

**KETERSEDIAAN UNSUR HARA MIKRO Fe DAN Mn PADA TANAH
SAWAH SERTA SERAPANNYA PADA TANAMAN PADI (*Oryza sativa* L.)
DI SENTRA PERTANAMAN PADI LAMPUNG**

(Skripsi)

Oleh

Miranda
1914121020



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

KETERSEDIAAN UNSUR HARA MIKRO Fe DAN Mn PADA TANAH SAWAH SERTA SERAPANNYA PADA TANAMAN PADI (*Oryza sativa* L.) DI SENTRA PERTANAMAN PADI LAMPUNG

Oleh

MIRANDA

Unsur hara mikro besi (Fe) dan mangan (Mn) merupakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah kecil, namun sangat penting. Kandungan unsur hara di dalam tanaman berkaitan dengan ketersediaannya di dalam tanah dan sifat tanah seperti, pH tanah, KTK, C-Organik, dan tekstur tanah. Tanah sawah yang tergenang (tereduksi) mengakibatkan Fe dan Mn dalam bentuk tersedia (Fe^{2+} dan Mn^{2+}) pada tanah sawah masam tinggi sehingga dapat menyebabkan toksisitas. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari status ketersediaan Fe dan Mn pada tanah-tanah sawah di sentra pertanaman padi di Lampung, keterkaitan sifat-sifat tanah dengan ketersediaan Fe dan Mn pada tanah sawah, dan pengaruh ketersediaan Fe dan Mn pada tanah sawah terhadap serapannya pada tanaman padi. Penelitian dilakukan pada Agustus 2022 – September 2023. Penelitian ini menggunakan metode survei lapangan dengan mengambil sampel tanah dan tanaman padi di 10 lokasi sentra pertanaman padi di Lampung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, Fe-tersedia pada tanah sawah adalah 61 – 171 mg kg⁻¹, berstatus toksisitas di 8 daerah dan cukup di 2 daerah. Mn-tersedia berstatus cukup (13 – 167 mg kg⁻¹). Fe pada beras berstatus cukup (34,00-66,00 mg kg⁻¹), status serapan Fe di jerami (145-623 mg kg⁻¹) cukup di 4 daerah dan toksisitas di 6 daerah. Mn pada beras berstatus defisiensi (6,91-11,03 mg kg⁻¹), sedangkan Mn di jerami berstatus cukup (112-355 mg kg⁻¹). Fe-tersedia berkorelasi positif dengan C-Organik, namun tidak berkorelasi dengan Fe-total, pH tanah, KTK, dan kandungan liat. Mn-tersedia berkorelasi positif dengan pH tanah dan Mn-total, namun tidak berkorelasi dengan pH tanah, KTK, dan kandungan liat. Mn-tersedia berkorelasi dengan Mn-jerami, namun tidak berkorelasi dengan Mn-beras sedangkan Fe-tersedia tidak berkorelasi dengan serapan Fe pada beras dan jerami.

Kata kunci: Besi (Fe), Ketersediaan, Mangan (Mn), Tanah Sawah, Tanaman Padi

ABSTRACT

THE AVAILABILITY OF MICRONUTRIENTS Fe AND Mn IN PADDY SOILS AND THEIR UPTAKE BY RICE PLANTS (*Oryza sativa* L.) AT RICE CULTIVATION CENTERS IN LAMPUNG

By

MIRANDA

Iron (Fe) and manganese (Mn) are essential micronutrients needed by plants. The contents of nutrients in plants are determined by their availability in soil and soil properties such as soil pH, CEC, Organic-C, and soil texture. Flooded (reduced) and acid paddy soils result in the increase of Fe and Mn availability in the forms of Fe²⁺ and Mn²⁺ that can cause toxicity. This study aimed to study the status of Fe and Mn availability in paddy soils in rice cultivation centers in Lampung, the relationships between soil properties and the availability of Fe and Mn in paddy soils, and the effects of Fe and Mn availability in paddy soils on their uptake by rice plants. The study was conducted in August 2022 until September 2023. This study used a survey method by taking soil and rice plant samples at 10 locations of rice cultivation centers in Lampung. The results showed that the amounts of available Fe in paddy soils are 61 – 171 mg kg⁻¹, in which the status in 8 regions are in toxicity and 2 regions are sufficient. The amounts of available-Mn in paddy soils are sufficient (13 – 167 mg kg⁻¹). The amounts Fe in rice are sufficient (34.00-66.00 mg kg⁻¹), Fe uptake status in straw (145-623 mg kg⁻¹) is sufficient in 4 regions and toxic in 6 regions. The amounts of Mn in rice are deficient (6.91-11.03 mg kg⁻¹), but Mn in straw is sufficient (112-355 mg kg⁻¹). The amounts of available Fe in soils are positively correlated with Organic-C, however it does not correlate with total-Fe, soil pH, CEC, and clay content. The amounts of available Mn in soils are positively correlated with soil pH and total Mn, but it does not correlate with soil pH, CEC, and clay content. The amounts of available Mn in soil are positively correlated with Mn content in straw, but it does not correlate with Mn contents in rice whereas the amounts of available Fe in soils do not correlate with Fe contents in straw and rice.

Keywords: Availability, Iron (Fe), Manganese (Mn), Paddy Soils, Rice Plants

**KETERSEDIAAN UNSUR HARA MIKRO Fe DAN Mn PADA TANAH
SAWAH SERTA SERAPANNYA PADA TANAMAN PADI (*Oryza sativa* L.)
DI SENTRA PERTANAMAN PADI LAMPUNG**

Oleh

MIRANDA

Skripsi

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

Pada

**Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

**Judul : KETERSEDIAAN UNSUR HARA MIKRO Fe DAN Mn
PADA TANAH SAWAH SERTA SERAPANNYA PADA
TANAMAN PADI (*Oryza sativa* L.) DI SENTRA
PERTANAMAN PADI LAMPUNG**

Nama Mahasiswa : Miranda

No. Pokok Mahasiswa : 1914121020

Program Studi : Agroteknologi

Fakultas : Pertanian



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

Ir. Niar Nurmauli, M.S.
NIP 196102041986032002

2. Ketua Jurusan Agroteknologi

Prof. Dr. Ir. Sri Yusnaini, M.Sc.
NIP 196305081988112001

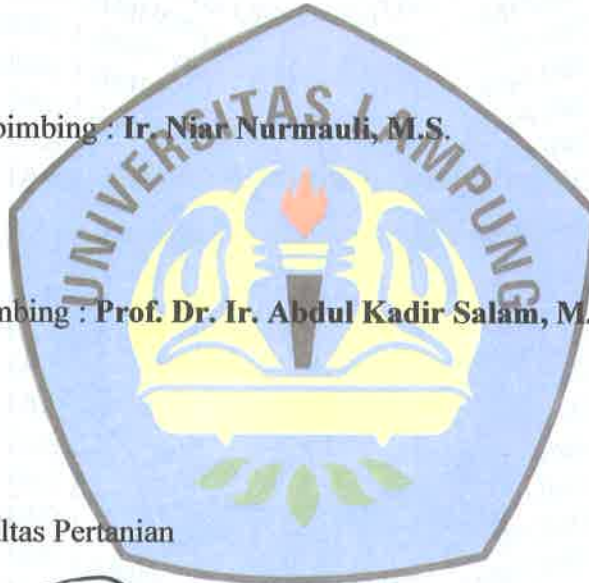
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

Anggota Pembimbing : Ir. Niar Nurmauli, M.S.

**Pembahas
Bukan Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Ketersediaan Unsur Hara Mikro Fe dan Mn pada Tanah Sawah Serta Serapannya pada Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) di Sentra Pertanaman Padi Lampung”** merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil karya orang lain. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 22 Februari 2024

Penulis,



Miranda
NPM 1914121020

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Lampung Tengah pada 01 Januari 2001. Penulis merupakan anak tunggal dari pasangan Bapak Suhono dan Ibu Sri Lestari. Penulis menyelesaikan pendidikan di SD Negeri 1 Simpang Agung pada tahun 2013, SMP Negeri 1 Seputih Agung pada tahun 2016, dan SMA Negeri 1 Seputih Agung pada tahun 2019. Pada tahun yang sama, penulis diterima sebagai Mahasiswa Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Jurusan Agroteknologi melalui jalur Penerimaan SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri).

Penulis memilih Ilmu Tanah sebagai minat penelitian dari perkuliahan. Pada tahun 2022 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Qurnia Mataram, Kecamatan Seputih Mataram, Kabupaten Lampung Tengah. Pada tahun 2022 penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di Rumah Belajar Kang Suyut yang berlokasi di Kecamatan Rajabasa Jaya, Kota Bandar Lampung.

Alhamdulillahirobbil'alamin

Dengan tulus dan penuh rasa syukur kupersembahkan karya ini kepada

Kedua orang tuaku

Bapak Suhono dan Ibu Sri Lestari yang senantiasa mendoakan untuk kelancaran dan keberhasilanku, memberikan seluruh cinta dan kasih sayang, perhatian, kesabaran, nasehat, dan dukungan yang tidak akan pernah terbalaskan dengan apapun.

Sahabat-sahabat yang selalu menemani dalam suka maupun duka, serta memberikan bantuan, motivasi, dukungan dan perhatian selama ini.

serta

Almamater tercinta

*Agroteknologi, Fakultas Pertanian
Universitas Lampung*

Katakanlah, “Sesungguhnya segala urusan itu di tangan Allah”

(Q.S Ali-Imran: 154)

“Apabila sesuatu yang kau senangi tidak terjadi maka senangilah apa yang terjadi”

(Ali bin Abi Thalib)

“Do something today that your future self will thank you for”

(Sean Patrick Flanery)

“Mari kita hidup sambil melakukan hal-hal yang kita sukai”

(Sehun, EXO)

“Kepada Diri ini.

*Mencintai dan Dicintai. Mati saat Mati. Mimpi meraih Mimpi. Bertemu, Berakhir,
Berpisah, Jalani, Lagi dan Lagi. Semua pergi, Allah disini”*

(Miranda, 2024)

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah yang Maha Esa atas rahmat dan hidayah-Nya serta berbagai kemudahan yang telah diberikan-Nya sehingga penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad *Shallallahu'alaihi wassalam* yang telah memberikan tuntunan dan petunjuk kepada kita semua sehingga kita dapat mengenal keagungan Allah *Subhanallahu wa ta'ala* dengan segala ciptaan-Nya.

Skripsi dengan judul “**Ketersediaan Unsur Hara Mikro Fe dan Mn pada Tanah Sawah Serta Serapannya pada Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) di Sentra Pertanaman Padi Lampung**” merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Pertanian di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung,
2. Prof. Dr. Ir. Sri Yusnaini, M.Si., selaku Ketua Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung,
3. Dr. Supriatin, S.P., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Pembimbing Akademik atas kesediaannya memberikan bimbingan, motivasi, saran, dan kritik kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan,
4. Ir. Niar Nurmauli, M.S., selaku Dosen Pembimbing Kedua atas kesediaannya memberikan bimbingan, motivasi, saran, dan nasihat-nasihat kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan,
5. Prof. Dr. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc., selaku Dosen Penguji yang telah

memberikan masukan, arahan, serta motivasi dalam penyelesaian skripsi ini,

6. Keluarga tersayang Bapak Suhono dan Mamak Sri Lestari atas doa, dukungan, dan semangat yang selalu diberikan kepada penulis,
7. Teman-teman seperjuangan Jurusan Agroteknologi 2019 yang telah memberi bantuan, dukungan, semangat serta saran kepada penulis,
8. Sahabat – sahabat penulis Nurul Hanaliza Arsita, Larasati Khosyatillah, Mayang Lisa Triana, Karimah, Suci Nur Aviva, Iis Nurdayanti, Rio Adi Saputra, Ardi Alviando, dan Dea Gita Pratiwi yang telah memberikan motivasi serta semangat dan canda tawa selama masa perkuliahan kepada penulis,
9. Sahabat yang akan selalu penulis kenang alm. Yudhistira Hadytia Permana yang selalu siap sedia membantu penulis semasa hidupnya,
10. Aku atas segala usaha, keringat, dan air mata dalam penyelesaian skripsi.

Dengan ketulusan hati penulis menyampaikan terima kasih dan semoga Allah SWT membalas semua kebaikan mereka. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Bandar Lampung, 22 Februari 2024

Penulis,

Miranda

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|-----------|
| DAFTAR GAMBAR | iv |
| DAFTAR TABEL | v |
| I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan penelitian | 3 |
| 1.4 Kerangka pemikiran | 3 |
| 1.5 Hipotesis | 7 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | 8 |
| 2.1 Karakteristik Tanah Sawah | 8 |
| 2.2 Unsur Hara Mikro Besi (Fe) dan Mangan (Mn) di Dalam Tanah | 10 |
| 2.3 Unsur Hara Mikro Besi (Fe) dan Mangan (Mn) di Dalam Tanaman | 12 |
| III. BAHAN DAN METODE | 16 |
| 3.1 Waktu dan Tempat | 16 |
| 3.2 Alat dan Bahan | 17 |
| 3.3 Metode Penelitian | 18 |
| 3.4 Pelaksanaan Penelitian | 18 |
| 3.4.1. Penentuan Lokasi | 18 |
| 3.4.2. Pengambilan Sampel Tanah dan Tanaman | 19 |
| 3.4.3. Analisis Kandungan Fe dan Mn Tersedia pada Sampel Tanah | 20 |
| 3.4.4. Analisis Kandungan Fe dan Mn Total pada Sampel Tanah | 20 |

| | |
|---|-----------|
| 3.4.5. Analisis Kandungan Fe dan Mn pada Sampel Tanaman..... | 21 |
| 3.5 Variabel Pengamatan..... | 22 |
| IV. HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 23 |
| 4.1 Karakteristik Tanah Sawah..... | 23 |
| 4.2 Total dan Ketersediaan Unsur Hara Mikro Fe dan Mn di Tanah | 27 |
| 4.3 Serapan Unsur Hara Mikro Fe dan Mn pada Tanaman Padi..... | 30 |
| 4.4 Hubungan Unsur Hara Mikro Fe dan Mn Tersedia dengan Sifat Tanah..... | 34 |
| 4.5 Hubungan Fe dan Mn Tersedia dengan Serapannya oleh Tanaman..... | 38 |
| V. SIMPULAN DAN SARAN..... | 40 |
| 5.1 Simpulan..... | 40 |
| 5.2 Saran..... | 41 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 42 |
| LAMPIRAN..... | 48 |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|--|---------|
| 1. Alur kerangka pemikiran ketersediaan unsur hara mikro Fe dan Mn pada tanah sawah serta serapannya pada tanaman padi di Lampung..... | 7 |
| 2. Peta lokasi pengambilan sampel tanah dan tanaman padi..... | 17 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|---|---------|
| 1. Karakteristik tanah sawah..... | 23 |
| 2. Total unsur hara mikro Fe dan Mn di tanah..... | 27 |
| 3. Ketersediaan unsur hara mikro Fe dan Mn di tanah..... | 28 |
| 4. Serapan unsur hara mikro Fe pada beras dan jerami..... | 30 |
| 5. Serapan unsur hara mikro Mn pada beras dan jerami..... | 32 |
| 6. Hubungan Fe dan Mn tersedia dengan sifat tanah (<i>single linear regression</i>) | 34 |
| 7. Hubungan Fe tersedia dengan sifat tanah (<i>multiple liner regression</i>).... | 36 |
| 8. Hubungan Mn tersedia dengan sifat tanah (<i>multiple linear regression</i>)..... | 37 |
| 9. Hubungan Fe dan Mn tersedia dengan serapan Fe dan Mn oleh tanaman..... | 39 |
| 10. Hasil pengukuran tekstur tanah pada sentra pertanaman padi di Lampung..... | 49 |
| 11. Hasil pengukuran unsur hara mikro Fe (beras dan jerami) pada sentra pertanaman padi di Lampung..... | 50 |
| 12. Hasil pengukuran unsur hara mikro Mn (beras dan jerami) pada sentra pertanaman padi di Lampung..... | 51 |

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Unsur hara atau nutrisi tanaman merupakan faktor penting bagi tanaman yang dapat diibaratkan sebagai zat makanan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan tanaman, unsur hara di bagi menjadi dua kelompok, yaitu unsur hara makro dan unsur hara mikro. Unsur hara makro merupakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah banyak, antara lain, fosfor (P), kalium (K), nitrogen (N), belerang (S), kalsium (Ca), dan magnesium (Mg). Unsur hara makro primer adalah N, P, K dan unsur hara makro sekunder adalah S, Ca, Mg. Unsur hara mikro dibutuhkan dalam jumlah kecil, antara lain besi (Fe), boron (B), mangan (Mn) seng (Zn), tembaga (Cu), molybdenum (Mo) dan klor (Cl). Meskipun unsur hara mikro diperlukan oleh tanaman dalam jumlah yang sangat kecil, kegunaan bagi tanaman sama pentingnya dengan unsur hara lainnya. Kekurangan unsur mikro dapat menurunkan hasil panen secara drastis seperti pada kekurangan unsur hara makro.

Unsur hara mikro ini, terdiri dari 5 unsur merupakan logam berat (Fe, Mn, Zn, Cu, dan Mo) yang diserap tanaman dalam bentuk kation divalen atau kelat, kecuali Mo yang diserap dalam bentuk anion divalen molibdat (MoO_4^{2-}). Dua unsur hara bukan- logam (Cl dan B) diserap tanaman dalam bentuk anion Cl^- dan H_3BO_3 (Pahan, 2006). Besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu) dan seng (Zn) adalah mikronutrien penting untuk pertumbuhan tanaman. Melalui keterlibatan mereka dalam berbagai enzim dan molekul aktif fisiologis lainnya, mikronutrien ini penting untuk ekspresi gen, biosintesis protein, asam nukleat, zat pertumbuhan, klorofil dan metabolit sekunder, metabolisme karbohidrat dan lipid, toleransi stres, dan lain-lain.

Guna memenuhi kebutuhan unsur hara mikro esensial Fe dan Mn tersebut, hewan (ternak) dan manusia sangat tergantung pada kandungan unsur hara mikro yang berasal dari tanaman pertanian, khususnya padi yang digunakan sebagai salah satu sumber pakan (jerami padi) bagi hewan dan sumber pangan pokok bagi penduduk Indonesia. Kandungan unsur hara mikro di dalam tanaman pertanian, sangat tergantung pada ketersediaan unsur hara mikro di dalam tanah (Pirzadeh dkk., 2010). Kondisi tanah sawah yang tergenang (tereduksi) mengakibatkan Fe dan Mn dalam bentuk tersedia pada tanah sawah masam tinggi. Hal ini karena, pada tanah sawah yang tergenang pH tanah cenderung menurun (masam) menyebabkan Fe dan Mn akan tereduksi menjadi bentuk tersedia Fe^{2+} dan Mn^{2+} yang apabila terserap dalam jumlah berlebih akan menjadi toksik bagi tanaman padi. Apabila jumlahnya terus meningkat dapat menyebabkan toksisitas pada tanaman padi.

Konsentrasi Fe dalam jaringan tanaman mempengaruhi status gizi keseluruhan tanaman. Besi (Fe) membantu dalam pembentukan klorofil. Kekurangan Fe menyebabkan klorosis antara urat daun dan gejala defisiensi ditunjukkan pertama kali pada daun muda. Peran Mn dianggap terkait erat dengan Fe karena Mn dapat mendukung pergerakan Fe di dalam tanaman. Hal ini mempengaruhi kadar auksin pada tanaman dan konsentrasi Mn yang tinggi mendukung pemecahan Asam Asetat Indole (IAA), mengambil bagian dalam transpor elektron dalam fotosistem II (Das, 2014). Kehadiran ion Mn^{2+} menyebabkan proses fotosintesis akan berjalan semakin lancar. Peningkatan aktivitas fotosintesis juga berpengaruh terhadap peningkatan konsentrasi klorofil. Konsentrasi klorofil akan semakin pekat sehingga kondisi hijau daun juga semakin meningkat. Keadaan ini karena Mn memegang peranan penting dalam pembentukan klorofil meskipun daun sudah tua (Dewantoro, 2017). Selain berperan penting bagi pertumbuhan tanaman, Fe dan Mn juga merupakan unsur mikro yang dibutuhkan oleh manusia dan hewan (ternak) yang berfungsi untuk aktivitas sistem enzim dan hormon dalam tubuh baik pada manusia maupun hewan (Darmono, 2007). Di Provinsi Lampung masih sedikit sekali informasi dan penelitian mengenai status unsur hara Fe dan Mn di tanah sawah. Oleh sebab itu, penting dilakukan penelitian mengenai

ketersediaan unsur hara mikro esensial Fe dan Mn pada tanah sawah dan serapannya oleh tanaman padi karena merupakan sumber utama unsur hara mikro bagi tanaman, hewan dan manusia di Provinsi Lampung.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka didapatkan rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana status ketersediaan unsur hara mikro Fe dan Mn tanah-tanah sawah di sentra pertanaman padi di Lampung ?
2. Bagaimana keterkaitan antara sifat-sifat tanah terhadap ketersediaan unsur hara mikro Fe dan Mn pada tanah-tanah sawah?
3. Apakah terdapat pengaruh ketersediaan unsur hara mikro Fe dan Mn pada tanah-tanah sawah terhadap serapannya pada tanaman padi ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun maka, tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Mempelajari status ketersediaan unsur hara mikro Fe dan Mn tanah-tanah sawah di sentra pertanaman padi di Lampung.
2. Mempelajari keterkaitan antara sifat-sifat tanah terhadap ketersediaan unsur hara mikro Fe dan Mn pada tanah sawah.
3. Mempelajari pengaruh ketersediaan unsur hara mikro Fe dan Mn pada tanah-tanah sawah terhadap serapannya pada tanaman padi.

1.4 Kerangka Pemikiran

Unsur hara Fe dan Mn merupakan unsur hara mikro esensial yang dibutuhkan dalam jumlah sedikit namun sangat penting bagi tanaman, hewan (ternak), dan manusia. Unsur hara Fe pada tanaman memainkan peran penting sebagai faktor bersama yang signifikan untuk beberapa enzim yang terlibat dalam respirasi mitokondria, fotosintesis, sintesis dan perbaikan asam nukleat, homeostasis

logam, dan dalam menjaga integritas struktural dan fungsional protein dan klorofil (Mahender dkk., 2019). Menurut Darmono (2007) mineral Fe yang digunakan dalam proses metabolisme enzimatik hemoglobin sebesar 15% dan yang disimpan dalam bentuk feritin sekitar 70 – 80% pada manusia dan hewan. Dalam hal ini, Fe berperan dalam pembentukan sel darah merah pada tubuh manusia dan hewan. Unsur hara Mn pada tanaman berfungsi untuk fotosintesis, respirasi, dan metabolisme nitrogen, karena Mn membentuk jembatan antara enzim dan substratnya (Basmal, dkk, 2014). Selain itu, Nugroho (2008) menyatakan bahwa Mn berfungsi dalam sintesa karbohidrat, *mucopolysaccharide*, sistem enzim, misalnya *pyruvate carboxylase*, dan *arginine synthetase* pada manusia dan hewan. Selain untuk reaksi enzimatik Mn juga berfungsi untuk pertumbuhan dan reproduksi ternak.

Penggenangan tanah sawah dapat meningkatkan pH tanah yang menyebabkan peningkatan kadar ion besi (II) dan mangan (II) (Alloway, 2008). Pada kondisi tergenang, toksisitas Fe akan menjadi masalah karena pada suasana reduktif, semua Fe berada pada bentuk terlarut (Fe^{2+}) (Becker dan Asch, 2005) disebabkan oleh potensial reduksi yang berada dibawah 200-300 mV (Kautsar, 2018). Tingginya Fe^{2+} tanah ini akan menyebabkan keracunan tanaman padi, karena tanaman padi mengambil hara Fe dalam bentuk Fe^{2+} . Dalam kasus yang parah keracunan Fe akan menyebabkan penurunan produksi bahkan kegagalan panen (Audebert dan Sahrawat, 2000). Selain pH sifat tanah lain juga mempengaruhi ketersediaan dan serapan unsur hara Fe dan Mn seperti, KTK tanah yang berhubungan dengan tekstur tanah, tipe mineral liat tanah, dan kandungan bahan organik. Semakin tinggi kadar liat atau tekstur semakin halus maka KTK tanah akan semakin besar. Demikian pula pada kandungan bahan organik tanah, semakin tinggi bahan organik tanah maka KTK tanah akan semakin tinggi (Mukhlis, 2007). Tanah dengan KTK tinggi mampu menyerap dan menyediakan unsur hara lebih baik dari pada tanah dengan KTK rendah. Karena unsur-unsur tersebut berada dalam kompleks jerapan tanah, maka unsur-unsur hara tersebut tidak mudah hilang atau tercuci oleh air (Sudaryono, 2009).

Menurut Pirzadeh dkk., (2010) batas kritis kandungan Fe-tersedia pada tanah sawah yaitu 10 mg kg^{-1} dan menurut Abe dkk. (2018) batas toksisitas Fe di tanah adalah $100\text{-}500 \text{ mg kg}^{-1}$. Batas kritis keracunan besi pada tanaman padi adalah $> 300\text{-}500 \text{ mg kg}^{-1}$ (Dobermann dan Fairhurst 2000), pada daun muda pada fase pembentukan anakan sampai inisiasi malai (primordial), sedangkan batas optimumnya antara $100\text{-}150 \text{ mg kg}^{-1}$ Fe (Sahrawat, 2000). Kandungan Fe dalam tanaman yang keracunan biasanya tinggi ($300\text{-}2000 \text{ mg kg}^{-1}$), tetapi kandungan Fe kritis tergantung pada umur tanaman dan status hara tanaman (Kusberyunadi, 2013). Reaksi penyebab keracunan besi pada tanaman dapat beragam seperti, pH masam, kadar Fe yang tinggi (Becker dan Asch, 2005), kahat hara dan/atau kahat hara ganda serta ketidakseimbangan hara (Mowidu, 2018), daya oksidasi dan eksklusi Fe^{2+} akar yang jelek karena defisiensi P, Ca, Mg, K, serta akumulasi bahan yang menghambat respirasi seperti H_2S , FeS, dan asam organik (Dobermann dan Fairhurst, 2000), drainase tanah yang buruk dan pemberian bahan organik yang tidak mudah terdekomposisi (Mowidu, 2018), dan keadaan lingkungan seperti keadaan air di persawahan dan lokasi daerahnya (Becker dan Asch, 2005).

Kandungan Fe tersedia pada tanah sawah di Indonesia rata-rata menunjukkan status sangat bervariasi. Kandungan unsur hara besi (Fe) pada tanah sawah di Serang, Banten berkisar $521,74 - 770,88 \text{ mg kg}^{-1}$, tanah sawah di Lebak, Banten berkisar $370,87 - 615,59 \text{ mg kg}^{-1}$, tanah sawah di Pandeglang, Banten $191,67 - 624,51 \text{ mg kg}^{-1}$, tanah sawah di Cianjur, Jawa Barat berkisar $549,35\text{-}708,15 \text{ mg kg}^{-1}$, pada tanah sawah di Karawang, Jawa Barat berkisar $278,97\text{-}764,51 \text{ mg kg}^{-1}$, dan pada tanah sawah di Subang, Jawa Barat berkisar $212,85\text{-}802,41 \text{ mg kg}^{-1}$. Hal ini menunjukkan bahwa tanah-tanah sawah tersebut memiliki Fe tersedia pada kriteria cukup ($10\text{-}100 \text{ mg kg}^{-1}$) hingga toksik ($>100 \text{ mg kg}^{-1}$). Hal ini dapat dikaitkan dengan pH tanah di tanah- tanah tersebut yang berkisar 4,55 (sangat masam) - 6,54 (agak masam) dimana dari 21 titik sampel hanya 2 titik lokasi yang memiliki pH di atas 6. Selain itu, tanah-tanah ini memiliki C-Organik yang rendah berkisar 1,26% (rendah; 1%-2%) – 3,47% (tinggi; 3%-5%) dimana hanya 2 titik lokasi yang memiliki kadar C-Organik di atas 3% (Rachman dkk. , 2020).

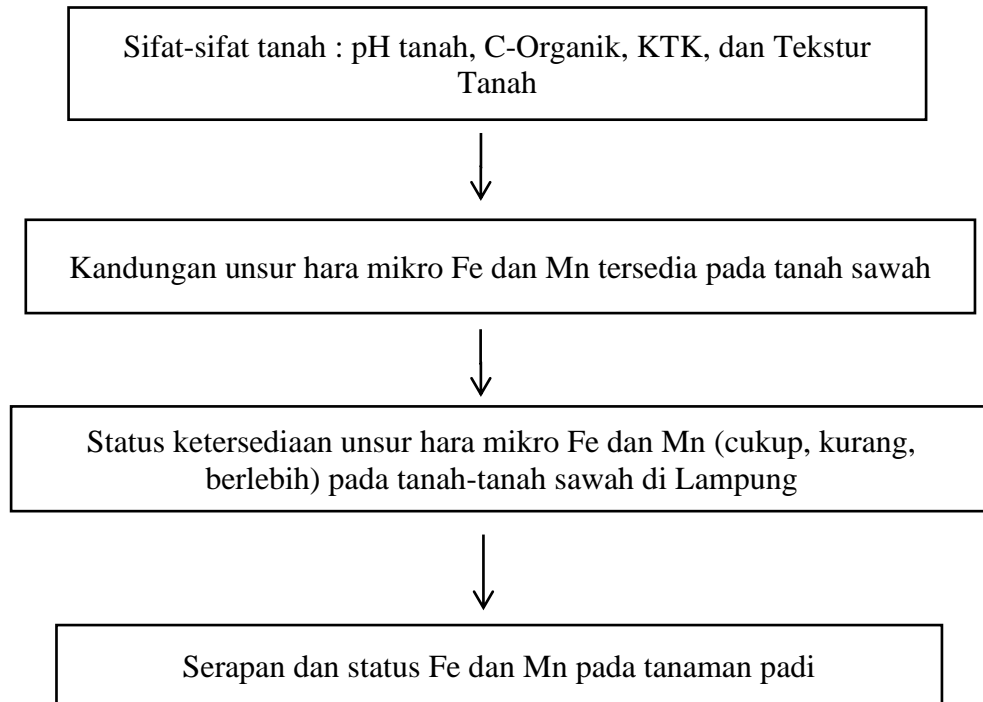
Mangan merupakan salah satu logam yang banyak ditemukan bersama dengan unsur besi (Fe). Tanah biasanya mengandung Mn sebesar 20 – 3000 mg kg⁻¹, dengan rata – rata 600 mg kg⁻¹. Tanah akan mengalami defisiensi atau kekurangan Mn jika di bawah 20 mg kg⁻¹, dan akan mengalami keracunan jika lebih dari 3000 mg kg⁻¹. Mangan (Mn) berada dalam bentuk manganous (Mn²⁺) dan manganik (Mn⁴⁺) (Seran, 2017).

Bentuk Mn tereduksi (Mn²⁺) adalah satu-satunya bentuk logam yang tersedia bagi tanaman. Mangan dapat diambil melalui sistem transpor aktif dalam sel akar epidermis dan diangkut sebagai kation divalen Mn²⁺ ke dalam tanaman (Pittman, 2005). Sama halnya dengan Fe ketersediaan Mn²⁺ akan tinggi pada tanah sawah yang cenderung tergenang secara terus-menerus. Kandungan Mn yang optimum pada tanaman berkisar 20-700 mg kg⁻¹, batas kritis defisiensi pada <20 mg kg⁻¹, dan toksisitas pada >800-2.500 mg kg⁻¹ (Doberman dan Fairhurst, 2000).

Kelarutan Mn dipengaruhi oleh beberapa faktor terutama oleh pH dan redoks. Bila pH tanah mineral rendah, sejumlah Al, Fe dan Mn menjadi larut sehingga merupakan racun bagi tanaman tertentu. Tingkat oksidasi Mn secara tidak langsung berhubungan dengan pH tanah. Pada umumnya suasana oksidatif didukung oleh pH tinggi, sedangkan keadaan masam membantu terciptanya suasana reduktif (Seran, 2017).

Kandungan Mn tersedia pada tanah sawah di Indonesia menunjukkan status yang bervariasi. Kandungan unsur hara Mangan (Mn) tanah sawah di Serang, Banten berkisar 1,33 – 227,70 mg kg⁻¹, tanah sawah di Lebak, Banten berkisar 154,84 – 303,01 mg kg⁻¹, tanah sawah di Pandeglang, Banten 47,632 – 411,58 mg kg⁻¹, tanah sawah di Cianjur, Jawa Barat berkisar 109,12-260,65 mg kg⁻¹, pada tanah sawah di Karawang, Jawa Barat berkisar 101,01-618,63 mg kg⁻¹, dan pada tanah sawah di Subang, Jawa Barat berkisar 27,56-177,06 mg kg⁻¹. Hal ini menunjukkan bahwa tanah-tanah sawah tersebut memiliki Mn tersedia pada kriteria cukup (20-3000 mg kg⁻¹). Sama dengan Fe hal ini dapat dikaitkan dengan pH tanah di tanah-tanah tersebut yang berkisar 4,55 (sangat masam) - 6,54 (agak masam) dimana dari 21 titik sampel hanya 2 titik lokasi yang memiliki pH di atas 6. Selain itu,

tanah-tanah ini memiliki C-Organik yang rendah berkisar 1,26% (rendah; 1%-2%) – 3,47% (tinggi; 3%-5%) dimana hanya 2 titik lokasi yang memiliki kadar C-Organik di atas 3% (Rachman dkk., 2020). Kerangka pemikiran yang telah diuraikan dapat digambarkan pada diagram di bawah ini :



Gambar 1. Alur kerangka pemikiran ketersediaan unsur hara mikro Fe dan Mn pada tanah sawah serta serapannya pada tanaman padi di Lampung.

1.5 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini, sebagai berikut :

1. Status ketersediaan unsur hara mikro Fe dan Mn tanah-tanah sawah yang ada di Lampung dan serapan Fe dan Mn pada tanaman padi (*Oryza sativa* L.) relatif tinggi dan kemungkinan mengalami toksisitas.
2. Kandungan unsur hara mikro Fe dan Mn di tanah berkorelasi positif nyata dengan sifat tanah (pH tanah, C-Organik, KTK, dan % liat).
3. Ketersediaan unsur hara mikro Fe dan Mn tersedia di tanah-tanah sawah dengan serapannya pada tanaman padi menunjukkan hubungan yang positif.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Tanah Sawah

Genangan air di permukaan, dan penggenangan serta pengeringan yang bergantian menjadi faktor penting dalam proses pembentukan profil tanah sawah. Proses pembentukan profil tanah sawah menyebabkan terjadi beberapa reaksi yang meliputi berbagai proses, yaitu (a) proses utama berupa pengaruh kondisi reduksi-oksidasi (redoks) yang bergantian; (b) penambahan dan pemindahan bahan kimia atau partikel tanah; dan (c) perubahan sifat fisik, kimia, dan mikrobiologi tanah, akibat penggenangan pada tanah kering yang disawahkan, atau perbaikan drainase pada tanah rawa yang disawahkan (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2004). Perubahan sifat kimia tanah sawah yang terjadi setelah penggenangan antara lain : (1) penurunan kadar oksigen, (2) perubahan potensial redoks, (3) meningkatnya pH tanah, (4) reduksi Ferri (Fe^{3+}) menjadi Ferro (Fe^{2+}), (5) perubahan Mangan (Mn^{4+}) menjadi Mangan (Mn^{2+}), (6) terjadi denitrifikasi, (7) reduksi sulfat (SO_4^{2-}) menjadi sulfid (SO_3^{2-}), (8) penurunan ketersediaan Zn dan Cu, (9) terjadinya pelepasan CO_2 , CH_4 , H_2S dan asam organik (Virzelina dkk., 2019).

Penggenangan pada tanah mineral masam mengakibatkan nilai pH tanah akan meningkat dan pada tanah basa akan mengakibatkan nilai pH tanah menurun mendekati netral. Pada saat penggenangan pH tanah akan menurun selama beberapa hari pertama, kemudian mencapai minimum dan beberapa minggu kemudian pH akan meningkat lagi secara asimtot untuk mencapai nilai pH yang stabil yaitu sekitar 6,7–7,2. Penurunan awal disebabkan akumulasi CO_2 dan juga oleh terbentuknya asam organik. Kenaikan berikutnya bersamaan dengan reduksi tanah dan ditentukan oleh: (a) pH awal dari tanah; (b) macam dan kandungan

komponen tanah teroksidasi terutama besi dan mangan; serta (c) macam dan kandungan bahan organik (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2004.).

Tanah sawah mengalami kondisi tergenang dan kering yang bergantian, sehingga dapat mempercepat terjadinya pelapukan pada beberapa jenis mineral liat yang dikandungnya. Salah satunya akan terjadi ferolisis. Ferolisis adalah proses pembentukan tanah yang diakibatkan oleh penghancuran mineral liat oleh kondisi oksidasi dan reduksi yang silih berganti (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2004.). Di dalam proses ini terjadi pelepasan Al dan kation lain dari kisi lapisan Al-oktahedron dan Si- tetrahedron pada struktur mineral liat.

Aluminium yang terbebaskan akan menjadipolimer Al yang terbentuk di antara lapisan maupun melapisi mineral liat tipe 2:1 (vermikulit, monmorilonit). Karena polimer Al bermuatan positif maka polimer ini akan menetralsir muatan negatif pada permukaan mineral liat. Akibatnya akan terjadi penurunan KTK dari mineral 2:1 karena muatan negatif yang terdapat pada tempat pertukaran (*exchange site*) telah didominasi oleh polimer Al yang bermuatan positif.

Yoshida (1981) menyatakan bahwa proses reduksi merupakan proses yang mengkonsumsi elektron (sehingga terjadi penurunan Eh) dan menghasilkan ion OH⁻ (sehingga pH meningkat) dan bentuk besi fero. Kecepatan reduksi dan macam serta jumlah hasil reduksi ditentukan oleh: (a) macam dan kandungan bahan organik; (b) macam dan konsentrasi zat anorganik penerima elektron; (c) pH; dan (d) lamanya penggenangan (Yoshida, 1981). Menurut Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (2004), kuatnya proses reduksi bergantung pada jumlah bahan organik yang mudah melapuk. Makin tinggi kandungan bahan organik tanahnya makin besar kekuatan reduksinya. Pada umumnya, kadar zat yang tereduksi mencapai puncak pada 2-4 minggu setelah penggenangan kemudian berangsur-angsur menurun sampai suatu tingkat keseimbangan. Besarnya nilai Eh berpengaruh terhadap ketersediaan unsur-unsur hara antara lain: Eh rendah meningkatkan ketersediaan P, K, Fe, Mn, dan Si tetapi mengurangi ketersediaan S dan Zn (Sudadi dkk., 2017).

Reduksi besi adalah reaksi yang paling penting di dalam tanah masam tergenang karena dapat menaikkan pH dan ketersediaan fosfor serta menggantikan kation lain dari tempat pertukaran seperti K^+ . Peningkatan Fe^{2+} pada tanah masam dapat menyebabkan keracunan besi pada padi, apabila kadarnya dalam larutan = 350 mg kg^{-1} . Keadaan ini dapat dihindari dengan cara pencucian tanah atau menangguhkan waktu tanam sampai melewati puncak reduksi. Puncak kadar senyawa Fe^{2+} larutan tanah biasanya terjadi dalam bulan pertama setelah penggenangan dan diikuti penurunan berangsur-angsur. Konsentrasi besi dalam larutan tanah diatur oleh pH tanah, kandungan bahan organik, kandungan besi itu sendiri dan lamanya penggenangan (Sudadi dkk., 2017).

2.2 Unsur Hara Mikro Besi (Fe) dan Mangan (Mn) di Dalam Tanah

Di dalam tanah, keseimbangan Fe^{2+} dan Fe^{3+} sangat dipengaruhi oleh kemasaman tanah (pH) dan potensial redoks (Eh) (Kautsar, 2008). Redoks potensial dipengaruhi oleh penggenangan yang dilakukan pada tanah. Perubahan besi sangat dipengaruhi oleh potensial redoks dan reaksi tanah dimana redoks potensial yang tinggi cenderung membentuk Fe^{3+} dan pada kondisi redoks potensial rendah cenderung membentuk Fe^{2+} (Susilawati dan Fahmi, 2013). Kemasaman tanah (pH) sangat berpengaruh karena dalam suasana asam saat ion H^+ tinggi, muatan negatif pada koloid liat dan humus rendah, karena ujung-ujung koloid liat dan gugus fungsional pada humus dijenuhi oleh ion H^+ yang terjerap, yang dapat menyebabkan perubahan muatan negatif tanah menjadi muatan positif (Salam, 2020). Hal ini menyebabkan Fe^{2+} akan dalam jumlah yang tinggi dalam larutan tanah karena tidak ada atau sedikit ion Fe^{2+} yang terjerap oleh koloid liat dan humus.

Kandungan Fe-dd yang termasuk sangat tinggi apabila digenangi akan terjadi reduksi dari Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} yang larut dan jumlahnya bisa meningkat sampai pada tingkat meracun terhadap tanaman (Sudadi dkk., 2017). Tanah pada saat tergenang Fe ada dalam bentuk Fe^{2+} dan dapat diserap tanaman, sedangkan pada

saat tanah dikeringkan sebagian Fe^{2+} yang tertinggal akan berubah menjadi Fe^{3+} yang mudah bereaksi dengan unsur lain dan umumnya tidak dapat diserap tanaman (Herviyanti dkk., 2011). Peningkatan kadar besi ferro erat hubungannya dengan kandungan bahan organik tanah sebagai penyumbang electron. Karbon dari bahan organik dalam proses reduksi menghasilkan electron (e^-). Komponen tanah yang teroksidasi (Fe^{3+}) berfungsi sebagai penangkap electron. Menurut Fahmi, dkk (2009) bahwa, Fe^{3+} tereduksi membentuk Fe^{2+} , sehingga besi ferro pada tanah dalam keadaan tergenang kadarnya meningkat, hal sebaliknya terjadi pada besi ferri (Yuliana, 2012).

Kelarutan Fe dalam tanah sangat dipengaruhi oleh reaksi tanah (pH) tanah, jika pH tanah menurun maka ketersediaan Fe meningkat, sebaliknya bila pH tanah meningkat, ketersediaan Fe menjadi menurun (Agus dkk., 2005). Hal ini yang membuat ketersediaan Fe^{2+} (pada tanah sawah tergenang) dan Fe^{3+} (pada tanah sawah yang dikeringkan) meningkat pada tanah sedangkan, dalam keadaan tergenang ion Fe^{3+} direduksi menjadi Fe^{2+} . Kemudian, apabila terjadi peningkatan pH akan melepaskan ion OH^- yang mengikat ion Fe^{2+} dan Fe^{3+} sehingga menurunkan kelarutan Fe (Yuliana, 2012).

Mangan (Mn) adalah unsur logam berwarna kelabu-kemerahan, di alam Mn umumnya ditemui dalam bentuk senyawa dengan berbagai macam valensi. Besi (Fe) merupakan unsur logam dalam tanah berwarna kemerahan. Mangan merupakan salah satu logam yang banyak ditemukan bersama dengan unsur besi (Fe) (Seran, 2017). Mangan (Mn) berasal dari batuan primer yang pada umumnya dalam bentuk ferromagnetit. Unsur Mn yang berasal dari batuan tersebut dibebaskan lewat proses pelapukan mineral primer dan akan bersatu dengan O_2 , CO_2 dan SiO_2 untuk membentuk mineral sekunder terutama menjadi pirolusit (MnO_2) dan manganit ($\text{MnO}(\text{OH})_2$) (Mengel dan Kirkby, 1982 dalam Seran, 2017), hausmanit (Mn_3O_4), rhodoksit (MnCO_3) dan rhodonit (MnSiO_3). Oksida mangan dan besi lebih sering terdapat di dalam tanah secara bersama-sama dalam gumpalan (Seran, 2017).

Di dalam tanah, Mn^{4+} berada dalam bentuk senyawa mangan dioksida yang sangat tak larut di dalam air dan mengandung karbondioksida. Pada kondisi reduksi (anaerob) akibat dekomposisi bahan organik dengan kadar yang tinggi, Mn^{4+} pada senyawa mangan dioksida mengalami reduksi menjadi Mn^{2+} yang bersifat larut. Ion Mn^{2+} berikatan dengan nitrat, sulfat, dan klorida serta larut dalam air (Seran, 2017). Mn^{2+} inilah bentuk tersedia Mn yang dapat diserap oleh tanaman.

Konsentrasi mangan dalam larutan tanah dapat meningkat pada pH tanah yang rendah atau ketika redoks rendah karena pH rendah $>4,5$ menyebabkan Mn tersedia dalam bentuk Mn^{2+} . Proses oksidasi dan reduksi pada tanah sawah tergenang juga mempengaruhi ketersediaan Mn. Selain itu, ketersediaan bahan organik dan adanya unsur lain yang berlebih dapat mempengaruhi ketersediaan Mn pada tanah. Apabila tanah memiliki ketersediaan Fe yang berlebih akan mempengaruhi ketersediaan Mn dan serapannya begitu pula sebaliknya (Doberman dan Fairhurst, 2000). Muatan negatif yang berasal dari koloid humus berkembang tergantung pada pH tanah (Salam, 2020). Bila pH masam maka muatan negatif dari koloid humus rendah karena meningkatnya ion H^+ yang terjerap pada ujung-ujung gugus fungsional humus sehingga sedikit atau tidak ada ion Mn^{2+} yang terjerap pada koloid humus. Akibatnya ketersediaan Mn akan meningkat. Bila pH meningkat maka akan melepaskan ion OH^- yang akan berikatan dengan ion Mn^{2+} sehingga Mn tersedia akan menurun. Pada pH alkalin (basis) ion Mn divalen akan teroksidasi : $Mn^{2+} + OH^- \rightarrow MnO_2 + H^+$. Proses oksidasi ion Mn divalen akan segera mengurangi konsentrasi Mn dalam larutan tanah, dan dapat menimbulkan gejala defisiensi Mn pada tanaman (Budiyanto, 2016).

2.3 Unsur Hara Mikro Besi (Fe) dan Mangan (Mn) di Dalam Tanaman

Faktor transfer tanah ke tanaman (juga disebut faktor serapan, faktor akumulasi, atau faktor konsentrasi) adalah indeks untuk mengevaluasi potensi transfer logam dari tanah ke tanaman (Zheng dkk, 2007). Faktor transfer Zn, Fe, Mn, dan Cu dari tanah ke jerami adalah 0,67, 0,01, 0,36, dan 0,12, dan masing-masing dari tanah

ke biji-bijian (bulir) $0,53$, $4,27 \times 10^{-3}$, $0,05$, dan $0,33$. Faktor transfer dari tanah ke bagian yang dapat dimakan dari beras (bulir) didefinisikan sebagai rasio konsentrasi logam dalam butiran padi dengan konsentrasi logam total dalam tanah. Nilai faktor transfer Zn, Fe, Mn, dan Cu dari tanah ke padi menurun sesuai dengan urutan berikut: $Zn > Cu > Mn > Fe$. Asupan kebutuhan Fe pada pria dan wanita masing-masing adalah 8 dan 18 mg, dan dengan demikian, konsumsi beras dapat menyediakan 96% dan 42% dari kebutuhan makanan untuk pria dan masing-masing wanita dewasa. Asupan referensi kebutuhan Mn untuk pria dan wanita adalah $2,3$ dan $1,8$ mg/hari^{-1} , masing-masing. Beras akan menyediakan 71% dan 90% dari kebutuhan makanan untuk orang dewasa pria dan wanita, masing-masing. (Pirzadeh dkk., 2010).

Tanah sawah dengan pH rendah dan aktivitas reduksi Fe^{3+} ke Fe^{2+} yang tinggi akan meningkatkan ketersediaan Fe di zona akar dan apabila penyerapan Fe terlalu berlebihan akan mengakibatkan toksisitas Fe pada tanaman padi. Oleh karena itu, praktik pengelolaan tanah dan nutrisi yang tepat, seperti pengapuran tanah masam, meningkatkan kesuburan tanah dan drainase tanah pada tahap pertumbuhan tanaman tertentu, menggunakan mangan sebagai elemen antagonis dalam penyerapan Fe^{2+} , dan menanam kultivar tanaman padi toleran Fe^{2+} dapat membantu menghindari toksisitas Fe pada tanaman padi (Mahender, 2019). Unsur hara Fe pada tanaman padi memiliki batas kritis defisiensi < 50 mg kg^{-1} , optimum pada kisaran $60-150$ mg kg^{-1} dan toksisitas pada $> 300-500$ mg kg^{-1} (Doberman dan Fairhurst, 2000).

Besi diserap tanaman dalam bentuk ion ferri (Fe^{3+}) dari ion ferro (Fe^{2+}) yang dioksidasi secara reversibel selama transfer elektron. Beberapa Fe hadir dalam bentuk terlarut dan beberapa terikat oleh membrane. Kadar Fe dalam tanaman sekitar 80% yang terdapat dalam kloroplas/sitoplasma. Dalam kloroplas Fe di ferodoksin hadir dalam bentuk divalent dan trivalent. Kebutuhan Fe tanaman sebanding dengan kebutuhan Mn, tanaman yang kekurangan unsur ini akan mengalami pucat warna daun kemudian menguning dan pembuluh darah membesar. Secara umum fungsi dari unsur besi yaitu, membantu sintesis DNA,

respirasi dan fotosintesis, pemelihara struktur dan fungsi kloroplas, activator enzim katalase, peroksidase, membantutransfer elektron, dan membantu perkembangan meristem ujung akar (Purba dkk, 2021).

Secara umum, masalah defisiensi Mn terjadi pada tanah dengan kandungan total Mn yang rendah (tanah tropis dan berpasir yang sangat lapuk), pada tanah gambut, atau tanah kaya organik dengan pH di atas 6, dan pada tanah mineral dengan nilai pH 6,5. Unsur hara Mn lebih mudah diserap oleh tanaman dan bergerak di tanah yang dikeringkan secara tidak sempurna atau tergenang air namun tidak terus- menerus. Toksisitas Mn seringkali terjadi pada padi yang ditanam dalam kondisi terendam terus menerus pada tanah tersebut. Hal ini dapat menyebabkan keracunan apabila terserap tanaman secara berlebih (Shukla dkk., 2018). Unsur hara Mn menurut Pirzadeh dkk. (2010), pada tanaman padi memiliki batas kritis 70 mg kg^{-1} dan batas toksisitas Mn pada jerami menurut Dobermann and Fairhurst (2000) adalah $>800\text{--}2.500 \text{ mg kg}^{-1}$.

Mangan diserap tanaman dalam bentuk ion Mn^{2+} , kadar ion ini tergantung pada reaksi oksidasi-reduksi yang dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pH, bahan organik, aktivitas mikroorganisme dan kelembaban tanah. Defisiensi unsur ini pada tanaman menyebabkan terhambatnya pertumbuhan dan pembentukan tunas baru, bercak keabuan hingga kecoklatan pada tanaman sereal dan menghambat pertumbuhan akar. Secara umum fungsi dari unsur mangan adalah sebagai berikut:

1. Kofaktor aktivasi enzimatik/inhibitor jika Mn pada konsentrasi tinggi
2. Pengontrol biosintesis lignin dan suberin, fenol dan fotosintesis
3. Penyusun ribosom dan mengaktifkan polimerase
4. Membantu pembentukan keratin, riboflavin dan asam askorbat
5. Membantu produksi oksigen selama fotosintesis karena sebagai pemisah antara air dan oksigen
6. Sebagai pengatur beberapa sistem oksidasi dan reduksi

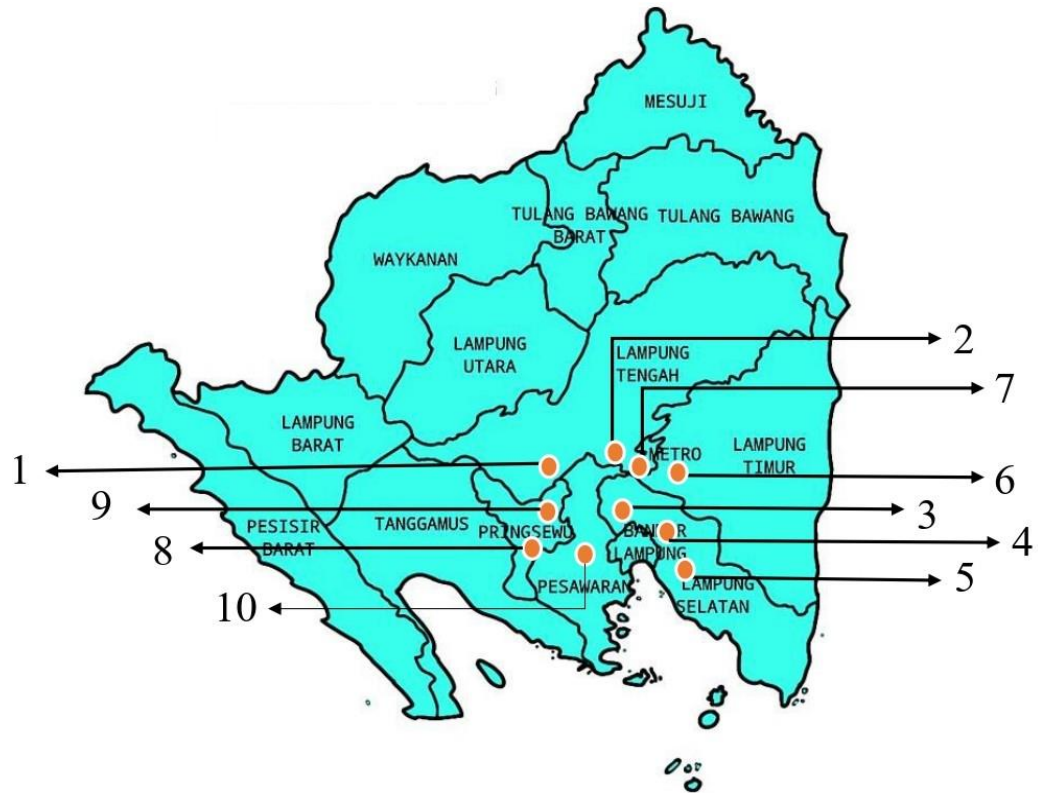
7. Berpartisipasi pada proses fotolisis dalam fotosistem II
8. Mengaktifkan indole acetic acid oxidase, yang kemudian mengoksidasi indole acetic acid pada tanaman (Purba dkk, 2021).

III. BAHAN DAN METODE

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan dengan pengambilan sampel tanah dan tanaman pada bulan Agustus - September 2022 menggunakan metode survei di lapangan.

Penelitian ini dilakukan dengan mengambil sampel tanah dan tanaman padi di 10 lokasi sentra pertanaman padi di Lampung (Gambar 2) diantaranya, (1) Desa Suka Negara, Kecamatan Bangunrejo, Kabupaten Lampung Tengah, (2) Desa Adipuro, Kecamatan Trimujo, Kabupaten Lampung Tengah; (3) Desa Branti Raya, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan; (4) Desa Marga Agung, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan; (5) Desa Sidoharjo, Kecamatan Way Panji, Kabupaten Lampung Selatan; (6) Desa Tulus Rejo, Kecamatan Pekalongan, Kabupaten Lampung Timur; (7) Desa Ganjar Asri, Kecamatan Metro Barat, Kabupaten Metro; (8) Desa Wonodadi Utara, Kecamatan Gading Rejo, Kabupaten Pringsewu; (9) Desa Wates, Kecamatan Gading Rejo, Kabupaten Pringsewu; dan (10) Desa Gedong Tataan, Kecamatan Negeri Katon, Kabupaten Pesawaran. Kemudian, kandungan Fe dan Mn pada sampel-sampel tanah, jerami padi, dan bulir beras di analisis di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada bulan Oktober 2022 - September 2023.



Keterangan :

Lampung Tengah :

1. Suka Negara
(LS : 5°6'34,20"; BT : 105°1'44,30")

2. Adipuro
(LS : 5°9'34,81"; BT : 105°13'53,95")

Lampung Selatan :

3. Branti Raya
(LS : 5°15'9,18"; BT : 105°10'28,76")

4. Marga Agung
(LS : 5°19'6,11"; BT : 105°19'28,30")

5. Sidoharjo
(LS : 5°37'33,65"; BT : 105°35'11,60")

Lampung Timur :

6. Tulus Rejo
(LS : 5°3'49,36"; BT : 105°23'3,79")

Metro :

7. Ganjar Asri
(LS : 5°7'27,65"; BT : 105°17'17,50")

Pringsewu :

8. Wonodadi Utara
(LS : 5°22'25,46"; BT : 105°3'1,74")

9. Wates
(LS : 5°21'26,60"; BT : 105°0'31,22")

Pesawaran

10. Gedong Tataan
(LS : 5°22'31,80"; BT : 105°5'46,91")

Gambar 2. Peta lokasi pengambilan sampel tanah dan tanaman padi.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain bor tanah sawah, ICP-OES (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry), mortar, ayakan 2 mm, alat gelas, pH meter, dan lain-lain. Bahan-bahan yang digunakan

pada penelitian ini adalah 10 sampel tanah sawah dan tanaman padi yang diambil dari sentra pertanaman padi di Lampung, pengekstrak DTPA pH 7,3, Asam sulfat pekat 95%, Asam fosfat pekat 85%, larutan standar amonium ferosulfat, larutan standar kalium bikromat, larutan indikator difenilamin standar, larutan tri etanol amin, larutan CaCl_2 , larutan standar Fe, larutan standar Mn, dan lain-lain. larutan

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode survei di lapangan dengan mengambil sampel tanah dan tanaman padi di 10 lokasi sentra pertanaman padi sawah di Lampung. Lalu, sampel tanah, sampel jerami, dan sampel bulir beras dianalisis untuk mengetahui status ketersediaan unsur hara mikro Fe dan Mn pada tanah sawah dan serapannya oleh tanaman padi. Kemudian, dari data yang telah didapat dibandingkan dengan kriteria ketersediaan unsur hara mikro Fe dan Mn pada tanah sawah berdasarkan uji DTPA dan serapannya pada tanaman padi dan kemudian dihubungkan dengan sifat-sifat tanah melalui uji korelasi dengan persamaan regresi linear.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Penentuan Lokasi

Pengambilan sampel dilakukan di 10 lokasi sentra pertanaman padi di 6 kabupaten di Lampung dan pada setiap kabupaten diambil pada 1 sampai 3 lokasi pengambilan. Kabupaten ini antara lain, Lampung Tengah, Lampung Timur, Lampung Selatan, Metro, Pesawaran, dan Pringsewu. Penentuan lokasi sampel tanah tersebut didasarkan pada jenis tanah dan bahan induk pembentuk tanah. Selain itu informasi mengenai pemeliharaan tanaman pada masing-masing lokasi dikumpulkan dengan cara bertanya ke petani diantaranya, pemupukan (pupuk organik dan anorganik: jenis pupuk, dosis dan waktu aplikasi; apakah dosis pupuk yang diaplikasikan berbeda antara musim tanam 1 dan 2), aplikasi kapur pertanian dan pestisida, sumber air irigasi, intensitas penanaman padi dalam setahun (2 atau

3 kali dalam setahun); serta apakah petani melakukan rotasi tanaman dengan tanaman lain selain padi atau melakukan bera (membiarkan tanah tidak ditanami) setelah musim tanam kedua.

3.4.2 Pengambilan Sampel Tanah dan Tanaman

Pengambilan sampel tanah dan tanaman padi dilakukan pada akhir musim tanam kedua atau musim panen gadu dimana penanaman padi dilakukan pada bulan April hingga Juli yang kebanyakan hanya mengandalkan air hujan atau tadah hujan untuk pengairan dan panen yang terjadi pada bulan Juli hingga Oktober sedangkan, pengambilan sampel pada penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus hingga September 2022. Sampel tanaman padi (jerami dan sampel bulir beras) pada setiap lokasi diambil dari 6 petak lahan yang telah ditentukan dengan kriteria padi terlihat sehat (tidak diserang hama), bermalai banyak, normal (tinggi tanaman serumpun tampak sama), dan tanah tidak tergenang. Sampel tanaman yang dipilih adalah tanaman padi yang telah mencapai masa generatif akhir menjelang panen dengan ciri jerami sudah mulai menguning dan sebagian bulir padi sudah terisi dan menguning. Sampel tanaman diambil dengan cara digunting di atas permukaan tanah tidak sampai akarnya lalu sampel tanaman dimasukkan pada plastik yang telah diberi label lokasi pengambilan sampel. Setelah diambil dari lapang, sampel tanaman dibersihkan dari sisa-sisa tanah yang menempel. Selanjutnya, dipisahkan antara jerami, bulir beras dan kulit gabah. Masing-masing bagian dimasukkan ke dalam amplop kertas yang berbeda dan dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 70°C selama 3 x 24 jam. Kemudian, sampel tanaman dihaluskan dengan penggiling dan sampel tanaman disimpan dalam botol atau plastik yang tertutup rapat untuk kemudian dianalisis kandungan unsur hara mikro Fe dan Mn.

Sampel tanah diambil di sekitaran tanaman padi yang telah dipilih menjadi sampel. Sampel tanah diambil pada kedalaman 0 – 20 cm pada setiap lokasi dengan menggunakan bor tanah. Sampel tanah pada setiap lokasi diambil dari 6 petak lahan yang berbeda dengan jarak antar petak kurang-lebih 100 m– 300 m, kemudian sampel tanah dari semua titik tersebut dicampurkan hingga homogen

menjadi 1-2 kg sampel tanah untuk analisis. Setelah diambil dari lapang, sampel tanah dibersihkan dari sisa-sisa tanaman dan kerikil, dan dikeringudarkan pada suhu ruangan. Setelah kering, sampel tanah dihaluskan dengan menggunakan penumbuk tanah yang terbuat dari porselen (*porcelain mortar*), diayak menggunakan ayakan 2 mm, dan disimpan dalam plastik yang tertutup rapat untuk selanjutnya dianalisis kandungan unsur hara mikro Fe dan Mn dan karakteristik tanahnya.

3.4.3 Analisis Kandungan Fe dan Mn Tersedia pada Sampel Tanah

Analisis kandungan Fe dan Mn tersedia pada sampel tanah dilakukan dengan menggunakan metode ekstraksi DTPA pH 7,30 berdasarkan Lindsay dan Norvell (1978). Sekitar 10 g contoh tanah halus <2 mm ditimbang dan ditambah 20 ml larutan pengestrak DTPA pH 7,3. Kemudian suspensi tanah dikocok dengan mesin kocok horizontal dengan kecepatan 120 rpm selama 2 jam. Setelah itu, suspensi disentrifusi dan disaring dengan kertas saring whatman nomor 42 untuk mendapatkan ekstrak yang jernih. Kandungan unsur Fe dan Mn di dalam ekstrak tanah diukur dengan ICP-OES (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry).

Pengestrak DTPA (diethylene triamine penta acetic acid) dapat melarutkan ion-ion logam dalam bentuk senyawa khelat. Pada pH 7,3 larutan DTPA memiliki daya khelat paling kuat untuk mengestrak besi dan logam-logam lainnya. Pengestrak DTPA mengeluarkan unsur hara yang tersedia bagi tanaman dari dalam tanah (Salam, 2020).

3.4.4 Analisis Kandungan Fe dan Mn Total pada Sampel Tanah

Metode yang digunakan untuk analisis kandungan Fe dan Mn total pada sampel tanah yaitu, menggunakan metode EPA 200.7 (U.S. Environmental Protection Agency, 2001). Sampel tanah yang dianalisis dikeringkan lalu, dihaluskan menggunakan mortar. Setelah itu sampel tanah disaring, ditimbang sebanyak $1,0 \pm 0,01$ g, dan masukkan ke dalam gelas beaker 250 ml. Sampel ditambahkan 4 mL (1+1) HNO₃ dan 10 mL (1+4) HCl . Tutup bibir gelas beaker. Letakkan gelas

beaker di atas hot plate untuk dipanaskan. Hot plate harus ditempatkan di lemari asam dan sebelumnya disesuaikan untuk memberikan suhu panas sekitar 95°C. Panaskan sampel secara perlahan selama 30 menit. Biarkan sampel mendingin dan pindahkan ekstrak secara kuantitatif ke dalam labu ukur 100 mL. Encerkan sesuai volume dengan aquades, tutup dan aduk. Diamkan larutan ekstrak sampel semalaman untuk memisahkan bahan yang tidak larut atau sentrifugasi sebagian larutan sampel hingga jernih. Jika setelah disentrifugasi atau didiamkan semalaman, larutan ekstrak mengandung padatan tersuspensi yang akan menyumbat nebulizer, sebagian larutan ekstrak dapat disaring untuk dihilangkan sebelum analisis. Namun, harus berhati-hati untuk menghindari potensi kontaminasi dari penyaringan. Kemudian kandungan Fe dan Mn pada ekstrak sampel siap untuk dianalisis dengan ICP-OES. Karena efek dari berbagai matriks pada stabilitas sampel yang diencerkan tidak dapat dikarakterisasi, semua analisis harus dilakukan sesegera mungkin setelah selesai persiapan.

3.4.5 Analisis Kandungan Fe dan Mn pada Sampel Tanaman

Metode yang digunakan untuk analisis kandungan Fe dan Mn pada sampel tanaman yaitu, prosedur oksidasi sampel tanaman dengan metode EPA 200.7 (U.S. Environmental Protection Agency, 2001). Bagian tanaman yang dianalisis antara lain, jerami, dan bulir beras. Sampel dikeringkan dengan suhu 60°C untuk mencegah hilangnya kandungan unsur hara dalam sampel. Lakukan homogenitas dengan saring sampel yang telah dikeringkan dengan menggunakan saringan polipropilena berukuran 5 mesh dan giling dengan menggunakan lesung, dan alu. Timbang $1,0 \pm 0,01$ g jaringan tanaman dan pindahkan ke dalam gelas beaker 250 mL untuk ekstraksi asam. Kemudian, tambahkan 10 mL (1+1) HNO₃ ke dalam gelas beaker dan tutup bibir gelas kimia dengan penutup kaca. Letakkan gelas beaker di atas hot plate dan panaskan sampel selama 10 menit. Keluarkan sampel dari hot plate dan biarkan dingin. Tambahkan 5 mL HNO₃ pekat ke dalam gelas beaker, ganti penutup kaca, letakkan di atas hot plate, dan panaskan selama 30 menit. Ulangi langkah terakhir ini sekali. Angkat gelas beaker dari hot plate dan biarkan sampel menjadi dingin. Lalu, tambahkan 2 mL air reagen dan 3 mL H₂O₂ 30%. Letakkan gelas beaker di atas hot plate dan panaskan sampel hingga timbul

buih yang lembut. Setelah reaksi mereda, tambahkan 1 mL H₂O₂ 30% hingga tidak ada buih, tetapi tidak lebih dari total 10 mL. Tambahkan 2 mL HCl pekat dan 10 mL air reagen ke dalam sampel, tutup dengan penutup kaca dan panaskan selama 15 menit. Setelah itu, dinginkan sampel dan encerkan hingga 100 mL dengan air reagen. Bahan padat yang tersisa harus dibiarkan mengendap dari volume sampel akhir dapat disentrifugasi. Kandungan Fe dan Mn di dalam larutan diukur dengan ICP-OES (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry).

3.5 Variabel Pengamatan

Variabel utama yang diamati, yaitu :

1. Konsentrasi unsur mikro Fe dan Mn tersedia di dalam tanah
Konsentari unsur mikro Fe dan Mn tersedia dalam tanah ditentukan status ketersediaannya dari hasil yang telah didapat setelah analisis dengan larutan pengestrak DTPA pH 7,30.
2. Konsentrasi unsur mikro Fe dan Mn dalam sampel tanaman padi
Konsentari unsur mikro Fe dan Mn dalam tanaman padi (jerami padi dan bulir beras) ditentukan status kandungannya dari hasil yang telah didapat setelah pengujian oksidasi jaringan tanaman dengan metode EPA 200.7.

Variabel pendukung yang diamati, yaitu : pH tanah dianalisis menggunakan metode elektrometri, C-Organik dianalisis menggunakan metode CHN Elemental Analyzer, KTK dianalisis menggunakan metode NH₄OAc 1 N pH 7, tekstur tanah dianalisis menggunakan metode Hydrometer, dan Fe dan Mn total dalam tanah dengan menggunakan metode EPA 200.7. Ditentukan apakah sifat-sifat tanah tersebut memiliki keterkaitan dengan ketersediaan unsur hara Fe dan Mn pada tanah-tanah sawah dan serapannya pada tanaman padi melalui uji korelasi dengan persamaan regresi linear.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Status ketersediaan unsur hara mikro Fe pada tanah sawah di 10 lokasi sentra pertanaman padi adalah 8 daerah (Sukanegara, Adipuro, Branti Raya, Marga Agung, Tulus Rejo, Wates, Wonodadi Utara, dan Gedong Tataan) memiliki status toksisitas dan hanya 2 daerah (Sidoharjo dan Ganjar Asri) yang berada pada status cukup dengan ketersediaan berkisar antara 61 mg kg^{-1} – 171 mg kg^{-1} . Status ketersediaan unsur hara mikro Mn pada tanah sawah di 10 lokasi sentra pertanaman padi adalah cukup dengan ketersediaan berkisar antara 13 mg kg^{-1} – 167 mg kg^{-1} . Status serapan unsur hara mikro Fe pada beras di 10 lokasi pertanaman padi sawah adalah cukup dengan berkisar antara $34,00$ – $66,00 \text{ mg kg}^{-1}$ sedangkan status serapan Fe di jerami yang berkisar 145 – 623 mg kg^{-1} adalah berstatus cukup di 4 daerah (Sidoharjo, Ganjar Asri, Wonodadi Utara dan Gedong Tataan) sedangkan 6 daerah (Sukanegara, Adipuro, Branti Raya, Marga Agung, Tulus Rejo, dan Wates) lainnya berstatus toksisitas. Status ketersediaan unsur hara mikro Mn pada beras di 10 lokasi pertanaman padi sawah yang berkisar $6,91$ – $11,03 \text{ mg kg}^{-1}$ mengalami defisiensi sedangkan serapan Mn di jerami yang berkisar 112 – 355 mg kg^{-1} memiliki status cukup.
2. Fe-tersedia dengan C-Organik menunjukkan korelasi positif dan nyata artinya, semakin tinggi kandungan C-Organik dalam tanah maka semakin tinggi pula Fe-tersedia. Mn-tersedia dengan pH tanah menunjukkan korelasi positif dan nyata artinya, semakin tinggi pH tanah maka semakin tinggi pula ketersediaan Mn pada tanah dan korelasi antara Mn-tersedia dengan Mn-total menunjukkan korelasi positif dan nyata artinya, apabila Mn-total tinggi maka Mn-tersedia

akan tinggi. Selain itu, korelasi antara Mn-tersedia dengan pH tanah dan C-Organik (0,81*) dan korelasi antara Mn-tersedia dengan KTK dan Mn-total (0,90**) dapat meningkatkan nilai koefisien korelasi (r) tertinggi di bandingkan korelasi antara Mn tersedia dengan dua sifat tanah lainnya.

3. Ketersediaan Fe di dalam tanah tidak berkorelasi nyata dengan kandungan Fe pada beras dan jerami. Mn-tersedia di dalam tanah tidak berkorelasi nyata dengan Mn beras. Namun, Mn-tersedia di dalam tanah berkorelasi positif nyata dengan Mn jerami artinya jika Mn-tersedia di dalam tanah tinggi maka serapan Mn pada jerami akan tinggi pula.

5.2 Saran

Disarankan perlu dilakukan penambahan bahan organik ke tanah dan melakukan pemberian kapur pertanian sebab pH tanah pada 10 lokasi pertanaman padi sawah di Lampung cenderung agak masam-masam dan kadar C-Organik yang rendah hal ini menjadi salah satu penyebab status unsur hara defisiensi maupun toksisitas. Selain itu, perlu untuk dilakukan penelitian mengenai ketersediaan Fe dan Mn di tanah sawah dan serapannya pada tanaman padi pada kabupaten lain yang ada di Lampung.

DAFTAR PUSTAKA

- ABE, Ashida, K., Kamarudin, K. N., Kamil, M. I., Umami, I. M. Dan Hermansah. 2018. Soil Micronutrient Availability as Affected by Land Use and Management in a Tropical Volcanic Mountain Area of West Sumatra, Indonesia Susumu S. *Trop. Agr. Develop.* 62(3) : 136 – 140.
- Agus, F., Sulaeman, Suparto, dan Eviati. 2005. *Petunjuk Teknis : Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, Dan Pupuk*. Balai Penelitian Tanah, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian. Jakarta. 22 hal.
- Alloway, B.J. 2008. *Zinc in Soils and Crop Nutrition. 2nd edition*. Brussels (BE) and Paris (FR): IZA and IFA. 72 hal.
- Arifin, M., Putri, N. D., Sandrawati, A. dan Harryanto, R. 2018. Pengaruh Posisi Lereng terhadap Sifat Fisika dan Kimia Tanah pada Inceptisols di Jatinangor. *Soilrens.* 16 (2) : 37-44.
- Audebert, A. and Sahrawat, K.L. 2000. Mechanisms for Iron Toxicity Tolerance in Lowland Rice. *Journal of Plant Nutrition.* 23(11) : 1877-1885.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2004. Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor. 50 hal.
- Balai Penelitian Tanah. 2009. *Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk*. Balai Penelitian Tanah, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian. Bogor. 234 hal.
- Basmal, J. A., Widanarto, R. Kusumawati, dan Utomo, S. B. 2014. Pemanfaatan Limbah Ekstraksi Alginat dan Silase Ikan sebagai Bahan Pupuk Organik. *Jurnal perikanan.* 9 (2) : 19-120.
- Becker, M. dan F. Asch. 2005. Iron toxicity in rice - conditions and management concepts. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science.* 168(1) : 558 – 573.
- Budiyanto, Gunawan. 2016. *Biokimia Mn Dalam Tanah Oleh : Agroteknologi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*. Seminar Dosen Program Studi

Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. 7 hal.

- Darlita, RR., Joy, B., dan Sudirja, R. 2017. Analisis Beberapa Sifat Kimia Tanah Terhadap Peningkatan Produksi Kelapa Sawit pada Tanah Pasir di Perkebunan Kelapa Sawit Selangkun. *Jurnal Agrikultura*. 28 (1): 15-20.
- Darmono. 2007. Penyakit defisiensi mineral pada ternak ruminansia dan upaya pencegahannya. *Jurnal Litbang Pertanian*. 26(3): 104 – 108.
- Das, S. K. 2014. Role of Micronutrient in Rice Cultivation and Management Strategy in Organic Agriculture—A Reappraisal. *Agricultural Sciences*. 5(9) : 765-769.
- Dewantoro, T.G. 2017. *Pengaruh Penyemprotan Silika dan Mangan Terhadap Pertumbuhan, Produksi dan Mutu Benih Kedelai (Glucine max [L.] Merrill)* (Skripsi). Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Bandar Lampung. 11 hal.
- Dobermann A and T. Fairhurst, 2000. *Rice nutrient disorders & nutrient management*. Handbook series. Potash & Phosphat Institute (PPI). Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Intitute. Canada. 121-132 hal.
- Fahmi, A., B.g Radjaguguk, dan B.H. Purwanto. 2009. Kelarutan fosfat dan ferro pada tanah sulfat masam yang diberi bahan organik jerami padi. *Jurnal Tanah Tropika*. 14(2) : 119-125.
- Fitriatin, B. N., A. Yuniarti., T. Turmuktini., dan F. K. Ruswandi. 2014. The Effect of Phosphate Solubilizing Microbe Producing Growth Regulators on Soil Phosphate, Growth and Yield of Maize and Fertilizer Efficiency on Ultisol. *Eurasian J. of Soil Sci*. 3(2):101-107.
- Halim, M. A., Majumder, R. K. dan Zaman, M. N. 2014. Paddy soil heavy metal contamination and uptake in rice plants from the adjacent area of Barapukuria coal mine, northwest Bangladesh. *Arab J Geosci*. 10(1):1-11.
- Herviyanti, Prasetyo, T. B., Ahmad, F., dan Harianti, M.. 2011. Upaya Mengendalikan Keracunan Besi (Fe) dengan Bahan Humat dari Kompos Jerami Padi dan Pengelolaan Air untuk Meningkatkan Produktivitas Lahan Sawah Bukaak Baru di Sitiung, Sumatera Barat. *Jurnal Tanah Dan Iklim*. 1(34) : 40-47.
- Kasno A, Rostaman T, Setyorini D. 2016. Peningkatan produktivitas lahan sawah tadah hujan dengan pemupukan hara N, P, dan K dan penggunaan padi varietas unggul. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 40(2): 147-157.

- Kasno, A., Setyorini, D. dan, Suastika, I W. 2020. Pengelolaan Hara Terpadu pada Lahan Sawah Tadah Hujan sebagai Upaya Peningkatan Produksi Beras Nasional. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 14(1) : 15-24.
- Kautsar, Valensi. 2018. Perubahan Kandungan Besi dan Mangan Terlarut pada Lapisan Tapak Bajak Di Lahan Sawah Organik. *Jurnal Agro Tekno SE*. 9(1) : 38-46.
- Khairiah, J., Habibah, H.J., Anizan, I., Maimon, A., Aminah, A. and Ismail, B.S. 2009. Content of Heavy Metals in Soil Collected from Selected Paddy Cultivation Areas in Kedah and Perlis, Malaysia. *Journal of Applied Sciences Research*. 5(12) : 2179-2188.
- Kusberyunadi. 2013. Kajian Tentang Keracunan Besi Dan Mekanismenya. *Agfo UPY*. 1(5) : 59-67.
- Lindsay, W. L., dan Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42(1) : 421-428.
- Liu LN, Chen HS, Cai P, Liang W, Huang QY. 2009. Immobilization and phytotoxicity of Cd in contaminated soil amended with chicken manure compost. *J Hazard Mater*. 163(3) : 563–567.
- Mahender, A., Swamy, B. P. M., Anandan, A., dan Ali, J. 2019. Tolerance of Iron-Deficient and -Toxic Soil Conditions in Rice. *Plants*. 8(31) : 1-34.
- Manullang, J.F., Pakasi, S.E., Supit, J.M., dan Porong, J.V. 2020. *Analisis Sifat Fisik dan Kimia Tanah pada Lahan Sawah di Kecamatan Kotamobagu Utara*. Universitas Sam Ratulangi Press. Manado. 5 hal.
- McCauley A, Jones C, Jacobsen J. 2009. *Soil pH and Organic Matter. Nutrient management modules 8*. Montana State University Extension Service, Bozeman, Montana. 44-49 hal.
- Mengel, K. Dan Kirkby, E.A. 1982. *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute. Switzerland. 491-498 hal.
- Mowidu, Ita. 2018. Kadar Fe Organik dan P Tersedia pada Tanah Sawah Rawa Lebak yang Diaplikasi Kompos dan Pengelolaan Air di Poso *Journal of Sustainable Agriculture*. 33(1) : 26-33.
- Mukhlis, 2007. *Analisis Tanah dan Tanaman*. Universitas Sumatera Utara Press, Medan. 155 hal.
- Nugroho, C.P. 2008. *Agribisnis Ternak Ruminansia Jilid 1 untuk SMK*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat

Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta. 236-237 hal.

- Pahan, Iyung. 2006. *Panduan Lengkap Kelapa Sawit*. Penebar swadaya. Jakarta. 155 hal.
- Pittman, J. 2005. Managing the manganese: molecular mechanisms of manganese transport and homeostasis. *New Phytol.* 167(3) : 733-742.
- Pirzadeh, M., Afyuni, M., Khoshgoftarmanesh, A., and Schulin, R. 2010. Micronutrient status of calcareous paddy soils and rice products: implication for human health. *Bio fertil soils.* 46(1) : 317-322.
- Purba, T., Ningsih, H., Junaedi, P.A.S., Junairiah, B.G., Firgiyanto, R., dan Arsi. 2021. *Tanah dan Nutrisi Tanaman*. Yayasan Kita Menulis. Medan. Hal : 82-83.
- Rachman, L.M., Hazra, F. dan Anisa, R. 2020. Penilaian Terhadap Sifat-Sifat Fisika dan Kimia Tanah serta Kualitasnya pada Lahan Sawah Marjinal. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan.* 7(2) : 225-236.
- Ramadhani, A.D.C. 2022. *Pengaruh Bahan Pembenh Tanah Terhadap Pertumbuhan Serta Tingkat Serapan Besi, Mangan, Dan Seng Melaleuca Leucadendra Pada Tanah Gambut Terdegradasi*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta. 42-46 hal.
- Ruhaimah, Asmar, dan M.Harianti. 2009. Efek Sisa Asam Humat Dari Kompos Jerami Padi Dan Pengelolaan Air Dalam Mengurangi Keracunan Besi (Fe) Tanah Sawah Bukaan Baru Terhadap Produksi Padi. *J. Solum.* 6(1) :1-13.
- Sahrawat K. L., 2000. Elemental composition of the rice plant as affected by iron toxicity under field condition. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31(18): 2819-2827.
- Salam, A. K. 2020. *Ilmu Tanah*. Global Madani Press. Bandar Lampung. 141, 267 hal.
- Sari, M. N., Sudarsono, dan Darmawan. 2017. Pengaruh Bahan Organik Terhadap Ketersediaan Fosfor Pada Tanah-Tanah Kaya Al Dan Fe. *Buletin Tanah dan Lahan.* 1 (1) : 65-71.
- Seran, R. 2017. Pengaruh Mangan Sebagai Unsur Hara Mikro Esensial Terhadap Kesuburan Tanah dan Tanaman. *Bio – Edu : Jurnal Pendidikan Biologi.* 2(1) : 13-14.
- Shukla, A. K., Behera, S. K., Pakhre, A., and Chaudhari, S. K. 2018. Micronutrients in Soils, Plants, Animals and Humans. *Indian Journal of Fertilisers.* 14 (4) : 30-54.

- Sitinjak, N., Marpaung, P. dan, Razali. 2017. Identifikasi Status Hara Tanah, Tekstur Tanah dan Produksi Lahan Sawah Terasering Pada Fluvaquent, Eutropept dan Hapludult. *Jurnal Agroekoteknologi*. 5(3) : 513- 520.
- Subardja, D., S. Ritung, M. Anda, Sukarman, E. Suryani, dan R.E. Subandiono. 2014. *Petunjuk Teknis Klasifikasi Tanah Nasional*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor. 1 hal.
- Sudadi, U., Ramadhan, L. M. A. H., Nugroho, B., dan Hartono, A. 2017. Dinamika Fraksi Fosfor Dan Sifat Kimia Tanah Sawah Terkait Indeks Pertanaman Padi Sawah Dan Praktik Pengairan. *J. Il. Tan. Lingk.* 19(1) : 19-25.
- Sudaryono. 2009. Tingkat Kesuburan Tanah Ultisol Pada Lahan Pertambangan Batubara Sangatta, Kalimantan Timur. *J. Tek. Ling.*10(3): 337 - 346.
- Sudirja, R., M. A. Solihin, dan S. Rosniawaty. 2007. *Respons beberapa sifat kimia Inceptisol asal Rajamandala dan hasil bibit kakao melalui pemberian pupuk organik dan pupuk hayati* [Laporan Penelitian]. Bandung: Universitas Padjadjaran. 1-2 hal.
- Sukarjo, Handayani, C. O. dan Zulaehah, I. 2017. *Pengaruh Kandungan Besi Total Dan Tembaga Total Dalam Tanah Dan Beras Terhadap Produktivitas Padi Di Kabupaten Kediri*. Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. Jawa Tengah. 30-31 hal.
- Sukarjo, W. Purbalisa, C.O. Handayani ,dan E.S. Harsanti. 2019. Penilaian Resiko Kontaminasi Logam Berat Di Lahan Sawah Dan Tanaman Padi Di Das Brantas, Kabupaten Jombang. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 6(1) : 1033-1042.
- Supadma, A.A. N., Adnyana, I M., dan Puja, I N. 2013. Kajian Unsur Hara Mikro Tanah Untuk Peningkatan Produksi Pangan pada Lahan Sawah di Kecamatan Penebel, Tabanan. *AGROTROP*. 3(1): 73-81.
- Susilawati, A. dan Fahmi, A. 2013. Dinamika Besi pada Tanah Sulfat Masam yang Ditanami Padi. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 7(2) : 67-75.
- Syahputra, E., Fauzi, dan Razali. 2015. Karakteristik Sifat Kimia Sub Grup Tanah Ultisol di Beberapa Wilayah Sumatera Utara. *Jurnal Agroekoteknologi*. 4(1) :1796 – 1803.
- Tangketasik, A., Wikarniti, N. M., Soniari, N. N., dan Narka, I. W. 2012. Kadar Bahan Organik Tanah pada Tanah Sawah dan Tegalan di Bali serta Hubungannya dengan Tekstur Tanah. *AGROTROP*. 2(2): 101- 107.

- Tarigan, E.M., Lubis, K.S., dan Hannum, H. 2019. Kajian Tekstur, C-Organik, dan pH Tanah Ultiso 1 pada Beberapa Vegetasi di Desa Gunung Datas Kecamatan Raya Kahean (Study Kasus : Lahan Agak Kritis di Wilayah Sub DAS Bah Sumbu). *Jurnal Agroekoteknologi FP*. 7(1) : 230-238.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2001. *Method 200.7 Trace Elements In Water, Solids, And Biosolids By Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry*. Office of Science and Technology, Ariel Rios Building. Washington, D.C. 39-42 hal.
- Utami, S.N.H. dan Handayani, S. 2003. Sifat Kimia Entisol Pada Sistem Pertanian Organik. *Jurnal Ilmu Pertanian*. 10(2) : 63- 69.
- Virzelina, S., Tampubolon, G., dan Nasution, H. 2019. Kajian Status Unsur Hara Cu Dan Zn Pada Lahan Padi Sawah Irigasi Semi Teknis: Studi Kasus di Desa Sri Agung Kecamatan Batang Asam Kabupaten Tanjung Jabung Barat. *Agroecotenia*. 2(1) 11-26.
- Yuliana, E. D. 2012. Jenis mineral liat dan perubahan sifat kimia tanah akibat proses reduksi dan oksidasi pada lingkungan tanah sulfat masam.. *Jurnal Bumi Lestari*. 12(2) : 327 – 337.
- Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of Rice Crop Science*. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines. 115 hal.
- Zheng N, Qichao W, dan Dongmei Z. 2007. Health risk of Hg, Pb, Cd, Zn and Cu to the inhabitants around Huludao Zinc Plant in China via consumption of vegetables. *Sci Total Environ*. 383(2007) : 81–89.