

**PENGARUH KOMBINASI BIOCHAR DAN PUPUK KANDANG SAPI
DENGAN PEMUPUKAN NPK TERHADAP KETERSEDIAAN UNSUR
HARA MIKRO Cu DAN Zn DI DALAM TANAH DAN SERAPANNYA
PADA TANAMAN JAGUNG**

(Skripsi)

Oleh

Shinta Afrilia

2014181018



**JURUSAN ILMU TANAH
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

**PENGARUH KOMBINASI BIOCHAR DAN PUPUK KANDANG SAPI
DENGAN PEMUPUKAN NPK TERHADAP KETERSEDIAAN UNSUR
HARA MIKRO Cu DAN Zn DI DALAM TANAH DAN SERAPANNYA
PADA TANAMAN JAGUNG**

Oleh

**Shinta Afrilia
2014181018**

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Ilmu Tanah
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PENGARUH KOMBINASI BIOCHAR DAN PUPUK KANDANG SAPI DENGAN PEMUPUKAN NPK TERHADAP KETERSEDIAAN UNSUR HARA MIKRO Cu DAN Zn DI DALAM TANAH DAN SERAPANNYA PADA TANAMAN JAGUNG

Oleh

SHINTA AFRILIA

Tanaman jagung membutuhkan unsur hara mikro esensial diantaranya Cu dan Zn untuk pertumbuhannya. Praktik pengelolaan tanah seperti aplikasi kombinasi biochar dan pupuk kandang sapi serta pemupukan NPK kemungkinan dapat mempengaruhi ketersediaan unsur hara mikro terutama unsur Cu dan Zn di dalam tanah dan serapannya pada tanaman jagung. Ketersediaan Cu dan Zn pada sampel tanah dianalisis menggunakan metode ekstraksi DTPA pH 7,3 dan kandungan Cu dan Zn pada sampel tanaman dianalisis dengan metode U.S. EPA 200.7 Revisi 5.0 tahun 2001. Ketersediaan Cu di dalam tanah berkisar 0,19-0,42 mg kg⁻¹ dan ketersediaan Zn di dalam tanah paling tinggi pada perlakuan kombinasi biochar tongkol jagung dan pupuk kandang sapi sebesar 2,12 mg kg⁻¹. Serapan Cu pada brangkasan tertinggi pada perlakuan kombinasi biochar tongkol jagung dan pupuk kandang sapi sebesar 21,73 g ha⁻¹ dan pemupukan 1 dosis NPK sebesar 25,15 g ha⁻¹. Kombinasi biochar tongkol jagung dan pupuk kandang sapi meningkatkan ketersediaan Zn di dalam tanah dan serapan Cu pada brangkasan tanaman jagung. Pemupukan NPK dengan dosis penuh berpengaruh nyata meningkatkan serapan Cu pada brangkasan tanaman jagung. Interaksi kedua perlakuan tersebut menghasilkan ketersediaan Cu yang relatif rendah, menurunkan serapan Zn pada brangkasan dan meningkatkan serapan Cu pada biji jagung.

Kata Kunci: Biochar, Cu-tersedia, Pupuk Kandang Sapi, Pupuk NPK, Serapan Cu dan Zn, Zn-tersedia

ABSTRACT

THE EFFECTS OF BIOCHAR AND COW MANURE COMBINATION WITH NPK FERTILIZER ON THE AVAILABILITY OF Cu AND Zn IN SOIL AND THEIR UPTAKE BY CORN PLANTS

By

SHINTA AFRILIA

Corn plant requires essential micronutrients such as Cu and Zn for its growth. Soil management practices such as applying a combination of biochar and cow manure along with NPK fertilization may effect the availability of these micronutrients particularly Cu and Zn in the soil and their uptake by corn plants. The availability of Cu and Zn in the soil samples was analyzed using the DTPA extraction method at pH 7.3 while the Cu and Zn contents in plant samples were assessed using the U.S. EPA 200.7 Revision 5.0 method 2001. Copper availability in the soil ranged from 0.19 to 0.42 mg kg⁻¹, with the highest Zn availability was observed in the soil applied with a combination of corn cob biochar and cow manure, *i.e.* 2.12 mg kg⁻¹. The highest copper uptake in corn shoots was observed in the combination of corn cob biochar and cow manure, *i.e.* 21.73 g ha⁻¹, and with one dose of NPK, *i.e.* 25.15 g ha⁻¹. The combination of corn cob biochar and cow manure increased Zn availability in the soil and Cu uptake in corn shoots. Full dose NPK fertilization significantly enhanced Cu uptake in the corn shoots. The interaction resulted in relatively low Cu availability, decreased Zn uptake in the corn shoots, and increased Cu uptake in the corn seeds.

Keywords: Available-Cu, Available-Zn, Biochar, Cu and Zn uptake, Cow Manure, NPK Fertilizer

Judul Skripsi : **PENGARUH KOMBINASI BIOCHAR DAN PUPUK KANDANG SAPI DENGAN PEMUPUKAN NPK TERHADAP KETERSEDIAAN UNSUR HARA MIKRO Cu DAN Zn DI DALAM TANAH DAN SERAPANNYA PADA TANAMAN JAGUNG**

Nama Mahasiswa : **Shinta Afrilia**

NPM : **2014181018**

Jurusan : **Ilmu Tanah**


Fakultas : **Pertanian**

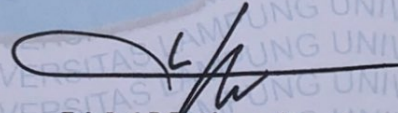


1. Komisi Pembimbing

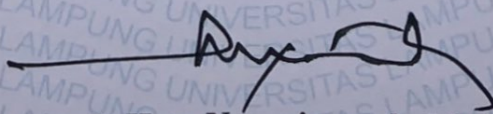
Pembimbing pertama

Pembimbing kedua


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


Liska Mutiara Septiana, S.P., M.Si.
NIP 198809192019032014

2. Ketua Jurusan Ilmu Tanah


Ir. Hery Novpriansyah, M.Si.
NIP 196611151990101001

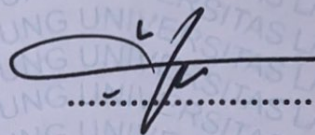
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

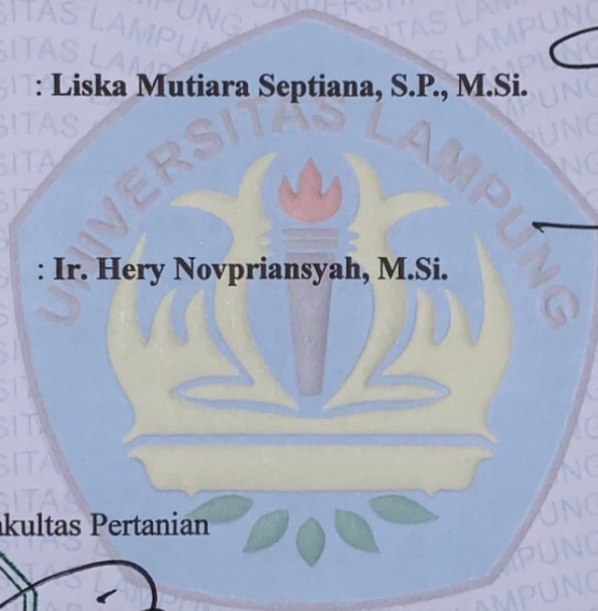
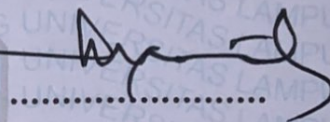
Ketua : **Dr. Supriatin, S.P., M.Sc.**



Sekretaris : **Liska Mutiara Septiana, S.P., M.Si.**



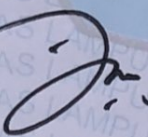
Penguji : **Ir. Hery Novpriansyah, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Pertanian

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

NIP. 196411181989021002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **16 Agustus 2024**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“Pengaruh Kombinasi Biochar dan Pupuk Kandang Sapi dengan Pemupukan NPK terhadap Ketersediaan Unsur Hara Mikro Cu dan Zn di dalam Tanah dan Serapannya pada Tanaman Jagung”** merupakan hasil karya saya sendiri bukan hasil karya orang lain. Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian dosen, yaitu Prof. Dr. Ir. Sri Yusnaini, M.Si., Prof. Dr. Ir. Jamalam Lumbanraja, M.Sc., Dr. Supriatin, S.P., M.Sc., dan Liska Mutiara Septiana, S.P., M.Si. dengan sumber dana DIPA Fakultas Pertanian, Universitas Lampung T.A 2024.

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

Bandar Lampung, 20 Agustus 2024
Penulis,



Shinta Afrilia
NPM 2014181018

RIWAYAT HIDUP



Shinta Afrilia adalah nama penulis Skripsi ini. Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 30 April 2001 sebagai anak keempat dari 5 bersaudara dari pasangan Bapak Abdul Fatah dan Ibu Andriyeni (Almh). Penulis mulai menempuh pendidikan formal di SD Negeri 2 Harapan Jaya pada tahun 2008-2014, kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 29 Bandar Lampung pada tahun 2014-2017, dan selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 9 Bandar Lampung pada tahun 2017-2020.

Penulis diterima sebagai mahasiswa baru dan terdaftar di Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2020 melalui jalur masuk Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi (SBMPTN). Pada bulan Januari-Februari 2023 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Pekon Sumberrejo, Kecamatan Bangkunt, Kabupaten Pesisir Barat. Kemudian pada bulan Juli-Agustus 2023, penulis melakukan Praktik Umum di UMKM Pupuk Organik Kalam Gading Rejo.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif mengikuti kegiatan akademik dan organisasi kampus. Kegiatan akademik yang pernah penulis lakukan yaitu mengikuti Kursus Digital Komunikasi Bisnis pada Program Kredensial Mikro Mahasiswa Indonesia (KMMI) dan menjadi asisten dosen praktikum Kimia Dasar Organik. Sedangkan organisasi kampus yang pernah penulis ikuti yaitu Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Unila sebagai anggota muda dan Gabungan Mahasiswa Ilmu Tanah Unila (Gamatala) pada tahun 2021-2023.

MOTTO

Sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang berbuat baik

(QS. Al-Baqarah ayat 195)

Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya

(QS. Al-Baqarah ayat 286)

Live as if you were to die tomorrow. Learn as if you were to live forever.

(Mahatma Gandhi)

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan segala puji dan syukur kepada Allah SWT.

Aku persembahkan sebuah karya tulis sederhana kepada kedua orang tuaku tersayang mama dan papa, sebagai suatu bentuk kecil kesungguhanku dalam mewujudkan perjuangan kalian selama membesarkanku. Walaupun cinta dan kasih yang kalian berikan tidak akan pernah bisa terbalaskan, tetapi semoga semua yang kalian berikan kepadaku kelak menjadi amal *jariyah*.

Aamiin Ya Rabbal Alamin

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan kesehatan, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Pengaruh Kombinasi Biochar dan Pupuk Kandang Sapi dengan Pemupukan NPK terhadap Ketersediaan Unsur Hara Mikro Cu dan Zn di dalam Tanah dan Serapannya pada Tanaman Jagung” sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Pertanian. Penulisan skripsi ini dapat terlaksana baik dengan bantuan dan arahan dari dosen pembimbing, dan bantuan materi maupun moril dari keluarga dan kerabat. Sehingga penulis banyak mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang terlibat dalam penulisan skripsi sebagai berikut:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M. P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Bapak Ir. Hery Novpriansyah, M.Si. selaku Ketua Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung, sekaligus dosen pembimbing akademik dan penguji yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, motivasi, kiritik serta saran selama masa kuliah dan penulisan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Supriatin, S.P., M.Sc. selaku dosen pembimbing utama yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan, bantuan, memotivasi sehingga penulis bisa menyelesaikan penulisan skripsi ini.
4. Ibu Liska Mutiara Septiana, S.P., M.Si. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan arahan, motivasi, kritik dan saran yang membangun semangat sehingga penulis bisa menyelesaikan penulisan skripsi ini.
5. Bapak dan Ibu dosen Fakultas Pertanian terutama Jurusan Ilmu Tanah yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat bagi penulis.

6. Karyawan dan Karyawati lingkup Fakultas Pertanian terutama di Jurusan Ilmu Tanah yang telah memberikan bantuan selama penelitian hingga penulis menyelesaikan penulisan skripsi ini.
7. Kedua orang tuaku tersayang dan tercinta, Bapak Abdul Fatah dan Mama Andriyeni (Almh) yang telah mencurahkan segala kasih sayang dan dedikasi dalam mendidik penulis sepanjang hidupnya, terutama mama yang telah menjadi guru pertama dalam hidup penulis yang mengajarkan banyak sekali pelajaran hidup yang tidak bisa penulis dapatkan dari manapun, sehingga penulis bisa menyelesaikan studi. Terima kasih kedua orang tuaku semoga kebaikan kalian menjadi amal ibadah.
8. Kakak-kakak penulis, Afrisal Safari, S.T.P., Dera Nur Afni, S.Gz., Destriani Laras, S.Pd., dan satu-satunya adik penulis Dimas Nafhan Falamba yang telah memberikan motivasi, semangat dan bantuan baik materi maupun moril. Terutama teteh Dera yang telah memberikan arahan dan menjadi tempat berkeluh kesah selama penulis menyelesaikan penulisan skripsi.
9. Sahabatku, Mainur Hawa Kalsum Syafitri terimakasih telah kebersamai perjalanan hidup penulis sejak di bangku Sekolah Dasar hingga sekarang. Terimakasih telah menjadi tempat berkeluh kesah dan selalu memberikan keceriaan.
10. Teman-teman “Basket Banget” Gian Anisa, Vero Feni, Kezia Amelia, dan Triana Febriyanti yang selalu memberikan semangat dan motivasi ketika penulis sedang merasa sedih dan merayakan setiap langkah penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.
11. Temanku tersayang semasa kuliah, Septia Azizah Irsa yang telah kebersamai penulis dalam menjalankan studi dan memberikan keceriaan sehingga penulis bisa melewati masa-masa sulit.
12. Teman seperjuangan penelitian, Keisha Cherylla Dewi Iskandar dan bang Bayu Hendarto yang telah bekerja sama dalam penelitian dan selalu kompak sehingga penulis bisa menyelesaikan penulisan skripsi ini.
13. Teman-teman “Umat *Nice Try*” Ais, Fiola, Rangga, Iqbal dan Rayhan yang telah memberikan semangat dan memotivasi penulis untuk menyelesaikan penulisan skripsi ini.

14. Teman-teman revisian kak Dhica dan Marizka yang telah kebersamai proses penulis selama melakukan revisi skripsi ini.
15. Teman-teman seperjuangan Jurusan Ilmu Tanah angkatan 2020 dan semua pihak yang terlibat dalam penulisan skripsi ini dan tidak bisa disebutkan satu persatu.
16. *Last but not least* Shinta Afrilia, diri penulis sendiri. Apresiasi yang sebesar-besarnya karena sudah menjadi pribadi yang kuat, pantang menyerah, dan selalu semangat dalam menjalani setiap proses perkuliahan sehingga bisa menyelesaikan studi dengan penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berdoa semoga semua kebaikan pihak yang terlibat dalam penulisan skripsi ini menjadi amal ibadah. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis dengan senang hati menerima kritik, saran dan masukan yang sifatnya membangun. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri maupun pembaca. Terima kasih.

Bandar Lampung, 20 Agustus 2024

Penulis,

Shinta Afrilia

NPM 2014181018

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Kerangka Pemikiran.....	5
1.5 Hipotesis	8
II. TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Keberadaan Unsur Hara Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) di Dalam Tanah dan Tanaman	9
2.2 Biochar dan Pupuk Kandang Sapi Sebagai Bahan Pembenh Tanah	11
2.3 Pemupukan NPK.....	12
2.4 Pengaruh Biochar, Pupuk Kandang Sapi, dan Pemupukan NPK terhadap Pertumbuhan Tanaman dan Serapan Unsur Hara Mikro pada Tanaman	14
III. METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.3 Rancangan dan Perlakuan	16
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	17
3.4.1 Persiapan Bahan Pembenh Tanah.....	17
3.4.2 Persiapan Lahan	18
3.4.3 Pengaplikasian Bahan Pembenh Tanah.....	19
3.4.4 Penanaman	19
3.4.5 Pemupukan.....	19
3.4.6 Pemeliharaan Tanaman	20
3.4.7 Panen.....	20
3.4.8 Pengambilan Sampel Tanah dan Tanaman Jagung	20
3.5 Variabel Pengamatan.....	21
3.5.1 Variabel Utama.....	21

3.5.1.1 Kandungan Cu dan Zn Tersedia pada Tanah.....	21
3.5.1.2 Berat Kering Tanaman Jagung.....	22
3.5.1.3 Serapan Cu dan Zn pada Tanaman Jagung.....	22
3.5.2 Variabel Pendukung	23
3.6 Analisis Data	23
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Karakteristik Tanah Awal	24
4.2 Ketersediaan Cu di Dalam Tanah.....	25
4.3 Ketersediaan Zn di Dalam Tanah.....	26
4.4 pH Tanah, C-Organik, P-tersedia	28
4.4.1 pH Tanah	28
4.4.2 C-Organik.....	29
4.4.3 P-tersedia.....	31
4.5 Berat Kering Brangkasan, Serapan Cu dan Zn pada Brangkasan Tanaman Jagung.....	32
4.5.1 Berat Kering Brangkasan	32
4.5.2 Serapan Cu pada Brangkasan Tanaman Jagung.....	34
4.5.3 Serapan Zn pada Brangkasan Tanaman Jagung.....	35
4.6 Berat Kering Biji Jagung, Serapan Cu dan Zn pada Biji Jagung.....	38
4.6.1 Berat Kering Biji Jagung.....	38
4.6.2 Serapan Cu pada Biji Jagung	39
4.6.3 Serapan Zn pada Biji Jagung.....	41
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	43
5.1 Simpulan	43
5.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA.....	44
LAMPIRAN.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Hasil analisis sifat biochar	18
2. Dosis pemupukan dan jenis pupuk	19
3. Hasil analisis sifat tanah awal	24
4. Hasil analisis ragam variabel utama dan pendukung	25
5. Pengaruh Interaksi pemberian kombinasi biochar dan pupuk kandang sapi dan pemupukan NPK terhadap ketersediaan Cu di dalam Tanah	26
6. Pengaruh pemberian kombinasi biochar dan pupuk kandang sapi dan pemupukan NPK terhadap ketersediaan unsur mikro Zn di dalam tanah.....	27
7. Pengaruh pemberian kombinasi biochar dan pupuk kandang sapi dan pemupukan NPK terhadap pH tanah, C-organik, dan P-tersedia di dalam tanah	28
8. Interaksi sifat tanah dengan ketersediaan unsur hara mikro Cu dan Zn di dalam tanah	30
9. Pengaruh pemberian kombinasi berbagai jenis biochar dan pupuk kandang sapi dan pemupukan NPK terhadap berat kering brangkasan dan serapan Cu pada brangkasan tanaman jagung.....	33
10. Pengaruh interaksi pemberian kombinasi berbagai jenis biochar dan pupuk kandang sapi dengan pemupukan NPK terhadap serapan Zn di dalam brangkasan tanaman jagung (data transformasi $\sqrt{}$)	36
11. Pengaruh pemberian kombinasi berbagai jenis biochar dan pupuk kandang sapi dan pemupukan NPK terhadap berat kering biji tanaman Jagung	38

12. Pengaruh interaksi kombinasi berbagai jenis biochar dan pupuk kandang sapi dengan pemupukan NPK terhadap serapan Cu pada biji jagung (data transformasi√)	40
13. Pengaruh interaksi pemberian kombinasi berbagai jenis biochar dan pupuk kandang sapi dengan pemupukan NPK terhadap serapan Zn di dalam biji jagung.....	42
14. Pengaruh kombinasi berbagai jenis biochar dan pupuk kandang sapi dengan pemupukan NPK terhadap ketersediaan Cu di dalam tanah.....	53
15. Uji homogenitas ketersediaan Cu di dalam Tanah	53
16. Analisis ragam ketersediaan Cu di dalam Tanah	54
17. Pengaruh kombinasi biochar dan pupuk kandang sapi dan pemupukan NPK terhadap ketersediaan Zn di dalam tanah	54
18. Uji homogenitas ketersediaan Zn di dalam Tanah	55
19. Analisis ragam ketersediaan Zn di dalam Tanah.....	55
20. Pengaruh kombinasi biochar dan pupuk kandang sapi dan pemupukan NPK terhadap berat kering brangkasan tanaman jagung	56
21. Uji homogenitas berat kering brangkasan tanaman jagung	56
22. Analisis ragam berat kering brangkasan tanaman jagung.....	57
23. Hasil pengukuran ICP-OES kandungan Cu dan Zn di brangkasan.....	57
24. Pengaruh kombinasi biochar dan pupuk kandang sapi dan pemupukan NPK terhadap serapan Cu pada brangkasan tanaman jagung	58
25. Uji homogenitas serapan Cu pada brangkasan tanaman jagung	58
26. Analisis ragam serapan Cu pada brangkasan tanaman jagung.....	59
27. Pengaruh kombinasi biochar dan pupuk kandang sapi dan pemupukan NPK terhadap serapan Zn pada brangkasan tanaman jagung (data asli)	59
28. Pengaruh kombinasi biochar dan pupuk kandang sapi dan pemupukan NPK terhadap serapan Zn pada brangkasan tanaman jagung (data transformasi √)	60

29. Uji homogenitas serapan Zn pada brangkasan tanaman jagung (data transformasi $\sqrt{}$)	60
30. Analisis ragam serapan Zn pada brangkasan tanaman jagung (data transformasi $\sqrt{}$)	61
31. Pengaruh kombinasi biochar dan pupuk kandang sapi dan pemupukan NPK terhadap bobot biji jagung kering oven.....	61
32. Uji homogenitas bobot biji jagung kering oven.....	62
33. Analisis ragam bobot biji jagung kering oven	62
34. Pengaruh kombinasi biochar dan pupuk kandang sapi dan pemupukan NPK terhadap serapan Cu pada biji jagung (data asli)	63
35. Pengaruh kombinasi biochar dan pupuk kandang sapi dan pemupukan NPK terhadap serapan Cu pada biji jagung (data transformasi $\sqrt{}$).....	64
36. Uji homogenitas serapan Cu pada biji jagung (data transformasi $\sqrt{}$).....	64
37. Analisis ragam serapan Cu pada biji jagung (data transformasi $\sqrt{}$)	65
38. Pengaruh kombinasi biochar dan pupuk kandang sapi dan pemupukan NPK terhadap serapan Zn pada biji jagung.....	65
39. Uji homogenitas serapan Zn pada biji jagung.....	66
40. Analisis ragam serapan Zn pada biji jagung	66
41. Pengaruh kombinasi biochar dan pupuk kandang sapi dan pemupukan NPK terhadap pH tanah	67
42. Uji homogenitas pH tanah.....	67
43. . Analisis ragam pH tanah	68
44. Pengaruh kombinasi biochar dan pupuk kandang sapi dan pemupukan NPK terhadap C-Organik.....	68
45. Uji homogenitas C-Organik	69
46. Analisis ragam C-Organik.....	69
47. Pengaruh kombinasi biochar dan pupuk kandang sapi dan pemupukan NPK terhadap P-tersedia	70
48. Uji homogenitas P-tersedia	70

49. Analisis ragam P-tersedia.....	71
50. Hasil Analisis sifat tanah awal	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Tata Letak Petak Percobaan.....	16

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jagung (*Zea mays*, L.) merupakan salah satu tanaman berkarbohidrat yang multifungsi sebagai bahan pangan manusia, pakan ternak, bahan baku industri, dan sebagainya. Jagung mampu tumbuh di seluruh dunia dan memiliki jenis genetik yang sangat bervariasi, karena jagung dapat menghasilkan jenis genotipe baru yang dapat menyesuaikan dengan keadaan lingkungannya (Lelu dkk., 2018). Dalam proses pertumbuhan dan perkembangannya, tanaman jagung memerlukan unsur hara esensial. Terdapat 16 jenis unsur hara esensial yang terbagi menjadi unsur hara makro seperti C, H, O, N, P, K, Ca, S, dan Mg yaitu unsur hara yang dibutuhkan dalam jumlah besar dan unsur hara mikro seperti Cl, B, Fe, Mn, Cu, Zn, dan Mo yang relatif dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang lebih kecil (Jovita, 2018).

Kebutuhan unsur hara mikro yang cukup di dalam tanah sangat penting bagi pertumbuhan tanaman walaupun dibutuhkan dalam jumlah yang sangat sedikit. Berdasarkan golongannya, unsur hara mikro dibedakan menjadi unsur hara mikro nonlogam (Cl, B, dan Mo) dan logam (Cu, Zn, Fe, dan Mn). Unsur hara mikro logam seperti Cu diserap tanaman dalam bentuk ion Cu^{2+} dan ketersediaannya di dalam tanah sebesar 10-80 ppm sedangkan unsur Zn diserap tanaman dalam bentuk ion Zn^{2+} dan ketersediaannya di dalam tanah sebesar 10-30 ppm (Syekhfani, 2010). Unsur Cu pada tanaman memiliki fungsi sebagai aktivator enzim, membantu metabolisme karbohidrat dan protein, membantu perkembangan tanaman pada fase generatif sedangkan fungsi Zn pada tanaman yaitu berperan

sebagai pembentuk hormon tumbuh, berperan dalam pematangan biji-bijian, sebagai aktivator enzim dan berperan dalam biosintesis auksin dan pemanjangan sel serta ruas batang (Purba dkk. 2021). Selain dibutuhkan oleh tanaman selama masa pertumbuhannya, Cu dan Zn juga penting bagi manusia dan hewan. Pada manusia Zn merupakan logam vital terpenting kedua setelah besi (Huang dkk., 2023). Kekurangan Zn pada manusia akan menimbulkan gejala anoreksia, kehilangan nafsu makan, kehilangan kemampuan indra penciuman dan perasa, bahkan dapat berdampak pada sistem imun hingga menyebabkan arteriosklerosis dan amenia (Greydanus dan Smith, 2020). Sedangkan, pada hewan Zn merupakan unsur penting untuk kesehatan yang terlibat dalam proses biokimia untuk menunjang kehidupan (Ciosek dan Rotter, 2023). Fungsi utama Zn meliputi respirasi sel, konsumsi oksigen oleh sel, ekspresi DNA dan RNA, pelestarian integritas membran sel, menjebak radikal bebas, dan pertahanan terhadap peroksidasi lipid (Kanakari dan Dendrinou, 2023). Sehingga pentingnya unsur hara Cu dan Zn pada tanaman untuk pertumbuhan tanaman dan kesehatan manusia.

Ketersediaan Cu dan Zn di dalam tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, meliputi pH tanah, tekstur tanah, kandungan bahan organik, dan interaksi dengan ion lainnya. Sedangkan faktor-faktor yang mempengaruhi ketersediaan Zn mencakup pH tanah, interaksi dengan unsur lain, penjerapan pada mineral liat, kandungan bahan organik, tekstur tanah dan kandungan karbonat. Baik Cu maupun Zn cenderung membentuk kompleks jerapan dengan bahan organik di dalam tanah, sehingga ketersediaan kedua unsur tersebut cenderung rendah di tanah yang memiliki kandungan bahan organik tinggi. Ketersediaan Cu dan Zn pada tanah dengan tekstur berpasir juga tergolong rendah akibat Cu dan Zn tidak banyak terjerap pada koloid tanah dan hilang tercuci (Lestari, 2023). Penambahan bahan pembenah tanah dengan kandungan bahan organik yang tinggi seperti biochar dan pupuk kandang sapi diduga akan mempengaruhi ketersediaan Cu dan Zn di dalam tanah.

Biochar adalah bahan berkarbon yang berasal dari berbagai limbah hayati seperti sisa tanaman, serpihan kayu, kotoran hewan, dan lain-lain. Aplikasi biochar ke dalam tanah dapat meningkatkan pH tanah dan juga dapat menjerap berbagai jenis unsur logam melalui pertukaran ion dan kompleksasi permukaan (Wang dkk., 2017). Hasil penelitian Namgay (2010) menjelaskan bahwa terjadi penurunan yang signifikan terhadap konsentrasi Cu pada tunas tanaman jagung akibat aplikasi biochar. Di samping itu, hasil penelitian Antonangelo (2023) menjelaskan bahwa ketersediaan Zn di dalam tanah dan serapannya pada tanaman rumput gandum hitam setelah pemberian biochar menjadi menurun, hal tersebut dapat disebabkan karena kuatnya daya adsorpsi unsur logam tersebut pada partikel biochar. Selain itu, pupuk kandang sapi juga memiliki pengaruh terhadap ketersediaan unsur hara Cu dan Zn di dalam tanah. Hasil penelitian Hokayem dan Azzi (2014) menjelaskan bahwa konsentrasi Cu dan Zn di dalam tanah mengalami peningkatan sebesar 25% dan 15% setelah penambahan pupuk kandang sapi. Dengan manfaat dari kedua jenis bahan organik tersebut, maka penggunaannya dapat dikombinasikan yang mungkin dapat memberikan pengaruh dalam ketersediaan dan serapan unsur hara serta pertumbuhan tanaman. Penelitian Yunilasari dkk (2019) menjelaskan bahwa penambahan biochar dan pupuk kandang sapi memberikan hasil yang berbeda nyata terhadap berat biji tanaman antar perlakuan dan hasil yang paling tertinggi yaitu pada kombinasi biochar sekam padi dengan dosis 10 ton ha^{-1} dan pupuk kandang sapi dengan dosis 20 ton ha^{-1} .

Mobilitas unsur mikro sangat bergantung pada pH tanah, kandungan bahan organik serta kandungan unsur hara makro, termasuk fosfor. Pemupukan fosfor dapat membatasi ketersediaan Zn bagi tanaman, hal ini karena terjadi pengendapan $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ dalam larutan tanah dan penurunan mobilitas Zn. Selain itu, pemupukan nitrogen berkontribusi terhadap penurunan pH tanah, karena pemupukan nitrogen dalam bentuk amonium menghasilkan pengasaman tanah melalui nitrifikasi ion amonium. Seiring dengan meningkatnya pengasaman tanah, maka terjadi peningkatan kandungan unsur logam seperti Cu dan Zn yang tersedia di dalam tanah. (Fan dkk., 2011). Peningkatan dosis pemupukan NPK dapat

meningkatkan kandungan Cu dan Zn di dalam tanah (Huang, 2008). Hasil penelitian Mazur (2016) menjelaskan bahwa penggunaan pupuk NPK dalam jangka panjang dapat meningkatkan kandungan unsur logam di dalam tanah, terutama Cu, Zn dan Ni.

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan, penggunaan biochar dan pupuk kandang sapi serta pemupukan NPK kemungkinan dapat mempengaruhi ketersediaan unsur hara mikro terutama unsur Cu dan Zn di dalam tanah dan serapannya pada tanaman. Namun penelitian tentang pengaruh pemberian kombinasi biochar dan pupuk kandang sapi serta pupuk NPK terhadap ketersediaan Cu dan Zn di dalam tanah dan serapannya pada tanaman jagung belum banyak diketahui.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah aplikasi kombinasi berbagai jenis biochar dan pupuk kandang sapi berpengaruh terhadap ketersediaan unsur hara mikro Cu dan Zn di dalam tanah dan serapannya pada tanaman jagung?
2. Apakah pemupukan NPK berpengaruh terhadap ketersediaan unsur hara mikro Cu dan Zn di dalam tanah dan serapannya pada tanaman jagung?
3. Apakah terdapat pengaruh interaksi antara kombinasi berbagai jenis biochar dan pupuk kandang sapi dengan pemupukan NPK terhadap ketersediaan unsur hara mikro Cu dan Zn di dalam tanah dan serapannya pada tanaman jagung?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari pengaruh kombinasi berbagai jenis biochar (sekam padi, tongkol jagung, batang singkong) dan pupuk kandang sapi terhadap ketersediaan unsur hara mikro Cu dan Zn di dalam tanah dan serapannya pada tanaman jagung.

2. Mempelajari pengaruh pemupukan NPK terhadap ketersediaan unsur hara mikro Cu dan Zn di dalam tanah dan serapannya pada tanaman jagung.
3. Mempelajari pengaruh interaksi antara kombinasi berbagai jenis biochar (sekam padi, tongkol jagung, batang singkong) dan pupuk kandang sapi dengan pemupukan NPK terhadap ketersediaan unsur hara mikro Cu dan Zn di dalam tanah dan serapannya pada tanaman jagung.

1.4 Kerangka Pemikiran

Tembaga (Cu) dan seng (Zn) termasuk ke dalam unsur hara mikro esensial. Istilah unsur hara mikro untuk menunjukkan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah sedikit ($<0,5 \text{ g kg}^{-1}$ bahan kering tanaman) dan penting untuk pertumbuhan tanaman. Hasil dan kualitas tanaman berhubungan langsung dengan status unsur hara mikro dalam tanah (Dhaliwal dkk., 2021). Tembaga (Cu) dalam tanah dapat bersumber dari beberapa jenis mineral, seperti mineral Kalkosit (Cu_2S), kovelite (CuS), kalkopirit (CuFeS_2), dan lain-lain. Unsur Cu berperan sebagai penyusun tanaman sebesar 0,0006% yang diserap dalam bentuk kation Cu^{2+} . Tembaga (Cu) pada tanaman terdapat banyak di dalam kloroplas dan diikat oleh plastosianin (Kusumawati, 2021). Defisiensi Cu pada tanaman dikatakan apabila kandungannya $3\text{-}5 \text{ mg kg}^{-1}$ berat kering tanaman, kemudian apabila kandungan Cu sangat tinggi dapat menghambat pemanjangan akar dan kerusakan membran sel akar (Azeez dkk., 2014). Unsur hara Zn di dalam tanah dalam bentuk ion bebas (Zn^{2+} dan ZnOH^+) dan senyawa kompleks Zn dalam larutan, selain itu Zn berasal dari mineral sekunder dan kompleks yang tidak larut dalam fase tanah (Alloway., 2008). Seng (Zn) merupakan unsur hara mikro yang penting bagi manusia, hewan, dan tanaman. Seng (Zn) komponen penting dari berbagai enzim yang berfungsi mengkatalisis banyak reaksi metabolisme pada tanaman, selain itu Zn juga berperan penting dalam ketahanan tanaman terhadap penyakit, fotosintesis, integritas membran sel, sintesis protein, pembentukan serbuk sari dan meningkatkan tingkat enzim antioksidan dan klorofil dalam jaringan tanaman (Hussain dkk., 2015).

Penambahan bahan pembenah tanah seperti biochar, pupuk kandang sapi dan pemupukan NPK diharapkan mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara di dalam tanah. Biochar adalah bahan kaya karbon yang dihasilkan dari pirolisis biomassa. Suhu pirolisis dan komposisi bahan baku sangat berpengaruh terhadap sifat biochar (Tan dkk., 2015). Interaksi antara gugus OH^- bahan organik dalam biochar dengan ion Cu^{2+} dan Zn^{2+} akan menggantikan ion H^+ sehingga membentuk ikatan kompleks dan membuat kedua unsur hara tersebut tidak tersedia di tanah. Hasil penelitian Agusalim dkk. (2010) menjelaskan bahwa biochar sekam padi mengandung berbagai unsur hara. Kandungan unsur hara pada biochar sekam padi tidak sebanyak yang terkandung pada pupuk buatan, oleh karena itu penggunaan yang terbaik adalah dengan mencampur biochar dan pupuk buatan. Hasil penelitian Mautuka dkk. (2022) dan Setiawan dkk. (2022) menjelaskan bahwa pemberian biochar tongkol jagung dan batang singkong dapat meningkatkan sifat kimia tanah seperti kandungan unsur hara nitrogen, fosfor, dan kalium, KTK tanah, kandungan C-organik, pH tanah serta rasio C/N yang menjadi indikator kesuburan tanah.

Selain itu, pupuk kandang sapi merupakan salah satu jenis pupuk organik yang memiliki fungsi sebagai pengikat air, mampu memperbaiki struktur tanah, mengemburkan tanah, memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, mengurangi pencemaran lingkungan, meningkatkan produktivitas tanah dan mencegah degradasi tanah (Safuan, 2002). Kotoran sapi mengandung unsur hara makro yang dibutuhkan tanaman antara lain N, P, K dan unsur mikro. Terdapat perbedaan kandungan unsur hara pada kotoran sapi disebabkan karena kandungan unsur hara pupuk kandang dipengaruhi oleh spesies, umur dan kondisi hewan ternak, cara penanganan dan penyimpanan pupuk sebelum digunakan (Tetelay, 2018). Hasil penelitian Azad dkk. (2022) menjelaskan bahwa pada perlakuan pupuk kandang sapi memiliki nilai kandungan Zn pada biji gandum yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan pupuk kandang unggas dan perlakuan kontrol. Hasil penelitian Chaudhary dan Narwal, (2005) menemukan pengaruh dosis pupuk kandang 45 Mg ha^{-1} adalah yang paling signifikan meningkatkan

kandungan Zn, Fe, Mn dan Cu tersedia dalam tanah yang dapat diekstraksi dengan DTPA pada sistem pertanaman gandum millet.

Selanjutnya, pemupukan kimia berupa pupuk NPK bertujuan untuk menyediakan kembali unsur hara yang telah hilang dari dalam tanah karena terangkut saat panen. Penggunaan pupuk tersebut secara signifikan efektif dalam penyediaan unsur hara N, P, dan K untuk budidaya intensif, namun penggunaan pupuk tersebut yang tidak berimbang dapat berdampak terhadap defisiensi unsur hara mikro (Dhaliwal dkk., 2019). Unsur nitrogen, fosfor, dan kalium merupakan unsur hara yang diperlukan dalam jumlah besar dan menjadi faktor penting yang harus selalu tersedia bagi tanaman, selain itu unsur mikro juga berperan pada pertumbuhan tanaman walaupun diperlukan dalam jumlah yang lebih sedikit. Serapan unsur hara seperti Cu dan Zn umumnya meningkat akibat dari penambahan pupuk N, peningkatan ini disebabkan oleh penurunan pH tanah akibat pemupukan N sehingga meningkatkan ketersediaan Cu dan Zn serta unsur logam lainnya di dalam tanah. Penerapan kombinasi pupuk P dan N menunjukkan peningkatan yang signifikan kandungan unsur hara Zn di dalam tanah, sementara hasil terkecil terlihat pada kandungan unsur hara Cu dan Mn (Setia dan Sharma, 2004). Kandungan fosfat tanah yang tinggi atau pemupukan fosfat yang tinggi dapat mengurangi serapan Zn dan unsur hara lainnya (Kizilgoz dan Sakin 2010). Hasil penelitian Wei dkk. (2006) menjelaskan bahwa ketersediaan Zn dan Fe lebih besar pada perlakuan kombinasi nitrogen, fosfor, dan kalium (NPK) (pada berbagai takaran) dan pupuk organik dibandingkan dengan perlakuan kontrol, sedangkan ketersediaan tembaga (Cu) tidak dipengaruhi secara signifikan oleh pemupukan dalam kondisi yang sama. Selain itu, hasil penelitian Rutkowska dkk. (2014) menjelaskan bahwa penerapan jangka panjang pemupukan NPK + pupuk kandang menurunkan konsentrasi unsur logam Cu dan meningkatkan konsentrasi Zn dalam larutan tanah.

1.5 Hipotesis

Berdasarkan kerangka pemikiran yang telah dijelaskan, maka untuk menjawab rumusan masalah dinyatakan hipotesis sebagai berikut:

1. Perlakuan kombinasi berbagai jenis biochar (biochar sekam padi, tongkol jagung, batang singkong) dan pupuk kandang sapi menurunkan kandungan unsur hara mikro Cu dan Zn tersedia di dalam tanah dan serapannya pada tanaman jagung.
2. Pemupukan NPK meningkatkan ketersediaan unsur hara mikro Cu dan Zn di dalam tanah dan serapannya pada tanaman jagung.
3. Interaksi antara pemberian berbagai jenis biochar dan pupuk kandang sapi dengan pemupukan NPK meningkatkan ketersediaan unsur hara mikro Cu dan Zn di dalam tanah dan serapannya pada tanaman jagung.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Keberadaan Unsur Hara Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) di Dalam Tanah dan Tanaman

Unsur Cu terdapat pada kerak bumi memiliki konsentrasi berkisar 55 ppm, sedangkan konsentrasi total di dalam tanah berkisar 10-80 ppm dengan rata-rata konsentrasi berkisar 30 ppm dan kandungan total Cu pada tanah pertanian berkisar 1-50 ppm (Handayanto dkk., 2017). Unsur hara Cu di dalam tanah diserap oleh tanaman dalam bentuk Cu^{2+} atau dapat juga diserap dalam bentuk senyawa kompleks organik dengan kandungan serapan pada tanaman berkisar 7-30 ppm. Peran unsur hara Cu dalam tanaman yang terdapat dalam kloroplas adalah sebagai penyusun plastosianin dan stabilisator klorofil sehingga berhubungan dengan proses fotosintesis, kandungan Cu di dalam tubuh tanaman membentuk $\text{Cu}(\text{OH})_2$ yang berperan sebagai basa kuat yang mampu mematikan penyakit yang masuk ke dalam tubuh tanaman (Kusumawati, 2021).

Unsur Zn terdapat pada kerak bumi dengan kisaran kadar sebesar 80 ppm, sedangkan di dalam tanah berkisar 10-300 ppm. Unsur Zn sangat penting bagi manusia dan hewan. Unsur hara Zn memainkan peran penting dalam tanaman sebagai kofaktor katalitik, struktural dan pengatur dalam banyak reaksi enzimatik, selain itu, Zn diperlukan untuk metabolisme karbohidrat, yaitu sintesis protein biosintesis hormon pertumbuhan, terutama asam indoleasetat, dan pemeliharaan integritas membran sel (Broadley dkk., 2012). Unsur hara Zn diserap tanaman dalam bentuk Zn^{2+} , tetapi pada tanah dengan pH yang tinggi diserap dalam bentuk

$ZnOH^+$. Ketersediaan Zn dalam tanah dipengaruhi oleh pH tanah, kadar P dalam tanah, adanya liat dan penganan, dan bahan organik dalam tanah (Kusumawati, 2021). Tanaman yang mengalami defisiensi Zn akut menunjukkan pertumbuhan yang kerdil, klorofil daun kecil, ruas dan tangkai daun yang memendek, dan pengelompokan daun kecil yang cacat dibagian atas tanaman (gejala roset klasik dari dikotil). Pada tanah yang kekurangan Zn, hasil dan kualitas dapat berkurang, tanpa menimbulkan gejala defisiensi Zn pada tanaman (defisiensi tersembunyi) (Alloway, 2009).

Ketersediaan unsur Cu dan Zn di dalam tanah umumnya dipengaruhi oleh faktor-faktor yang mempengaruhi ketersediaan unsur mikro logam (Fe, Mn, Cu, Zn) antara lain total kandungan unsur mikro logam tersebut, pH tanah, kandungan bahan organik tanah, liat dan kalsium karbonat, kondisi redoks tanah, aktivitas mikroorganisme tanah di rizhosphere, konsentrasi unsur mikro logam yang lain, konsentrasi unsur hara makro, khususnya fosfor untuk unsur mikro Zn, dan iklim (Alloway, 2008). Status ketersediaan unsur hara mikro dalam tanah berubah seiring dengan perubahan sifat-sifat dasar tanah yaitu pH, kapasitas tukar kation, dan karbon organik tanah (Moharana dkk., 2017). Ketersediaan Zn akan menurun seiring dengan meningkatnya pH tanah, karena peningkatan kapasitas adsorpsi, pembentukan bentuk Zn yang terhidrolisis, kemungkinan pengikatan kimia pada kalsium karbonat dan pengendapan bersama dalam oksida besi. Kandungan fosfor yang tinggi dapat menurunkan ketersediaan Zn atau menimbulkan defisiensi Zn pada tanaman. Kandungan Cu yang lebih tinggi dibandingkan Zn dalam larutan tanah dapat mengurangi ketersediaan Zn bagi tanaman dan sebaliknya, karena persaingan untuk mendapatkan tempat yang sama untuk penyerapan ke dalam akar tanaman. Selain itu ketika bahan organik yang dapat terurai cepat seperti pupuk kandang ditambahkan ke dalam tanah, akan menambah ketersediaan Zn karena pembentukan kompleks Zn organik terlarut yang bersifat *mobile* dan mampu diserap ke dalam akar tanaman (Zhang dkk., 2015).

2.2 Biochar dan Pupuk Kandang Sapi Sebagai Bahan Pembenh Tanah

Perbaikan produktivitas jagung dengan pemupukan anorganik secara intensif dapat menurunkan produktivitas lahan, oleh karena itu untuk mengatasi dampak yang disebabkan tersebut adalah dengan penambahan bahan pembenh tanah (Elisabeth dkk., 2013). Upaya memperbaiki kualitas tanah yaitu dengan menggunakan berbagai bahan pembenh tanah (*ameliorant*) dalam pemulihan sifat-sifat tanah (Dariah dkk., 2015). Penggunaan pembenh tanah merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk mempercepat proses pemulihan kualitas tanah, selain itu pembenh tanah juga memungkinkan dalam menyediakan unsur hara, namun tidak tergolong sebagai pupuk karena konsentrasinya yang rendah. Salah satu pembenh tanah yang dapat digunakan adalah biochar. Biochar merupakan hasil dari pirolisis limbah organik pertanian yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai penjerap dan pelepas unsur hara. Dengan penambahan biochar dapat meningkatkan pH dan KTK tanah, mengubah ketersediaan unsur hara, dan lebih efisiensi dalam pemupukan (Chan dkk., 2008).

Jenis bahan baku biochar menjadi faktor penting yang dapat menentukan pengaruh di dalam tanah. Limbah tongkol jagung merupakan jenis limbah pertanian yang dapat dijadikan bahan baku biochar dengan penggunaan limbah tersebut mampu mengurangi limbah tongkol jagung yang tidak dimanfaatkan dengan baik. Tongkol jagung mengandung 69,937% selulosa, 17,797% hemiselulosa, dan 9,006% lignin (Sari dkk., 2018). Pembentukan biochar dipengaruhi oleh jumlah selulosa dan lignin, karena lignin bertanggung jawab terhadap produk yang mudah menguap dan penting untuk hasil arang (Kloss dkk., 2012). Penggunaan biomassa batang singkong sebagai bahan baku pembuatan biochar bertujuan untuk memanfaatkan limbah biomassa batang singkong tidak hanya menjadi limbah di areal pertanaman singkong. Limbah biomassa batang singkong mencapai 5,1 ton per hektar dalam 1 tahun (Pranoto, 2013).

Hasil penelitian Widyantika dan Priyono (2019) menjelaskan bahwa pemberian biochar sekam padi dengan dosis tinggi dapat meningkatkan kandungan C-organik tanah seiring penambahan dosis biochar sekam padi.

Biochar secara positif dapat mempengaruhi serapan unsur hara tanaman secara langsung karena kandungan unsur hara dan karakteristik pelepasannya, serta secara tidak langsung melalui peningkatan penjerapan unsur hara, peningkatan pH tanah, peningkatan kapasitas pertukaran kation tanah, peningkatan sifat fisik tanah, termasuk peningkatan retensi air dan perubahan populasi dan fungsi mikroba tanah. Selain itu, penggunaan biochar dapat membantu efisiensi dalam penggunaan pupuk anorganik melalui retensi sehingga mengurangi pencucian unsur hara di dalam tanah (Gunarathne dkk., 2017).

2.3 Pemupukan NPK

Pada umumnya, pemupukan dimaksudkan untuk mengganti kehilangan unsur hara pada media atau tanah dan merupakan suatu usaha yang penting untuk dilakukan untuk meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman (Rosmarkam dan Yuwono, 2002). Secara khusus unsur N, P, dan K sangat penting untuk tanaman selama tahap vegetatif dan generatif. Unsur N dan P sama-sama berperan dalam sintesis zat organik seperti protein, lipid, karbohidrat dan senyawa organik lainnya. Unsur K berperan dalam perpindahan karbohidrat dari daun ke organ tumbuhan. Penggunaan yang konsisten berdasarkan penggunaan jangka panjang, penggunaan pupuk anorganik semakin meningkat karena hasil yang menguntungkan hanya dalam beberapa tahun (Stephen dkk., 2014). Pertumbuhan tanaman akan optimal apabila kandungan unsur hara tercukupi.

Pertumbuhan dan produksi tanaman dapat ditingkatkan dengan pemupukan yang sesuai dengan dosis dan kebutuhan tanaman. Pemberian pupuk NPK mampu memperbaiki kesuburan tanah yaitu dengan perbaikan sifat kimia tanah berupa peningkatan ketersediaan dan kandungan unsur hara terutama fosfat. Tanaman akan memiliki ketersediaan hara yang cukup jika hara N, P, dan K mengalami peningkatan ketersediaannya sehingga dapat meningkatkan berat per tongkol tanpa kelobot tanaman jagung (Puslitbangtan, 2010).

Ketersediaan unsur hara mikro di suatu tanah juga sangat dipengaruhi oleh praktik pemupukan. Misalnya penerapan jangka panjang pupuk anorganik nitrogen (N) dan fosfor (P) dilaporkan menyebabkan berkurangnya ketersediaan Zn, Mn, dan Cu dalam tanah di lapisan bajak, sementara penggunaan pupuk organik secara signifikan meningkatkan kandungan unsur hara mikro seperti Zn, Mn, dan Cu di tanah Inceptisols pada dataran tinggi China (Li dkk., 2007). Penerapan dosis pupuk N, P, dan K yang tepat dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara Cu, Zn, Fe dan Mn tanah serta konsentrasi Cu, Zn, Fe, dan Mn dalam gandum (Zhang dkk., 2015). Konsentrasi unsur hara Cu, Zn, Fe, Mn, Mg, dan Ca pada awalnya meningkat kemudian menurun seiring dengan penggunaan dosis pupuk N yang meningkat. Di samping itu dengan pengurangan penggunaan pupuk K dapat meningkatkan konsentrasi Cu, Zn, Fe dan Mn pada padi (Cheng dkk., 2014). Dengan penggunaan pupuk anorganik khususnya pupuk NPK mampu memberikan hasil yang baik dalam menyediakan unsur hara bagi tanaman, namun apabila penggunaannya dalam jangka panjang dan dengan dosis yang tidak tepat maka akan memiliki pengaruh negatif terhadap ketersediaan unsur hara mikro di dalam tanah dan serapannya oleh tanaman, sehingga diperlukannya kombinasi penggunaan pupuk NPK dengan bahan pembenah tanah.

2.4 Pengaruh Biochar, Pupuk Kandang Sapi dan Pemupukan NPK terhadap Pertumbuhan Tanaman dan Serapan Unsur Hara Mikro pada Tanaman

Penggunaan pupuk NPK diperlukan dalam budidaya pertanian karena unsur hara yang terkandung pada bahan organik tidak sepenuhnya dapat memenuhi kebutuhan hara tanaman dan kondisi hara pada tanah Ultisol yang sangat rendah, namun dengan pemberian bahan organik diharapkan dapat menurunkan penggunaan pupuk NPK. Produksi tanaman tetap meningkat sebesar 50% meskipun penggunaan pupuk organik diturunkan (Suwandi dkk., 2015).

Penggunaan pupuk NPK dapat membantu dan mempercepat pertumbuhan tanaman (Fiolita dan Fahrizal, 2017). Pemberian biochar bersamaan dengan pemupukan NPK dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara tanah terutama unsur hara fosfat dan kalium yang dapat meningkatkan diameter tongkol jagung karena unsur hara tersedia, terutama fosfat yang cukup, penggunaan biochar diikuti dengan penambahan pupuk NPK dapat memperbaiki diameter tongkol tanaman jagung (Puslitbangtan, 2009).

Hasil penelitian Zhang dkk. (2015) menjelaskan bahwa kandungan Zn total pada tanah lebih tinggi pada perlakuan pemupukan NPK, pemupukan NPK + jerami gandum, dan pemupukan NPK + pupuk kandang dibandingkan dengan perlakuan kontrol pada lapisan permukaan tanah. Hal tersebut mungkin terjadi akibat penambahan unsur Zn walaupun sedikit melalui pemupukan anorganik dan organik, selain itu karena sifat tanah tertentu seperti pH basa, dan kandungan CaCO_3 tinggi yang dapat meningkatkan retensi dan mengurangi mobilitas unsur Zn. Penelitian Li dkk. (2007) menjelaskan bahwa ketersediaan unsur Zn pada tanah sedikit lebih tinggi pada semua perlakuan dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Selanjutnya pada perlakuan pemupukan N+P, N+P+K, 1/2 dosis pemupukan organik dan pemupukan organik mempunyai produksi yang tinggi dan kandungan bahan organik tanah yang meningkat, sehingga juga meningkatkan Zn dan Fe pada tanah yang diekstrak dengan larutan DTPA.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

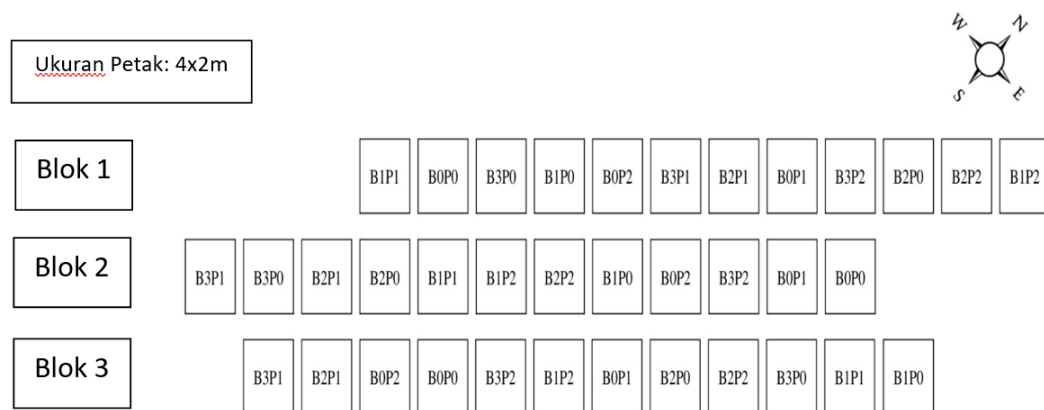
Penelitian lapang dilaksanakan pada bulan Desember 2022 sampai dengan Mei 2023 di Laboratorium Lapang Terpadu, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Analisis sampel tanah dan tanaman dilaksanakan pada bulan Oktober 2023 sampai dengan Desember 2023 di Laboratorium Kimia Tanah, Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada percobaan lapang adalah timbangan, meteran, jangka sorong, cangkul, koret, pemotong rumput, selang, toples plastik, sendok, tali rafia, gunting, label kombinasi perlakuan, dan alat yang digunakan untuk analisis di laboratorium adalah cawan porselen 50 ml, tungku pengabuan, *hot plate*, labu ukur 100 ml, oven, pH meter, *Inductively coupled plasma-atomic spectrometry* (ICP-AES), dan lain-lain. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah biochar sekam padi, biochar tonggol jagung, biochar batang singkong, pupuk kandang sapi, benih jagung varietas BISI 18, pupuk fosfor (TSP), Pupuk Urea, Pupuk KCl, dan bahan yang kimia yang digunakan untuk analisis di laboratorium.

3.3 Rancangan dan Perlakuan

Penelitian ini dilakukan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) yang terdiri dari 2 faktor yaitu faktor pertama adalah penambahan kombinasi bahan pembenah tanah (B) yang terdiri tanpa pembenah tanah (B0), biochar sekam padi dan pupuk kandang sapi (B1), biochar tongkol jagung dan pupuk kandang sapi (B2), dan biochar batang singkong dan pupuk kandang sapi (B3). Kemudian untuk faktor kedua yaitu pemupukan NPK (P), dengan tiga taraf dosis pemupukan yaitu tanpa pupuk (P0), $\frac{1}{2}$ dosis pemupukan (P1), dan 1 (satu) dosis pemupukan (P2). Berdasarkan kedua faktor perlakuan, maka diperoleh 12 kombinasi perlakuan dan setiap perlakuan akan diulang sebanyak 3 kali dan total satuan percobaan yaitu $4 \times 3 \times 3$ sehingga diperoleh 36 satuan percobaan. Berikut merupakan daftar perlakuan yang digunakan dalam penelitian yang dapat dilihat pada keterangan dan denah satuan percobaan pada Gambar 2.



Gambar 1. Tata Letak Petak Percobaan.

Keterangan:

1. B0P0 : Tanpa pembenah tanah dan tanpa pemupukan
2. B0P1 : Tanpa pembenah tanah dan $\frac{1}{2}$ dosis pemupukan (225 kg ha^{-1} Urea; $112,5 \text{ kg ha}^{-1}$ TSP, 100 kg ha^{-1} KCl)
3. B0P2 : Tanpa pembenah tanah dan 1 dosis pemupukan (450 kg ha^{-1} Urea; 225 kg ha^{-1} TSP; 200 kg ha^{-1} KCl)
4. B1P0 : Kombinasi biochar sekam padi 5 Mg ha^{-1} + pupuk kandang sapi 5 Mg ha^{-1} dan tanpa pemupukan

5. B1P1 : Kombinasi biochar sekam padi 5 Mg ha⁻¹ + pupuk kandang sapi 5 Mg ha⁻¹ dan ½ dosis pemupukan (225 kg ha⁻¹ Urea; 112,5 kg ha⁻¹ TSP; 100 kg ha⁻¹ KCl)
6. B1P2 : Kombinasi biochar sekam padi 5 Mg ha⁻¹ + pupuk kandang sapi 5 Mg ha⁻¹ dan 1 dosis pemupukan (450 kg ha⁻¹ Urea; 225 kg ha⁻¹ TSP; 200 kg ha⁻¹ KCl)
7. B2P0 : Kombinasi biochar tongkol jagung 5 Mg ha⁻¹ + pupuk kandang sapi 5 Mg ha⁻¹ dan tanpa pemupukan
8. B2P1 : Kombinasi biochar tongkol jagung 5 Mg ha⁻¹ + pupuk kandang sapi 5 Mg ha⁻¹ dan ½ dosis pemupukan (225 kg ha⁻¹ Urea; 112,5 kg ha⁻¹ TSP; 100 kg ha⁻¹ KCl)
9. B2P2 : Kombinasi biochar tongkol jagung 5 Mg ha⁻¹ + pupuk kandang sapi 5 Mg ha⁻¹ dan 1 dosis pemupukan (450 kg ha⁻¹ Urea; 225 kg ha⁻¹ TSP; 200 kg ha⁻¹ KCl)
10. B3P0 : Kombinasi biochar batang singkong 5 Mg ha⁻¹ + pupuk kandang sapi 5 Mg ha⁻¹ dan tanpa pemupukan
11. B3P1 : Kombinasi biochar batang singkong 5 Mg ha⁻¹ + pupuk kandang sapi 5 Mg ha⁻¹ dan ½ dosis pemupukan (225 kg ha⁻¹ Urea; 112,5 kg ha⁻¹ TSP; 100 kg ha⁻¹ KCl)
12. B3P2 : Kombinasi biochar batang singkong + pupuk kandang sapi 5 Mg ha⁻¹ dan 1 dosis pemupukan (450 kg ha⁻¹ Urea; 225 kg ha⁻¹ TSP; 200 kg ha⁻¹ KCl)

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Persiapan Bahan Pembenh Tanah

Bahan pembenh tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah pupuk kandang sapi yang telah dikeringkan dan digiling, dengan tujuan agar mudah diaplikasikan ke dalam tanah dan limbah pertanian yang digunakan untuk membuat biochar meliputi sekam padi, tongkol jagung, dan batang singkong. Penggunaan jenis limbah organik pertanian tersebut karena pada umumnya limbah

tersebut tidak dimanfaatkan oleh petani dan untuk mengurangi limbah hasil pertanian. Cara pembuatan biochar dilakukan dengan metode tradisional yang sederhana yaitu dengan membuat tumpukan dari bahan baku limbah tersebut menyerupai gundukan kemudian di bagian tengah diberi gulungan kawat kasa yang berbentuk tabung dengan tujuan untuk membuat bara api di dalam gulungan kawat tersebut. Kemudian bahan baku limbah pertanian tersebut akan mengalami pembakaran tidak sempurna lalu dilakukan penggilingan dan pengayakan agar ukurannya menjadi lebih kecil sehingga saat proses pengaplikasian ke dalam tanah menjadi mudah. Setelah itu dilakukan analisis beberapa sifat kimia di laboratorium.

Tabel 1. Hasil analisis sifat biochar

Parameter	Biochar		
	Sekam Padi	Tongkol Jagung	Batang Singkong
pH H ₂ O	6,97	9,11	10,3
C-Organik (%)	41,06	59,24	69,59
N-Total (%)	0,62	0,38	1,26
Rasio C/N	65,70	153,98	55,24

Keterangan: Hasil analisis Tim Penelitian di Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung

3.4.2 Persiapan Lahan

Proses persiapan lahan meliputi pembersihan gulma dengan menggunakan mesin pemotong atau secara manual dengan arit, setelah itu lahan disemprot dengan herbisida dan dibakar dengan tujuan untuk memperlambat pertumbuhan gulma. Kemudian dilakukan ploting petak percobaan sebanyak 36 petak dengan ukuran setiap petak adalah 4m x 2m dengan jarak antar petak 25cm, dan jarak antar ulangan 1m. Selanjutnya, tanah diolah menggunakan cangkul agar agregat tanah menjadi remah dan dibuat 6 larikan pada setiap petak.

3.4.3 Pengaplikasian Bahan Pembenh Tanah

Setelah pengolahan tanah kemudian dilakukan proses aplikasi bahan pembenh tanah berupa kombinasi antara biochar dan pupuk kandang sapi yang dilakukan dengan cara membuat enam larikan menggunakan cangkul pada setiap petak percobaan kemudian diaplikasikan bahan pembenh tanah ke dalam setiap larikan dan selanjutnya ditutup dengan tanah.

3.4.4 Penanaman

Benih jagung yang digunakan adalah varietas BISI 18. Penanaman benih jagung dengan menggunakan teknik tugal yaitu dengan cara dibuat lubang pada tanah dengan kedalaman 3-5 cm kemudian benih dibanamkan, lalu lubang ditutup kembali dengan tanah, setiap lubang diisi dengan 2-3 benih jagung. Jarak tanam yang digunakan yaitu 75cm x 20cm sehingga dalam satu petak percobaan terdapat 54 populasi tanaman jagung.

3.4.5 Pemupukan

Pupuk yang digunakan dalam penelitian ini adalah pupuk NPK tunggal berupa pupuk Urea, pupuk TSP, dan pupuk KCl dengan tiga taraf dosis pemupukan yaitu tanpa dosis pemupukan, $\frac{1}{2}$ dosis pemupukan, dan 1 dosis pemupukan. Berikut merupakan dosis pupuk dan jenis pupuk yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Dosis pemupukan dan jenis pupuk

Jenis Pupuk	P1 (dosis $\frac{1}{2}$)	P2 (Dosis 1)
Urea (N)	225 kg ha ⁻¹ (180 g petak ⁻¹)	450 kg ha ⁻¹ (360 g petak ⁻¹)
TSP (P)	112,5 kg ha ⁻¹ (90 g petak ⁻¹)	225 kg ha ⁻¹ (180 g petak ⁻¹)
KCl (K)	100 kg ha ⁻¹ (80 g petak ⁻¹)	200 kg ha ⁻¹ (160 g petak ⁻¹)

Aplikasi pupuk KCl dan pupuk TSP dilakukan sebanyak satu kali selama masa tanam yaitu saat tanaman berumur 7 Hari Setelah Tanam (HST) dan aplikasi pupuk Urea dilakukan sebanyak dua kali selama musim tanam, yaitu saat tanaman berumur 7 HST dan pada fase vegetatif maksimum atau saat tanaman berumur

49 HST. Pengaplikasian pupuk dilakukan dengan teknik tugal, yaitu dengan membuat lubang dengan jarak 5-10 cm dari tanaman dan untuk kedalamannya 3-5 cm. Kemudian pupuk dimasukkan ke dalam lubang lalu ditutup kembali menggunakan tanah, hal ini bertujuan agar pupuk tidak mudah hilang akibat terbawa air atau angin.

3.4.6 Pemeliharaan Tanaman

Pemeliharaan tanaman jagung berupa penyiraman dan penyiangan gulma. Penyiraman dilakukan dengan menggunakan selang dan menyesuaikan cuaca lingkungan di lokasi pertanaman jagung. Penyiangan gulma yang tumbuh di sekitar tanaman dilakukan dengan cara manual yaitu mencabut gulma atau memotong menggunakan arit atau koret.

3.4.7 Panen

Pemanenan dilakukan ketika tanaman jagung telah berumur 100-110 Hari Setelah Tanam (HST). Tanaman jagung bisa dipanen yang dicirikan dengan tongkol jagung mengeras, berbiji kering, klobot berwarna coklat dan biji jagung akan bertekstur keras.

3.4.8 Pengambilan Sampel Tanah dan Tanaman Jagung

Pengambilan sampel tanah dilakukan sebelum tanam dan pada saat panen. Sampel tanah diambil menggunakan bor tanah dengan kedalaman 0 – 20 cm. Sampel tanah sebelum tanam diambil saat lahan belum dilakukan olah tanah dengan mengambil pada 3 titik pada setiap petak percobaan pada setiap ulangan/blok kemudian sampel tanah tersebut dikompositkan berdasarkan ulangan/blok. Dengan demikian terdapat tiga sampel tanah sebelum tanam yang berasal dari ulangan/blok 1, 2 dan 3. Sampel tanah setelah panen diambil pada 3 titik dekat dengan lubang sampel tanaman yang dipanen pada setiap petak percobaan kemudian sampel tersebut dikompositkan. Sampel tanah yang telah diambil kemudian dikering udarakan pada suhu ruang selama kurang lebih 7 hari dan dipisahkan dari partikel biochar yang ikut terambil kemudian dilakukan

penggilingan dan diayak menggunakan ayakan 2mm, kemudian tanah siap dianalisis di laboratorium.

Pengambilan sampel tanaman dilakukan secara acak pada setiap petak percobaan sebanyak 3 sampel tanaman, kemudian sampel tanaman dibersihkan akar dan daunnya dari sisa tanah yang terangkut dengan cara dicuci dengan air. Setelah itu sampel tanaman yang diambil berupa brangkasan (batang dan daun) dan buah jagung. Kemudian brangkasan tanaman dicacah menjadi ukuran yang kecil dan buah jagungnya dipisahkan antara kelobot, biji, dan tongkol dan masing masing dimasukkan ke dalam amplop kertas dan ditimbang untuk mengetahui berat basahnya. Setelah itu, sampel tanaman dioven dengan suhu 70°C selama ± 72 jam (3 hari) sampai kering dan dilanjutkan dengan analisis jaringan tanaman di laboratorium.

3.5 Variabel Pengamatan

3.5.1 Variabel Utama

Variabel utama yang diamati dalam penelitian ini adalah kandungan Cu dan Zn yang tersedia di dalam tanah dan kandungan Cu dan Zn yang terserap pada tanaman.

3.5.1.1 Kandungan Cu dan Zn Tersedia pada Tanah

Ketersediaan Cu dan Zn pada sampel tanah dianalisis menggunakan metode ekstraksi DTPA pada pH 7,3. Ekstraksi Cu dan Zn dilakukan dengan memasukkan 10 gram tanah kering udara ke dalam botol kocok, dan ditambahkan 20 ml larutan ekstraksi DTPA. Kemudian suspensi tanah dikocok dengan pengocok horizontal dengan kecepatan 120 rpm selama 2 jam. Setelah itu, suspensi disaring menggunakan kertas saring Whatman no. 42 kemudian kandungan unsur Cu dan Zn diukur menggunakan *Inductively coupled plasma-atomic spectrometry* (ICP-AES). (Lindsay dan Norvell, 1978).

3.5.1.2 Berat Kering Tanaman Jagung

Mengukur berat kering tanaman (brangkasan, tongkol jagung, dan biji jagung) dilakukan dengan cara menimbang berat basah tanaman (brangkasan, tongkol jagung, dan biji jagung) kemudian dioven pada suhu 70°C selama ± 72 jam (3 hari), setelah itu ditimbang kembali.

3.5.1.3 Serapan Cu dan Zn pada Tanaman Jagung

Analisis kandungan total unsur mikro di sampel tanaman (brangkasan dan biji jagung) dilakukan menggunakan metode US EPA 200.7 Revisi 5.0 tahun 2001 (Telliard, 2001). Brangkasan tanaman jagung (batang + daun) dan biji yang telah dioven pada suhu 70°C selama ± 72 jam (3 hari) kemudian di giling menggunakan chopper, setiap mengganti sampel chopper dibersihkan terlebih dahulu agar tidak terkontaminasi dengan sampel sebelumnya. Kemudian sampel ditimbang sebanyak $\pm 1,0$ g lalu dimasukkan ke dalam gelas beaker 250 ml untuk dilakukan ekstraksi asam. Setelah itu, ditambahkan 10 ml HNO₃ dan tutup bagian atasnya menggunakan kaca arloji lalu dipanaskan menggunakan *hot plate* selama 10 menit. Selanjutnya didinginkan dan ditambahkan 5 ml HNO₃ pekat dan tutup menggunakan kaca arloji baru lalu dipanaskan kembali menggunakan *hot plate* selama 30 menit, setelah itu dinginkan kembali dan ditambahkan 2 ml aquades dan 3 ml H₂O₂ 30% kemudian panaskan kembali menggunakan *hot plate* sampai terlihat buih, lalu tambahkan 1 ml H₂O₂ 30% sampai buih tidak terlihat. Selanjutnya ditambahkan 2 ml HCl pekat dan 10 ml aquades dan dipanaskan menggunakan *hot plate* selama 15 menit. Kemudian sampel diencerkan hingga 100 ml dengan aquades dan dibiarkan mengendap lalu kandungan total unsur hara mikro dapat diukur menggunakan *Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry* (ICP-AES). Untuk menentukan serapan Cu dan Zn di dalam tanaman yaitu dengan mengalikan kandungan Cu dan Zn di dalam jaringan tanaman (brangkasan dan biji jagung) dengan berat kering tanaman (brangkasan dan biji jagung).

3.5.2 Variabel Pendukung

Variabel pendukung yang diamati dalam penelitian ini adalah pH tanah (metode pH meter dengan elektroda gelas), C-organik, (metode Walkley dan Black) dan P-tersedia (metode Bray-1).

3.6 Analisis Data

Data hasil pengamatan dianalisis homogenitas ragamnya dengan uji Bartlett dan adivitas data dengan uji Tukey. Apabila asumsi terpenuhi, data akan dianalisis menggunakan Analisis Ragam. Jika perlakuan yang diberikan memberikan pengaruh yang nyata terhadap parameter yang diukur, maka data akan dianalisis lanjut dengan menggunakan Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) dengan taraf nyata 5%.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka simpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Kombinasi biochar tongkol jagung dan pupuk kandang sapi meningkatkan ketersediaan unsur hara mikro Zn di dalam tanah dan serapan unsur hara Cu pada brangkasan tanaman jagung.
2. Pemupukan NPK dengan dosis penuh meningkatkan serapan Cu pada brangkasan tanaman jagung.
3. Interaksi kombinasi berbagai jenis biochar dan pupuk kandang sapi dengan pemupukan NPK, menghasilkan ketersediaan unsur hara Cu di dalam tanah yang tidak berbeda karena Cu tersedia di dalam tanah yang relatif rendah, menurunkan serapan Zn pada brangkasan tanaman jagung, meningkatkan serapan Cu pada biji jagung namun serapan Zn pada biji jagung yang tidak berbeda kecuali pada perlakuan kombinasi biochar batang singkong dan pupuk kandang sapi tanpa pemupukan NPK.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan penulis menyarankan agar dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai ketersediaan Cu dan Zn di dalam tanah dan serapannya baik pada brangkasan tanaman maupun biji jagung dengan pemberian kombinasi berbagai jenis biochar (sekam padi, tongkol jagung, batang singkong) dan pupuk kandang sapi dengan pemupukan NPK.

DAFTAR PUSTAKA

- Agusalim, M., Utomo, W., Sywchfani, M. S. 2010. Rice Husk for Rice Based Cropping System in Acid Soil 1. The Characteristics of Roce husk biochar and its Influence on the Properties of acid Sulfate Soil and Rice Growth in West Kalimantan, Indonesia. *Journal of Agriculture Science*, 2(1): 39-45.
- Agsari, D., Utomo, M., Hidayat, K. F., Niswati. A. 2020. Respon Serapan Hara Makro-Mikro dan Produksi Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) Terhadap Pemupukan Nitrogen dan Praktik Olah Tanah Jangka Panjang. *Journal of Tropical Upland Resources*, 2(1): 46-59.
- Alloway, B.J. 2008. *Zinc in Soils and Crop Nutrition*. IZA and IFA. France.
- Alloway, B.J., 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environ Geochem Health*, 31: 537–548.
- Antonangelo, J. A., Zhang, H., Sitienei, I. 2023. Biochar amandement of metal contaminated soil partially immobilized Zn, Pb and Cd and reduced ryegrass uptake. *Frontiers in Environmental Science*, Vol 11.
- Azad, M.A.K., Ahmed, T., Eaton, T.E.J., Hossain, M.M. 2022. Organic Amendments with Poultry Manure and Cow Dung Influence the Yield and Status of Nutrient Uptake in Wheat (*Triticum aestivum*). *American Journal of Plant Sciences*, 13: 994-1005.
- Azeez, M.O., Adesanwo, O.O., Adepetu, J.A. 2014. Effect of Copper (Cu) Application on Soil Available Nutrients and Uptake. *African Journal of Agriculture Research*, 10(5): 359-364.
- Balai Penelitian Tanah. 2009. *Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Balai Penelitian Tanah. Bogor. 234 hal.

- Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z. and Zhao, F.J. 2012. *Function of nutrients: micronutrients*. In: Marschner, P. (ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press. London.
- Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., and Joseph, S. 2008. Using poultry litter biochars as soil amendments. *Australian Journal of Soil Research*, 46 (5): 437-444.
- Chaudhary, M., and Narwal, R.P. 2005. Effect of Long-term Application of Farmyard Manure on Soil Micronutrient Status. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 51(3): 351 – 359.
- Cheng, J.M., Liu, Y.Z., Wang, H.W., 2014. Effects of surface-modified nano-scale carbon black on Cu and Zn fractionations in contaminated soil. *Int. J. Phytoremediation*, 16, 86–94.
- Ciosek, Ż., Kot, K., and Rotter, I. (2023). Iron, Zinc, Copper, Cadmium, Mercury, and Bone Tissue. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3): 2197.
- Dariah, A., Sutono, S., Nurida, N.L., Hartatik, W. dan Pratiwi, E. 2015. Pembenh Tanah untuk Meningkatkan Produktivitas Lahan Pertanian. *Jurnal Sumber Daya*, 9(2): 67-84.
- Dhaliwal, S. S., Naresh, R. K., Mandal, A., Singh, R., Dhaliwal, M. K. 2019. Dynamics and Transformations of micronutrients in Agricultural Soils as Influenced by Organic Matter Build-Up: Review. *Environmental and Sustainability Indicators*, 1-2. 1-14.
- Dhaliwal, S. S., Sharma, V., Kaur, J., Shukla, A. K., Hossain, A., Hafez, S. H. A., Gaber, A., Sayed, S., Singh, V. K. 2021. The Phedospheric Variation of DTPA-Extractable Zn, Fe, Mn, Cu and Other Physicochemical Characteristics in Major Soil Orders in Existing Land Use Systems of Punjab, India. *Journal Sustainability*, 14(1): 1-14.
- Dobermann, A. 2007. *Nutrient use efficiency – measurement and management*. In: Proc. “IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices”, Brussels, Belgium. p1-28.
- Elisabeth, D.W., Santosa, M. dan Herlina, N. 2013. Pengaruh pemberian berbagai komposisi bahan organik pada pertumbuhan dan hasil tanaman bawang merah (*Allium ascalonicum* L.). *Jurnal Produksi Tanaman* 1(3): 21-28.

- Fan, J., Ding, W., Chen, Z., Ziadi, N. 2011. Thirty-year amendment of horse manure and chemical fertilizer on the availability of micronutrients at the aggregate scale in black soil. *Environ Sci Pollut Res*, 19: 2745-2754.
- Fiolita, V., A. Muin, Fahrizal. 2017. Penggunaan pupuk NPK mutiara untuk peningkatan pertumbuhan tanaman Gaharu *aquilaria* spp. pada lahan terbuka di tanah ultisol. *J. Hutan Lestari*, 5: 850-857.
- Fikdalillah., Basir, M., Wahyudi., I. 2016. Pengaruh Pemberian Pupuk Kandang Sapi Terhadap Serapan Fosfor dan Hasil Tanaman Sawi Putih (*Brassica pekinensis*) pada Entisols Sidera, *Jurnal Agrotekbis*, 4(5): 491-499.
- Handayanto, E., Muddarisna, N., Fiqri, A. 2017. *Pengelolaan Kesuburan Tanah*. UB Press. Malang.
- Hokayem, B., Azzi, D. W. 2014. Fate of Copper and Zinc in Cattle Manure. *International Conference on Chemical, Environment and Biological Sciences*, 183-188.
- Huang, S., dan Jin, J. 2008. Status of heavy metals in agricultural soils as affected by different patterns of land use. *Environ Monit Assess*, 139-317.
- Huang, W., Fu, J., Yuan, Z., dan Gu, H. 2023. Impact of prenatal exposure to metallic elements on neural tube defects: Insights from human investigations. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 255:114815.
- Hussain, A., Arshad, M., Zahir, Z.M., Ashgar, M. 2015. Prospects of Zinc Solubilizing Bacteria for Enhancing Growth of Maize. *J. Agri. Sci*, 52(4): 915-922.
- Gunarathne, V., Mayakaduwa, S., Vithanage, M. 2017. *Biochar's Influence as a Soil Amendment for Essential Plant Nutrient Uptake*. Springer International Publishing AG. Sri Lanka.
- Greydanus, D. E., and Smith, Z. R. (2020). Concepts of metabolic disorders. *International Journal of Child Health and Human Development*, 13(2): 199-225.
- Jovita, D. 2018. Analisis Unsur Makro (K, Ca, Mg) Mikro (Fe, Zn, Cu) Pada Lahan Pertanian Dengan Metode Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES). *Skripsi*. Universitas Lampung.

- Kanakari, E., and Dendrinou-Samara, C. 2023. Fighting Phytopathogens with Engineered Inorganic Based Nanoparticles. *Materials*, 16(6): 2388.
- Kizilgoz, I., Sakin, E. 2010. The effects of increased phosphorus application on shoot dry matter, shoot P and Zn concentrations in wheat (*Triticum durum* L.) and maize (*Zea mays* L.) grown in a calcareous soil. *African Journal of Biotechnology*, 9: 5893-5896.
- Kloss, S., Zehetner, F., Dellantonio, A., Hamid, R., Ottner, F., Liedtke, V., Schwanninger, M., Gerzabek, M. H., Soja, G. 2012. Characterization of Slow Pyrolysis Biochars: Effects of Feedstocks and Pyrolysis Temperature on Biochar Properties. *Journal of Environmental Quality*, 41(4): 990–1000.
- Kusumawati, A. 2021. *Buku Ajar kesuburan Tanah dan Pemupukan*. Poltek LPP Press. Yogyakarta.
- Law-Ogbomo, K. E., dan Law-Ogbomo, J. E. 2009. The Performance of *Zea mays* as Influenced by NPK Fertilizer Application. *Not Sci Biol* 1(1): 59-62.
- Lelu, P. K., Situmeang, Y. P., Suarta, S. 2018. Aplikasi Biochar dan Kompos terhadap Peningkatan Hasil Tanaman Jagung (*Zea Mays* L.). *Jurnal Warmadewa*, 23(1): 24-32.
- Lestari, T. 2023. Ketersediaan Unsur Hara Mikro Cu dan Zn di Dalam Tanah dan Serapannya Oleh Tanaman Jagung Akibat Pemberian Berbagai Jenis Biochar dan Pupuk P. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Li, B. Y., Zhou, D. M., Cang, L., Zhang, H. L., Fan, X. H., Qin, S. W. 2007. Soil Micronutrient Availability to Crops as Affected by Long-term Inorganic and Organic Fertilizer Applications. *Soil and Tillage Research*, 96: 166-173.
- Li, Y. M., M. Elson, D. Zhang, Z. He, R.C. Sincher, and V. Baligar. 2015. Macro and Micro Nutrient Uptake Parameters and Use Efficiency in Cacao Genotypes as Influenced by Levels of Soil-Applied K. *International Journal of Plant and Soil Sciences*. IJPSS. 7(2): 80-90.
- Lindsay, W. L., dan Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42, 421-428.

- Magen, H. 2008. Balanced Crop Nutrition: Fertilizing for Crop and Food Quality. *Turk J Agric For*, 32: 183-193.
- Mautuka. A. Z., Maifa, A., Karbeka, M. 2022. Pemanfaatan Biochar Tongkol Jagung Guna Perbaikan Sifat Kimia Tanah Lahan Kering. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(1): 201-208.
- Mazur, Z.; Mazur, T. 2016. The influence of long-term fertilization with slurry, manure and NPK on the soil content of trace elements. *J. Elem*, 21: 131-139.
- Moharana, P.C., Sharma, B.M., Biswas, D.R., 2017. Changes in the soil properties and availability of micronutrients after six-year application of organic and chemical fertilizers using STCR-based targeted yield equations under pearl millet-wheat cropping system. *J. Plant Nutr*, 40:165-17.
- Mulyani, S. M. 2008. *Pupuk dan cara pemupukan*. PT Rineka Cipta. Jakarta.
- Namgay, T., Singh, B. P., Singh, B. 2010. Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (*Zea mays* L.). *Australian Journal of Soil Research*, 48: 638-647.
- Naz I, Ahmad H, Khokhar SN, Khan K, Shah AH. 2016. Impact of zinc solubilizing bacteria on zinc contents of wheat. *Am Eurasian J Agric Environ Sci* 16: 449-454.
- Puga, A. P., Abreu., C. A., Melo, L. C. A. Beesley, L. 2015. Biochar Application to a Contaminated Soil Reduces the Availability and Plant Uptake of Zinc, Lead and Cadmium. *Journal of Environmental Management*, 159: 86-93.
- Pranoto, B., Pandin, M., Fithri, S.R., dan Nasution, S. 2013. Peta Potensi Limbah Biomassa Pertanian dan Kehutanan sebagai Basis Data Pengembangan Energi Terbarukan. *Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan*, 12 (2): 123-130.
- Prasetyo, B. H., dan Suriadikarta, D. A. 2006. Karakteristik, Potensi, dan Teknologi Pengelolaan Tanah Ultisol untuk Pengembangan Pertanian Lahan Kering di Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian*, 25(2): 39-47.
- Purba, T., Ningsih, H., Junaedi, P. A. S., Junairah, B. G., Firgiyanto, R., Arsi. 2021. *Tanah dan Nutrisi Tanaman*. Yayasan Kita Menulis. Medan.

- Puslitbangtan. 2009. *Petunjuk Pelaksanaan Pendampingan SL-PTT Departemen Pertanian*. Jakarta.
- Puslitbangtan. 2010. *Pedoman Umum Produksi Benih Kedelai. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan*. Kementerian Pertanian. Bogor.
- Rachmawati, A. Y., dan Wardiyati, T. 2017. Pengaruh pH Tanah dan Pupuk NPK Terhadap Pertumbuhan dan Warna Bunga Hortensia (*Hydrangea Macrophylla*). *Jurnal of Agricultural Science*. (2)1: 23-29.
- Rosmarkam, A., dan Yuwono, N.W. 2002. *Ilmu Kesuburan Tanah*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Rutkowska, B., Szulc. W., Sosulski, T., Stępien, W. 2014. Soil micronutrient availability to crops affected by long-term inorganic and organic fertilizer applications. *Plant Soil Environ*, 60:198-203.
- Salawati., Ende, S., Lukman. 2022. Perubahan Beberapa Sifat Kimia Tanah Setelah Produksi Padi Dampak Pemberian Pupuk Kandang Sapi, *Jurnal Agroaqua*, 20(2): 497-509.
- Sánchez-Rodríguez, A.R., del Campillo, M.C., Torrent, J. 2017. Phosphorus reduces the zinc concentration in cereals pot-grown on calcareous Vertisols from southern Spain. *J. Sci Food Agric*, 97: 3427–3432.
- Sari, M. N., Sudarsono, Darmawan. 2017. Pengaruh Bahan Organik Terhadap Ketersediaan Fosfor pada Tanah-Tanah Kaya Al dan Fe, *Buletin Tanah dan Lahan*, 1(1): 66-71.
- Sari, P. D., Puri, W. A. 2018. Delignifikasi Bonggol Jagung Dengan Metode Microwave Alkali. *Jurnal Ilmu-ilmu Pertanian "Agrika"*, 12(2): 164-172.
- Saragih, D., Hamim, H., Nurmauli, N. 2013. Pengaruh Dosis dan Waktu Aplikasi Pupuk Urea dalam Meningkatkan Pertumbuhan dan Hasil Jagung (*Zea mays*, L.) Pioneer 27. *Jurnal Agrotek Tropika*, 1(1): 50-54.
- Safuan, L. D. 2002. Kendala Lahan Kering Masam Daerah Tropika dan Cara Pengelolaannya. *Makalah Filsafat Sains*.
- Setiawan, F., Sarno., Afrianti, N.A. Supriatin. 2022. Pemupukan P Terhadap Sifat Kimia Tanah Ultisol yang Ditanami Jagung (*Zea mays* L.). *Jurnal Agrotek Tropika*, (10)1: 85-94.

- Setia, R. K., dan Sharma, K. N. 2004. Effect of continuous cropping and long-term differential fertilization on profile stratification of DTPA-extractable micronutrients. *J Food Agric Environ*.
- Sevindrajuta. 2013. Efek Pemberian Beberapa Takaran pupuk Kandang Sapi terhadap Sifat Kimia Inceptisol dan Pertumbuhan Tanaman Bayam Cabut (*Amaranthus tricolor*, L.). *Skripsi*. Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah. Padang, Sumatera Barat.
- Stephen, O., Animasaun, D., Bello, A. A., Oludare, A. 2014. Effect of NPK and poultry manure on growth, yield and proximate composition of three Amaranths. *J Botany*, 6: 1-6.
- Suwandi, G.A. Sopha, M.P. Yufdy. 2015. Efektivitas pengelolaan pupuk organik, NPK, dan pupuk hayati terhadap pertumbuhan dan hasil bawang merah. *J. Hort*, 25:208-221.
- Syekhfani. 2010. *Hubungan Hara Tanah Air Tanaman: Dasar Kesuburan Tanah Berkelanjutan*. Universitas Islam Malang. Malang.
- Tan, X., Liu, Y., Zeng, G., Wang, X., Hu, X., Gu, Y., Yang, Z. 2015. Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions *Chemosphere*, 125: 70–85.
- Telliard, W. A. 2001. *Trace Element in Water, Solids, and Biosolids by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry Revision 5.0 of Method 200.7*. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, D.C.
- Tetelay, F, F. 2018. Penggunaan Pupuk Kandang (Kotoran Sapi) Pada Semai Tanaman Kehutanan. *Jurnal Makila*, (7)1: 67:73.
- Wang, B., Gao, B., and Fang, J. 2017. Recent advances in engineered biochar productions and applications. *Critical Reviews In Environmental Science Technology*. 47:2158–2207.
- Wei, X., Hao, M., Shao, M., Gale, W.J. 2006. Changes in soil properties and the availability of soil micronutrients after 18 years of cropping and fertilization. *Soil Tillage Res*, 91: 120–130.
- Widodo, K. H., dan Kusuma, Z. 2018. Pengaruh Kompos Terhadap Sifat Fisik Tanah dan Pertumbuhan Tanaman Jagung di Inceptisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 5(2): 959-967.

Widowati, Sutoyo, Karamina, H. and Fikrinda, W. 2020. Soil amendment impact to soil organic matter and physical properties on the three soil types after second maize cultivation. *Journal AIMS Agriculture and Food*, 5(1):150-168.

Widyantika, S. D., dan Prijono, S. (2019). Pengaruh biochar sekam padi dosis tinggi terhadap sifat fisik tanah dan pertumbuhan tanaman jagung pada typic Kanhapludult. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 6(1): 1157-1163.

Yulinasari, M., Sufardi, dan Zaitun. 2019. Effect of Biochar and Cow Manure on Soil Chemical Properties and Peanut (*Arachis hypogaea* L.) Yields in Entisols. *IOP Convergence Series: Earth and Environmental Science*, 425 012014.

Zannah, H., Zahroh, S., Evie, R., Sudarti., Trapsilo. 2023. Peran Cahaya matahari dalam proses fotosintesis tumbuhan. *Cermin: Jurnal Penelitian*, 7(1): 201-214.

Zhang, S., Li, Z., Yang, X. 2015 Effect Long-term Inorganic and Organic Fertilization on Soil Micronutrient Status. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46: 1778-1790.