menurut Suryanty (1998) tanaman jagung tidak termasuk sebagai tanaman yang tergolong dalam bioakumulator yang dapat digunakan dalam fitoektraksi. Hal ini karena serapan logam berat yaitu Cu dan Zn oleh tanaman jagung diduga belum sampai mengganggu pertumbuhan tanaman karena ketersediaannya di dalam tanah masih berada dalam batas toleransi tanaman. Selain itu, penyerapan logam berat pada tanaman ini lebih banyak diakumulasikan di dalam akar dari pada di dalam tajuk tanaman sehingga pertumbuhan tanaman jagung tidak terganggu. Selain itu, kadar logam berat yang tertinggal di lahan Sidosari 23 tahun pascaperlakuan sudah jauh mengalami penurunan dan berada pada ambang batas toleransi.

1.5 Hipotesis

1. Residu limbah industri berlogam berat, kapur dan kompos daun singkong sudah tidak berpengaruh nyata terhadap ketersedia logam berat Cu dan Zn, dan pH tanah 23 tahun pascaperlakuan.
2. Residu limbah industri berlogam berat, kapur dan kompos daun singkong sudah tidak berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman jagung 23 tahun pascaperlakuan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peningkatan Logam Berat Akibat Residu Limbah Industri

2.1.1 Logam Berat

Logam berat merupakan logam yang memiliki bobot jenis > 5 g cm^{-3} dan bernomor atom 22 – 99 (Duffus, 2002). Beberapa jenis unsur yang termasuk kategori logam berat yaitu Al, Cd, Cr, Co, Hg, Cu, Fe, Mn, Mo, Ag, Sn, Pb, V dan Zn (Sutamihardja, 2006). Sebagian dari logam berat tersebut pada dasarnya penting dibutuhkan oleh makhluk hidup. Beberapa unsur logam, di antaranya Cu, Se, Fe, dan Zn diketahui penting untuk menjaga metabolisme tubuh manusia (Agustina, 2010). Akan tetapi beberapa logam berat berbahaya bagi makhluk hidup, terutama manusia. Beberapa logam berat yang berpotensi bahaya bagi manusia di antaranya Hg, Cd, Pb, Cr, Cu, dan Co. Ridhowati (2013) menjelaskan bahwa logam-logam tersebut dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui beberapa cara, yaitu melalui makanan, pernafasan, dan penetrasi kulit. Mereka memiliki afinitas yang tinggi terhadap unsur S, menyebabkan enzim terimobilisasi sehingga metabolisme tubuh terganggu (Rina dan Wardani, 2005). Hal tersebut terjadi terutama apabila kadar yang terlarut dalam tubuh manusia cukup tinggi atau melebihi ambang batas (Ridhowati, 2013).

2.1.2 Kandungan Alami Logam Berat di dalam Tanah

Secara alami, kandungan logam berat di dalam tanah sangat rendah (Darmono, 1995), seperti disajikan pada Tabel 1. Tingginya kandungan logam berat di dalam tanah pada dasarnya akibat banyaknya cemaran yang terjadi terhadap tanah.

Penggunaan bahan kimia yang langsung mengenai tanah, penimbunan debu, hujan atau pengendapan, pengikisan tanah, dan limbah buangan dapat menjadi sumber masuknya logam berat ke dalam tanah (Widaningrum dkk., 2007).

Tabel 1. Rataan kandungan logam berat di dalam tanah secara alami.

Logam	Kandungan (mg kg^{-1} tanah)
As	100
Co	8
Cu	20
Pb	10
Zn	50
Cd	0,06
Hg	0,03

Sumber: Peterson & Alloway (1979)

2.1.3 Sumber Logam Berat

Menurut Salam (2017), pencemaran logam berat di lingkungan berasal dari dua sumber yaitu sumber alami dan antropogenik. Sumber alami dapat berupa onggokan alami di dalam bumi yang tersingkap dan pelapukan batuan mineral yang mengandung logam berat yang kemudian akan terakumulasi di dalam tanah. Logam berat yang terdapat dalam batuan terkikis oleh air hujan dan akan larut membentuk ion dalam air tersebut. Air yang mengandung logam berat ini kemudian mengalir ke sumber mata air dan meresap ke dalam tanah dan dapat terserap oleh akar tanaman. Secara alami kandungan logam berat di dalam tanah sangat rendah (Tabel 1).

Tingginya kandungan logam berat di dalam tanah dapat berasal dari sumber kedua yaitu sumber antropogenik berkaitan dengan produksi dan penggunaan logam berat pada industri modern, penggunaan pupuk atau pestisida yang mengandung logam berat serta limbah rumah tangga. Terlepas dari sumbernya, logam berat di dalam tanah dapat berdampak negatif terhadap makhluk hidup (Darmono, 1995; Erfandi dan Juarsah, 2014; Salam, 2017).

2.2 Pengaruh Kadar dan Residu Logam Berat terhadap Pertumbuhan, Produktivitas, dan Serapan Logam Berat pada Tanaman Jagung

2.2.1 Toksisitas dan Fungsi Fisiologis Logam Berat

Logam berat adalah unsur logam dengan berat molekul tinggi yaitu lebih dari 5 g cm^{-3} dengan nomor atom 22-23 dan 40-50 serta unsur Golongan Lantanida dan Aktinida (Palar, 1994). Salam (2017) membagi logam berat menjadi 3 kelompok berdasarkan toksisitasnya, yaitu bersifat toksik tinggi yang terdiri atas unsur-unsur merkuri (Hg), kadmium (Cd), timbal (Pb), tembaga (Cu), dan seng (Zn); bersifat toksik sedang terdiri dari kromium (Cr), nikel (Ni), dan kobalt (Co); bersifat toksik rendah yang terdiri atas unsur mangan (Mn) dan besi (Fe). Menurut Hidayat (2015), logam berat merupakan komponen alamiah tanah yang sebagian berperan dalam proses fisiologis tanaman seperti Fe, Cu, Zn dan Ni dalam jumlah yang relatif rendah, bila jumlahnya berlebih akan memberikan efek toksik bagi tanaman. Tetapi, logam berat Hg, Cd dan Cr sampai saat ini belum diketahui manfaatnya bagi tanaman, hewan dan manusia, serta bersifat sangat beracun bila masuk ke dalam tubuh makhluk hidup.

2.2.2 Kelarutan Logam Berat

Logam berat dapat larut di dalam tanah. Salam (2017) menjelaskan bahwa kelarutan logam berat dipengaruhi oleh aktivitas adsorpsi-desorpsi, reduksi oksidasi, dan pengendapan yang dikendalikan oleh pH tanah. Aktivitas adsorpsi logam berat dipengaruhi oleh jumlah muatan negatif koloid tanah yang tergantung kandungan bahan organik, pH tanah, kehadiran kation pesaing, potensial redoks, dan lain-lain yang berpengaruh secara langsung maupun tidak langsung. Aktivitas adsorpsi melibatkan kehadiran muatan negatif tanah berupa mineral liat non silikat, mineral liat silikat, gugus fungsional bahan organik, dan hasil substitusi isomorfik mineral liat (tipe 2:1). Semakin banyaknya jumlah muatan negatif, maka semakin banyak pula logam berat yang dapat teradsorpsi oleh tanah (Salam, 2017; Alloway, 1990).

Logam berat juga dapat mengendap di dalam tanah. Salam (2017) menerangkan bahwa aktivitas pengendapan logam berat dipengaruhi oleh kehadiran agen

pengompleks dan kation-kation pesaing yang dikendalikan oleh nilai konstanta kesetimbangan (K_{sp}). Selama konsentrasi logam berat belum memenuhi K_{sp}, maka kondisinya tetap larut. Nilai K_{sp} dapat terpenuhi seiring meningkatnya konsentrasi logam berat di larutan tanah. Semakin tinggi konsentrasi logam berat di dalam tanah, potensi dan jumlah logam yang dapat Mengendap semakin tinggi.

Secara khusus, kondisi pH tanah sangat berkaitan erat dengan seluruh reaksi di atas. Kondisi pH tanah akan mempengaruhi kapasitas tukar kation (KTK) tanah dan berimplikasi pada aktivitas penjerapan dan pengendapan logam berat. Kaitan pH tanah dengan aktivitas pelarutan dan pengendapan logam berat digambarkan melalui persamaan berikut: Log $[M^{2+}]$ = X – 2 pH, dengan M adalah logam berat dan X adalah log K_{sp} – 2 log (10^{-14}). Melalui persamaan tersebut dapat diketahui bahwa pH tanah berkorelasi erat secara negatif dengan kelarutan logam berat.

Kondisi tanah yang masam akan meningkatkan kelarutan logam berat. Pada kondisi masam, larutan tanah dipenuhi oleh ion H^+ yang mampu menggantikan posisi kation-kation logam berat pada kompleks jerapan. Logam berat yang terusir dari kompleks jerapan akan larut dan menempati larutan tanah, menyebabkan konsentrasinya di larutan tanah meningkat. Pada gilirannya sebagian H^+ bersama kation-kation pesaing di larutan tanah akan mengompleks bersama agen-agen pengompleks. Hal itu menyebabkan sebagian besar logam berat dalam kondisi larut sebagai ion bebas. Ketika pH tanah meningkat, ion H^+ bebas di larutan tanah menjadi berkurang karena membentuk molekul air bersama OH^-. Kondisi tersebut menyebabkan sebagian H^+ pada kompleks jerapan terusir ke larutan tanah untuk mencapai kesetimbangan. Muatan-muatan tanah yang kosong akibat ditinggalkan ion H^+ selanjutnya dapat ditempati kation-kation logam berat kembali (teradsorpsi) (Salam, 2017).

2.2.3 Efek Logam Berat

Erfandi dan Juarsah (2014) menyatakan bahwa logam berat yang terakumulasi di dalam tanah dapat menurunkan kualitas tanah, baik secara biologi, kimia maupun fisika. Komunitas mikroorganisme dapat hilang atau berubah kualitasnya karena ekologi tanah sebagai tempat hidupnya telah tercemari logam berat, yang 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.

Novpriansyah, dkk. (2001) memperlihatkan bahwa akumulasi logam berat mengakibatkan unsur Cu dan Zn meningkat di dalam tanah. Unsur Cu dan Zn termasuk unsur hara esensial yang dibutuhkan tanaman, tetapi apabila jumlahnya berlebih akan bersifat toksik. Kelebihan kandungan Zn pada tanaman di antaranya dapat menyebabkan klorosis pada helaian di sela-sela tulang daun muda. Pada kasus berat, seluruh daun tanaman dapat menguning dan akhirnya berubah menjadi putih. Tanaman yang kelebihan unsur Cu dan Zn pada tingkat yang lebih lanjut dapat mengalami defisiensi besi (Fe) sebagai akibat terlalu tingginya unsur Cu dan Zn yang terserap (Fageria dkk., 1997). Akhirnya, kondisi yang demikian menyebabkan penurunan pertumbuhan dan produktivitas pada tanaman. Logam berat di dalam tanah dapat terserap tanaman sehingga menjadi residu dan masuk ke dalam rantai makanan. Akumulasi logam berat di dalam tanaman akan sangat berbahaya apabila masuk ke dalam tubuh manusia yang menyebabkan berbagai macam penyakit (Darmono, 2001).

2.3 Penurunan Logam Berat Tanah Seiring Berjalannya Waktu

2.3.1 Penurunan Ketersediaan Logam Berat

Dampak negatif dari logam berat harus diturunkan sehingga untuk mengetahui pencegahan dan penanggulangan logam berat yang mencemari lingkungan sangat penting diketahui batas/nilai ambang logam di lingkungan. Ambang batas keberadaan unsur-unsur logam berat di lingkungan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ambang batas kandungan logam berat di lingkungan.

Logam Berat	Tanah	Air	Tanaman
	mg kg^{-1}		
Pb	100	0,03	50
Cd	0,50	0,05 – 0,10	5 – 30
Co	10	0,4 – 0,6	15 – 30
Cr	2,5	0,5 – 1,0	5 – 30
Ni	50	0,2 – 0,5	5 – 30
Cu	60 – 125	2 – 3	20 – 100
Mn	1500	–	–
Zn	70	5 – 10	100 – 400

Sumber: Erfandi dan Juarsah (2014).

Dengan mengetahui ambang batas ketersediaan logam berat di lingkungan maka dapat ditentukan teknologi yang dapat digunakan untuk menurunkannya. Tanah merupakan komponen kunci dari ekosistem alami yang terdiri dari lima komponen utama yaitu mineral, air, udara, bahan organik, dan organisme yang hidup di dalamnya. Sutanto (2005) menjelaskan bahwa tanah dapat menurunkan kelarutan dan ketersediaan logam berat asal limbah industri dengan cara imobilisasi oleh kompleks jerapan. Kapasitas jerap tanah terhadap logam berat dapat ditingkatkan melalui pengapuran dan/atau pemberian bahan organik (Salam dkk,. 1998). Sudadi dkk. (1996) mengatakan bahwa kapur pertanian, bahan organik dan zeolit dapat digunakan untuk meningkatkan pH tanah, kadar bahan organik dan KTK tanah, sehingga pada tanah yang bertekstur lempung berpasir yang ditanami jagung dalam rumah kaca menunjukkan peningkatan kapasitas jerap tanah terhadap logam berat dan penurunan kelarutan logam berat yang dapat diserap tanaman.

2.3.2 Peran Kalsit ($CaCO_3$)

Kalsit merupakan salah satu jenis kapur yang banyak digunakan dalam pertanian, dengan unsur kimia pembentuknya terdiri dari kalsium (Ca) dan karbonat (CO_3) Kalsit adalah mineral karbonat dan polimorfus kalsium karbonat yang paling stabil, terbentuk di dasar laut yang berasal dari endapan deposit kalsium yang masuk ke laut. Menurut Noviyanti, dkk. (2015), kalsit berbentuk partikel yang menyerupai kubus dengan komposisi senyawa penyusun Ca (40,04%); C (12,0%); dan O (47,96%) atau CaO (56,03%); dan CO_2 (43,96%).

Notohadiprawiro (1998) menjelaskan bahwa naiknya kemasaman tanah disertai dengan naiknya kelarutan logam seperti Al, Fe, Cu, Mn, Zn. Aplikasi kapur ke dalam tanah bertujuan untuk mengatur pH tanah dengan mengurangi kemasaman tanah (pH meningkat). Aplikasi kapur juga memiliki manfaat meningkatkan KTK tanah melalui peningkatan muatan negatif tanah yang dapat berubah-ubah atau muatan tergantung pH serta dapat mengurangi alumunium dan keracunan metal lainnya (Subandi dan Wijanarko, 2011). Kapur $CaCO_3$ mengurangi kemasaman tanah dengan perubahan beberapa H^+ menjadi air dan ketika nilai pH di atas 5,5 Al akan mengendap sebagai $Al(OH)_3$. Ion Ca^{+2} yang berasal dari kapur akan menggantikan ion Al^{+3} pada tapak jerapan tanah, sedangkan ion karbonat (CO_3^{-2}) akan bereaksi di dalam larutan tanah dengan mempertahankan kelebihan OH^- untuk selanjutnya ion OH^- bereaksi dengan H^+ membentuk air serta ion OH^- bereaksi dengan logam berat membentuk endapan (Winarso, 2005).

2.3.3 Peran Bahan Organik

Teknologi lain yang digunakan untuk menurunkan ketersediaan logam berat adalah pemberian bahan organik. Bahan organik merupakan bahan-bahan atau sisa-sisa yang berasal dari makhluk hidup di dalam tanah dengan tingkat pelapukan yang berbeda (Salam, 2012). Bahan organik merupakan salah satu penyumbang muatan negatif dalam tanah yang berasal dari berbagai gugus fungsional, seperti gugus karboksil sehingga dapat meningkatkan kapasitas jerap kation dan menurunkan ketersediaan logam berat di dalam tanah. Gugus fungsional dari bahan organik dapat berikatan dengan logam berat melalui proses pengelatan (Winarso, 2005).

Bahan organik dalam proses dekomposisi juga mengeluarkan asam organik, seperti asam humat dan asam fulvat yang mempunyai kapasitas untuk mengelat atau mengompleks ion logam (Ginanjar, 2009). Tan (1982) mengemukakan bahwa pengelatan terjadi karena sebagian ligan organik dapat mengikat ion logam berat dengan lebih dari satu gugus fungsional donor.

III. BAHAN DAN METODE

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilakukan dari bulan November dan berakhir pada bulan April 2022. Penanaman jagung dan pengambilan contoh tanah awal telah dilakukan di lahan percobaan yang diperlakukan limbah industri, kompos daun singkong, dan kapur pada tahun 1998 atau 23 tahun yang lalu di Desa Sidosari, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan. Dimulainya penelitian pada November 2021 karena memanfaatkan musim hujan. Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang telah digunakan dalam penelitian ini adalah meteran, sekop, plastik sampel tanah, pisau lapang, neraca analitik, botol kocok, botol film, labu takar, gelas ukur, pipet tetes, pipet ukur, spatula, tabung reaksi, oven, mesin kocok, magnetic stirrer, kertas saring dan pH meter. Bahan yang digunakan yaitu kantung plastik, kantung kertas, kertas label, akuades, contoh tanah, larutan HCl.

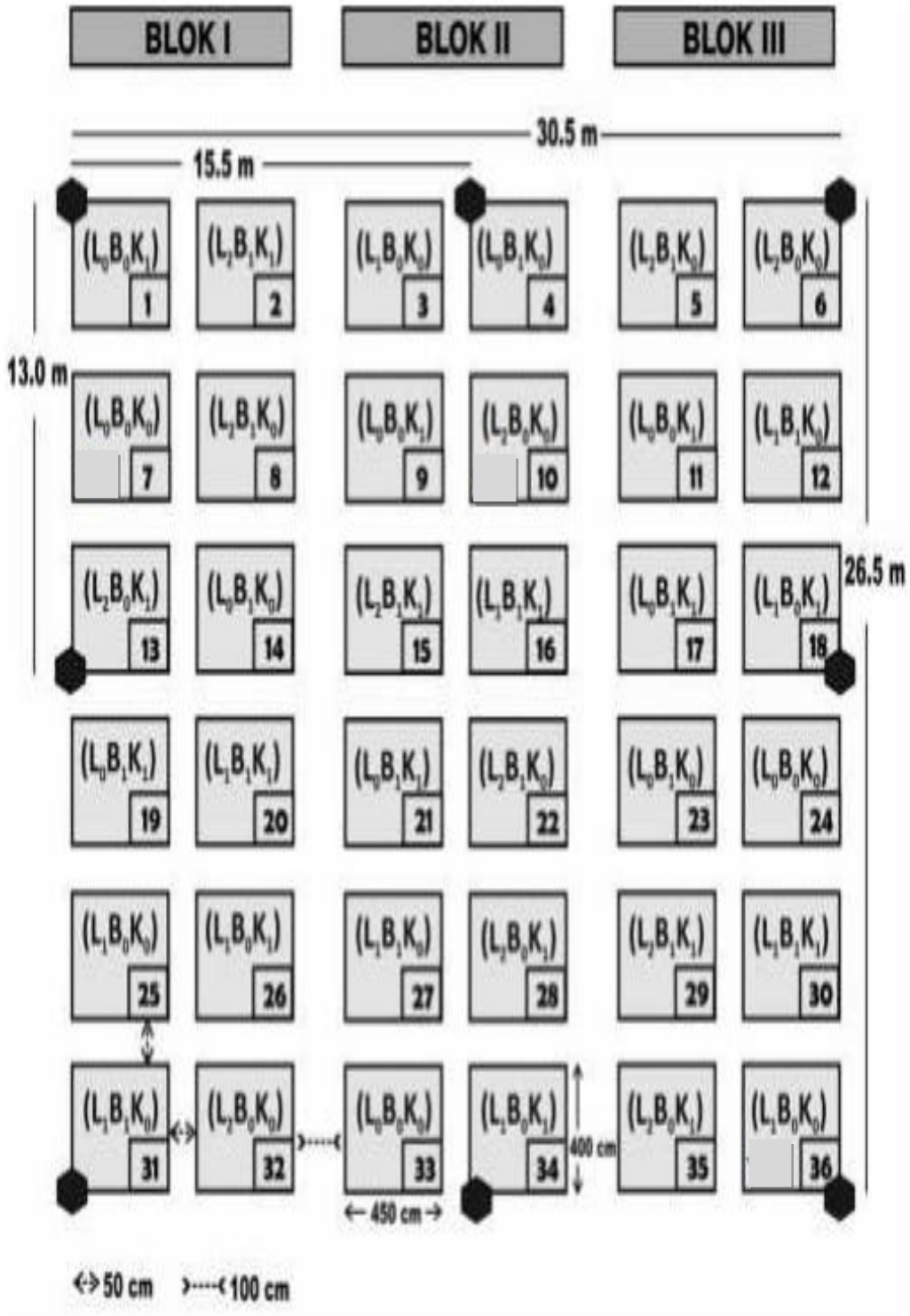
3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan yang disusun dalam rancangan acak kelompok dengan 3 faktor dan menggunakan 3 ulangan. Faktor ke-1 adalah limbah industri 0 Mg ha^{-1} (L_0), limbah 15 Mg ha^{-1} (L_1), dan limbah 60 Mg ha^{-1} (L_2). Faktor ke-2 adalah kompos daun singkong B_0 = 0 Mg ha^{-1}, B_1 = 5 Mg ha^{-1}. Faktor ke-3 adalah kapur ($CaCO_3$), K_0 = 0 Mg ha^{-1}, K_1 = 5 Mg ha^{-1}. Kombinasi faktor perlakuan ini berjumlah 12 satuan percobaan dengan 3 ulangan sebagai

kelompok sehingga diperoleh 36 satuan percobaan (Gambar 1). Plot percobaan masing-masing berukuran 4 m x 4,5 m dengan jarak 1 m antarblok dan 0,5 m antarplot dalam satu ulangan. Limbah industri, kompos daun singkong dan kapur diaplikasikan sejak tahun 1998 atau 23 tahun yang lalu.

Kegiatan percobaan ini dimulai dari pengolahan tanah satu kali sebelum tanam. Benih jagung ditanam satu pekan setelah pengolahan tanah. Benih jagung ditanam dengan jarak 25 cm x 75 cm dengan satu benih untuk setiap lubang tanam. Pupuk yang digunakan adalah campuran urea dan NPK dengan perbandingan 3:1 dengan dosis yang digunakan untuk urea 300 kg ha^{-1} dan NPK 100 kg ha^{-1}. Pupuk diberikan dua kali, yaitu pada saat tanaman berumur 1 pekan dan 6 pekan. Pupuk diaplikasikan dengan cara meletakkan pupuk di lubang dengan kedalaman ±5 cm di samping lubang tanam. Herbisida dan pestisida digunakan jika diperlukan.

Contoh tanah diambil dari seluruh petak percobaan (Gambar 1) sebelum dan setelah tanam. Contoh tanah sebelum tanam dilakukan pada saat pengolahan tanah. Contoh tanah setelah tanam diambil setelah panen. Contoh tanah diambil dari kedalaman 0-15 cm.



Gambar 1. Denah tata letak percobaan Sidosari, Lampung Selatan. (L = limbah industri, L_0 = 0 Mg ha^{-1}, L_1 = 15 Mg ha^{-1}, L_2 = 60 Mg ha^{-1}; B = kompos daun singkong, B_0 = 0 Mg ha^{-1}, B_1 = 5 Mg ha^{-1}, dan K = kapur ($CaCO_3$), K_0 = 0 Mg ha^{-1}, K_1 = 5 Mg ha^{-1}).

3.4 Sejarah Lahan

Lahan penelitian terletak di Desa Sidosari Kecamatan Natar, Lampung Selatan, telah mendapatkan perlakuan limbah (L) 0 ton ha^{-1} (L_0), 15 ton ha^{-1} (L_1), dan 60 ton ha^{-1} (L_2); kompos daun singkong (B) 0 ton ha^{-1} (B_0) dan 5 ton ha^{-1} (B_1); serta kapur (K) 0 ton ha^{-1} (K_0) dan 5 ton ha^{-1} (K_1), yang diaplikasikan dengan cara disebar di permukaan tanah dan diolah (dibajak dan digaru masing-masing sebanyak 2 kali) hingga kedalaman 20 cm pada Juli 1998 (Gambar 1). Lahan diaplikasikan dengan limbah industri sendok logam yang berasal dari PT *Star Metal Ware Industry,* Jakarta. Limbah tersebut memiliki pH 7,30; dengan kandungan Cu 754 mg kg^{-1} dan Zn 44,5 mg kg^{-1}. Bahan kompos berasal dari daun singkong yang diperoleh dari perkebunan singkong PT *Nusantara Tropical Fruits* di Way Jepara, Lampung Timur.

Tanaman pertama yang ditanam pada lahan tersebut adalah jagung kemudian padi gogo, kemudian singkong, dan kacang tanah secara bergantian serta diselingi dengan masa bera. Sebelum dilakukan penanaman, tanah diolah dengan cara dibajak dan digaru menggunakan traktor. Untuk memudahkan pengolahan tanah batas-batas antarpetak percobaan maupun antarblok diabaikan (*imaginer*), sehingga memungkinkan terjadinya perpindahan komponen tanah dari satu petak percobaan ke petak percobaan yang bersebelahan (Ginanjar, 2009). Beberapa hasil analisis sifat tanah dan limbah industri sebelum perlakuan diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Beberapa sifat tanah dan limbah industri lahan percobaan tahun 1998

Jenis Analisis	Metode		Tanah	Limbah Industri
		Fraksi(%)		
Tekstur	Hidrometer	Pasir	41.2	
		Debu	26,0	
		Liat	32,8	
pH	Elektrode pH		5,11	7,3
C-Organik (gkg^{-1})	Walkeyand Black		1,28	
Cu ($mgkg^{-1}$)	DTPA		1,6	754
Zn ($mgkg^{-1}$)	DTPA		0,13	44,6

Sumber : Salam, 2005.

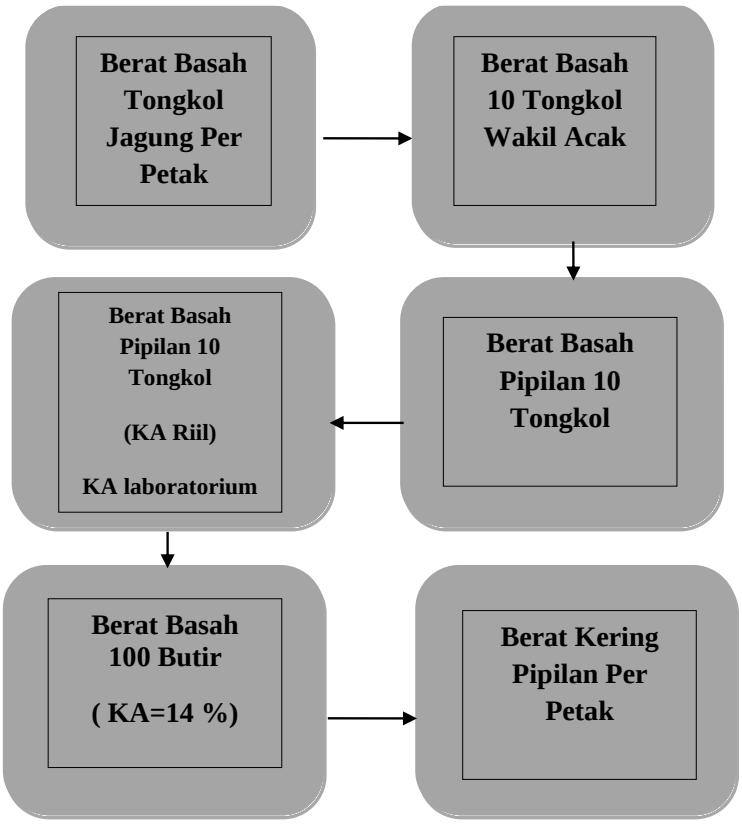
3.5 Pelaksanaan Percobaan

3.5.1 Pengambilan dan Persiapan Contoh Tanah

Untuk keperluan penelitian ini, contoh tanah diambil sebelum dan sesudah tanam. Contoh tanah diambil pada kedalaman 0-15 cm dari 5 titik per petak percobaan (Gambar 1). Contoh tanah yang sudah dikompositkan kemudian dikeringudarakan, diayak lolos 2 mm dan diaduk rata. Kadar air ditetapkan sebelum analisis tanah dilakukan. Analisis tanah dilakukan berbasis berat kering oven (24 jam 105^{o}C).

3.5.2 Pengamatan Contoh Tanaman

Pengamatan tanaman dilakukan untuk mendapatkan data pertumbuhan dan produksi. Pengamatan tinggi tanaman diukur 6 kali pada umur 1, 2, 4, 6, 8 dan 10 pekan setelah tanam. Untuk pengamatan tinggi tanaman ditetapkan 6 tanaman contoh yang telah ditentukan pada saat tanam. Pengamatan produksi dilakukan terhadap bobot pipilan per petak dan bobot 100 butir (Gambar 2).



Gambar 2. Diagram alir panen jagung 23 tahun pascaperlakuan.

3.5.3 Analisis Tanah

Analisis pada tanah dilakukan untuk menetapkan pH. Reaksi tanah dianalisis menggunakan elektrode pH dan pengekstrak air destilata dengan menggunakan perbandingan 1:2 antara tanah dengan air destilata. Data kandungan Cu dan Zn didapatkan dari data penelitian tahun 1998 dan 2019 (Suryanty,1999; Salam, dkk., 2021)

3.5.4 Analisis Data

Data yang digunakan pada Cu, Zn, pH dan C-Organik adalah data sekunder yang diambil dari data penelitian tahun 1998 dan 2019 (Suryanty,1999; Salam, dkk., 2021). Data dianalisis dengan analisis ragam (Anova) yang digunakan untuk mengevaluasi signifikan dari masing-masing faktor perlakuan. Perbedaan konsentrasi logam berat Cu, dan Zn, dan pH, pertumbuhan dan produksi tanaman jagung antarperlakuan diuji lanjut menggunakan Uji BNJ pada taraf nyata 5%. Seluruh data dibandingkan dengan percobaan yang sama yang dilakukannya pada tahun 1998 (Salam dkk., 1998).

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

1. Tidak terjadi perbedaan nyata terhadap pH, Cu dan Zn tanah akibat residu limbah, kapur dan kompos daun singkong 21-23 tahun pascaperlakuan.
2. Tidak terjadi perbedaan nyata terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman jagung akibat residu limbah, kapur dan kompos daun singkong 23 tahun pascaperlakuan.

5.2 Saran

1. Dilihat dari pola penyebaran logam berat perlu dilakukan penelitian lanjutan ditepi petak dan diluar petak percobaan untuk mengetahui pengaruh pengolahan tanah dan pencucian air.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan tanaman berbeda sehingga bisa dilihat keuntungan dari limbah industri berlogam berat Cu dan Zn secara menyeluruh, tidak hanya dari satu tanaman pangan saja. Selain itu, sebaiknya menemukan dosis yang cocok untuk menjadikan limbah industri sebagai pupuk.

DAFTAR PUSTAKA

Abdu, N. 2010. *Availability, Transfer and Balances of Heavy Metals in Urban Agriculture in West Africa [Chapter 2. Vertical Distribution of Heavy Metals in Waste-Water Irrigated Garden Soils of Three West African cities]*. Kassel University Press. Germany. 140 p.

Abdu, N. and Mohammed, I. 2016. Adsorption-Solubility Equilibria and Speciation of Pb, Cd, and Zn in a Savanna Soil. *Spanish Journal of Soil Science*. 6(3): 244 – 260.

Agustina, T. 2010. Kontaminasi Logam Berat pada Makanan dan Dampaknya pada Kesehatan. *Teknubuga*. 2(2): 53 – 65.

Alloway, B.J. 1990. *Heavy Metal in Soils*. John Willey and Sons inc. New York. 368 p.

Alrawiq, N., Khairiah, J., Talib, M.L., Ismail, B.S., and Anizan, I. 2014. Accumulation and Translocation of Heavy Metals in Soil & Paddy Plant Samples Collected From Rice Fields Irrigated With Recycled and Non-Recycled Water in MADA Kedah, Malaysia. *International Journal of ChemTech Research*. 6(4): 2347 – 2356.

Amirulloh. 2000. Tinggalan Unsur Hara Mikro Kelompok Logam Berat Asal Limbah Industri dalam Tanah yang Telah Diperlakukan dengan Kapur dan Kompos Daun Singkong. *Skripsi*. Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Bandar Lampung. 85 hlm.

Baker, D.E. 1990. *Copper in Alloway, B.J. Heavy Metals in Soils*. Blackie. London. 368 p.

Darmono. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. UI-Press. Jakarta.140 hlm.

Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran* : *Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam*. UI Press. Jakarta. 168 hlm.

Duffus, J. H. 2002. "Heavy metals" a meaning lessterm?. *Pure Appl. Chem*. 74(5): 793 – 807.

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, S.M., Sasmita, A., dan Elystia, S. 2021. Pengaruh Variasi Dosis Penambahan Biochar Sekam Padi terhadap Efisiensi Penyisihan Logam Berat Cd pada Tanah Tercemar. *Jom Fteknik*. 8 (1) : 1-6.

Fageria, N.K., Baligar, V.C., and Jones, C.A. 1997. *Growthand Mineral Nutrition of Field Crops*. 2nd edition. CRC Press. Florida. 640p.

Ginanjar, K. 2009. Fraksi Labil Tembaga dan Seng dalam Tanah pada 10 tahun Setelah Perlakuan dengan Limbah Industri. *Skripsi*. Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Bandar Lampung. 68 hlm.

Han, F.X., Kingery, W.L., Selim, H.M., Gerard, P.D., Cox, M.S., Oldham, J.L. 2004. Arsenic Solubility and Distribution In Poultry Waste and Long-Term Amended Soil. *Sci Total Environ*. 320: 51–61.

Hidayat, B. 2015. Remidiasi Tanah Tercemar Logam Berat dengan menggunakan Biochar. *Jurnal Pertanian Tropik*. 1(2): 31-41.

Liao, Y.C., Chien, C. S.W., Wang, M.C., Shen, Y., Hung, P.L., and Das, B. 2006. Effect of Transpiration on Pb Uptake By Lettuce and on Water Soluble Low Molecular Weight Organic Acids in Rhizosphere. *Chemosphere*. 65: 343 – 351.

Mao, X.Y., Han, F.X., Shao, H.X., Guo, K., McComb, J., Njmanze, S. 2015. Electro Kinetic Remediation Coupled With Phytoremediation to Remove Lead, Arsenic and Cesium from Contaminated Paddy Soil. *Ecotox Environ Safe*. 125: 16–24.

McLean, J.E. and Bledsoe, B.E. 1992. *Ground Water Issue*. United States Environmental Protection Agency (EPA). EPA/540/S-92/018. Washington D.C. 1 – 25 p.

Rina, Th. M. dan Wardani, S. 2005. Analisis logam berat dalam sampel tanah sayuran dengan metode analisis aktivasi neutron. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknik Nuklir*. Bandung 14-15 Juni 2005. Pusat Pengembangan Teknologi Reaktor Riset – BATAN.

Notohadiprawiro, T. 1998. *Tanah dan Lingkungan*. Direktorat Jenral Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Jakarta. 237 hlm.

Noviyanti, Jasruddin, dan Sujiono, E. H. 2015. Karakterisasi Kalsium Karbonat ($Ca(CO_3)$) dari Batu Kapur Kelurahan Tellu Limpoe Kecamatan Suppa. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*. 11(2): 169 – 172.

Novpriansyah,H., Pramono D.C, dan Salam A.K .2001. Ketersedian Unsur Hara Makro dan Mikro pada Tanah Ultisol Sungkai Utara yang Diperlakukan Pupuk Berbahan Baku Limbah Industri Sendok Logam, Kapur dan Gambut. *Jurnal Tanah Tropika.* 13(1):1-58.

Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta.Jakarta. 148 hlm.

Peterson, P. J. and Alloway, B. J. 1979. *Cadmium in Soils and Vegetation*. Researchgate Publication. 45-92.

Prihatin, F. 2002. Pengaruh Tinggalan Limbah Industri, Kapur, dan Kompos Daun Singkong terhadap Ketersediaan Logam Berat Cu dan Zn pada Beberapa Kedalaman Tanah Ultisol Sidosari Natar Lampung Selatan. *Skripsi*. Fakultas Pertanian Universitas Lampung. 59 hlm.

Ridhowati, S. 2013. *Mengenal Pencemaran Ragam Logam*. Cetakan pertama. Graha Ilmu. Yogyakarta. 62 hlm.

Rosliani, R. Sumarni, N. dan Sulastrini. I. 2010. Pengaruh Cara Pengolahan Tanah dan Tanaman Kacang-Kacangan sebagai Tanaman Penutup Tanah terhadap Kesuburan Tanah dan Hasil Kubis di Dataran Tinggi. *Jurnal Hortikultura*. 20(1):36-44.

Salam, A.K. 1995. Imobilisasi logam berat di dalam tanah selama 15 tahun. *J. Ilmiah Ilmu-Ilmu Pertanian*. 3(1): 20 – 27.

Salam, A.K., Djuniwati, S. Sriyani, N., Novpriansyah, H., Septiana, A., and Putera, H.D. 1997a. The DPTA-extractable heavy metals in tropical soils treated with lime materials. J. Trop. Agric. 8(1): 6 – 12.

Salam, A.K., Sarno., dan Sriyani, N.1998.Tanggapan Tanaman Jagung Terhadap limbah Industri Berlogam Berat Di Tanah Ultisol Sidosari Natar Bandar Lampung. *Proseding Seminar Nasional , dan Pertemuan Tahunan Komda HITI 1998*. 436-441.

Salam, A.K., Djuniwati, S. dan Novpriansyah, H. 1998. Perubahan Kelarutan Seng Asal Limbah Industri didalam Tanah Tropika Akibat Penambahan Kapur dan Kompos Daun Singkong. *Jurnal Tanah Tropika*. 6(1):111-117.

Salam, A. K. 2000. A Four Year Study on The effects of Manipulated Soil pH and Organic Matter Contents on Availabilities of Industrial-Waste-Origin Heavy Metal in Tropical Soils. *Jurnal Tanah Tropika*. 11 (1):31-46.

Salam, A. K. 2012. *Ilmu Tanah Fundamental*. Global Madani Press. Bandar Lampung. 362 hlm.

Salam, A. K. 2017. *Management of Heavy Metals in Tropical Soil Enviroment*. Global Madani Press. Lampung. 257 hlm

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*. 14 p.

Subandi dan Wijanark, A. 2013. Pengaruh Teknik Pemberian Kapur terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai pada Lahan Kering Masam. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 3(32): 171-178.

Sudadi, U., Anwar, S., Hartono, A., Nugroho, B., and Indriyati, LT. 1996. *Efforts Control of Heavy Metal Reactivity on Textured Soil Coarse through Calcification, Organic Giving and Zeolite*. OPF-IPB. Bogor.

Suryanty. 1999. Ketersediaan Tembaga Dan Seng di Tanah Ultisol Sidossari Bagi Tanaman Jagung (Zea mays L) Dengan Perlakuan Limbah Industri Berlogam Berat, Kompos Daun Singkong dan Kapur. *Skripsi*. Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Bandar Lampung. 48 hlm.

Sutamihardja. 2006. *Toksikologi Lingkungan (Buku I)*. Program Ilmu Studi Lingkungan. Universitas Indonesia. Jakarta. 348 hlm.

Sutanto, R. 2005. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Kanisius. Yogyakarta. 208 hlm.

Tan, K.H. 1982. *Principles of Soil Chemistry*. Inc. 270 Madison Avenue. New York. (*Terjemahan* D.H Goenadi. 1998. *Dasar-Dasar Kimia Tanah*. Gadjah Mada Univ. Press. Yogyakarta. 296 hlm.

Utomo, M., Sudarsono, Rusman, B., Sabrina, T., Lumbanraja, J., dan Wawan. 2016. Ilmu Tanah Dasar-Dasar dan Pengelolaan. Prenadamedia Group. Jakarta. 433 hlm.

Widaningrum, Miskiyah, dan Suismono. 2007. Bahaya Kontaminasi Logam Berat dalam Sayuran dan Alternatif Pencegahan Cemarannya. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian*. 3: 16-27.

Winarso, S. 2005. *Kesuburan Tanah*. Gava Media. Yogyakarta. 263 hlm.

Waluyaningsih, S. R. 2008. Studi Analisis Kualitas Tanah Pada Beberapa Penggunaan Lahan dan Hubungannya dengan Tingkat Erosidi Sub Das Keduang Kecamatan Jatisrono Wonogiri. *Tesis*. Program Pascasarjana Universitas Sebelas Maret. Surakarta. 49 hlm.