

**PENGARUH SISTEM OLAH TANAH DAN RESIDU PEMUPUKAN
NITROGEN JANGKA PANJANG TERHADAP SIFAT BIOLOGI DAN
KIMIA TANAH SERTA PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI KACANG
TUNGGAK (*Vigna unguiculata*) TAHUN KE-32 DI LAHAN
POLITEKNIK NEGERI LAMPUNG**

(Tesis)

Oleh

**RIZKI AFRILIYANTI
NPM 1724011018**



**PROGRAM STUDI MAGISTER AGRONOMI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

PENGARUH SISTEM OLAH TANAH DAN RESIDU PEMUPUKAN NITROGEN JANGKA PANJANG TERHADAP SIFAT BIOLOGI DAN KIMIA TANAH SERTA PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI KACANG TUNGGAK (*Vigna unguiculata*) TAHUN KE-32 DI LAHAN POLITEKNIK NEGERI LAMPUNG

Oleh

RIZKI AFRILIYANTI

Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh sistem olah tanah dan residu pemupukan nitrogen jangka panjang (32 tahun) terhadap keanekaragaman bakteri dan fungi tanah, pertumbuhan serta produksi tanaman kacang tunggak (*Vigna unguiculata*). Penelitian ini dilakukan di kebun percobaan Politeknik Negeri Lampung pada bulan April – Juli 2019, sedangkan analisis respirasi dan keanekaragaman mikroorganisme tanah dilakukan pada bulan November 2020 – Januari 2021. Rancangan penelitian yang diterapkan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) 2x2 yang disusun secara faktorial dengan faktor pertama adalah perlakuan sistem olah tanah (T) yang terdiri dari T1 (Olah Tanah Intensif) dan T3 (Tanpa Olah Tanah), kemudian faktor kedua adalah residu dari pemupukan nitrogen (N) yaitu N0 (0 kg N ha⁻¹), dan N2 (200 kg N ha⁻¹). Terdapat 4 kombinasi perlakuan yang dengan 4 kelompok sehingga diperoleh 16 satuan percobaan. Hasil pengamatan yang diperoleh dianalisis homogenitas ragamnya dengan menggunakan uji Bartlett dan uji Tukey untuk kementambahan atau aditifitas data. Apabila data homogen dan aditif, dilakukan analisis ragam, apabila terdapat perbedaan yang nyata akan dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada α 5%, kemudian dilakukan uji korelasi untuk mengetahui hubungan antar variabel. Analisis besarnya pengaruh variabel-variabel pengamatan dan keterkaitannya dilakukan dengan *Principal Component Analysis* (PCA) atau Analisis Komponen Utama (AKU) menggunakan *Software R* dan *R Studio*. Hasil pengamatan bakteri dan fungi tanah digunakan untuk menghitung Indeks Keanekaragaman Jenis (H'), Indeks dominansi (D) dan Indeks pemerataan (e).

Hasil uji lanjut dengan BNT 5 % menunjukkan bahwa sistem tanpa olah tanah menghasilkan respirasi tanah, populasi bakteri, dan populasi fungi dalam tanah yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem olah tanah intensif. Residu pemupukan N tidak berpengaruh terhadap respirasi tanah, populasi bakteri dan populasi fungi tanah, tetapi menyebabkan penurunan pH tanah. Terdapat pengaruh interaksi antara sistem olah tanah dan residu pemupukan N jangka panjang terhadap kandungan C-Organik tanah pada saat panen, tinggi tanaman, dan produksi kacang tunggak. Sistem tanpa olah tanah menghasilkan pertumbuhan dan produksi kacang tunggak yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem olah tanah intensif. Terdapat hubungan timbal balik antara pertumbuhan dan produksi tanaman kacang tunggak dengan variabel kimia (N total dan C-Organik) serta biologi tanah (populasi bakteri dan fungi serta respirasi tanah).

Kata Kunci : Bakteri, fungi, pemupukan N jangka panjang, respirasi tanah, tanpa olah tanah jangka panjang.

**PENGARUH SISTEM OLAH TANAH DAN RESIDU PEMUPUKAN
NITROGEN JANGKA PANJANG TERHADAP SIFAT BIOLOGI DAN
KIMIA TANAH SERTA PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI KACANG
TUNGGAK (*Vigna unguiculata*) TAHUN KE-32 DI LAHAN
POLITEKNIK NEGERI LAMPUNG**

Oleh

RIZKI AFRILIYANTI

Tesis

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

Pada

**Program Pascasarjana Magister Agronomi
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

Judul Tesis : **PENGARUH SISTEM OLAH TANAH DAN RESIDU PEMUPUKAN NITROGEN JANGKA PANJANG TERHADAP SIFAT BIOLOGI DAN KIMIA TANAH SERTA PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI KACANG TUNGGAK (*Vigna unguiculata*) TAHUN KE-32 DI LAHAN POLITEKNIK NEGERI LAMPUNG**

Nama Mahasiswa : **Rizki Afriliyanti**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1724011018

Jurusan : Magister Agronomi

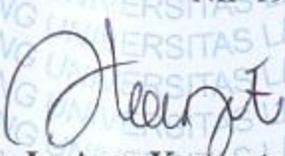
Fakultas : Pertanian



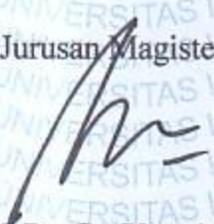
1. Komisi Pembimbing


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


Prof. Dr. Ir. Dwi Hapsoro, M.Sc.
NIP 196104021986031003


Dr. Ir. Agus Karyanto, M.Sc.
NIP 196108201986031002

2. Ketua Jurusan Magister Agronomi


Prof. Dr. Ir. Yusnita, M.Sc.
NIP 196108031986032002

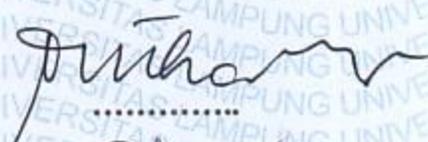
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

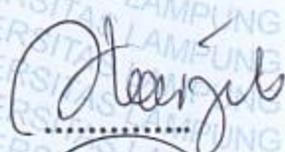
Pembimbing utama : Prof. Dr. Ir. Sri Yusnaini, M.Si.



Pembimbing kedua : Prof. Dr. Ir. Dwi Hapsoro, M.Sc.

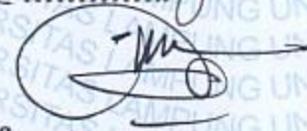


Pembimbing ketiga : Dr. Ir. Agus Karyanto, M.Sc.



Penguji

Bukan Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Ainin Niswati, M.S. M.Agr.Sc

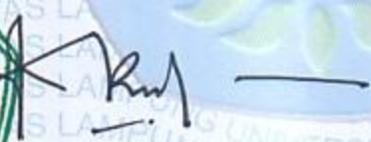


2. Dekan Fakultas Pertanian



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

NIP 196110201986031002



3. Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung

Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M. T.

NIP 197104151998031005



Tanggal Ujian Tesis: 14 Desember 2021

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Tesis dengan judul **“PENGARUH SISTEM OLAH TANAH DAN RESIDU PEMUPUKAN NITROGEN JANGKA PANJANG TERHADAP SIFAT BIOLOGI DAN KIMIA TANAH SERTA PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI KACANG TUNGGAK (*Vigna unguiculata*) TAHUN KE-32 DI LAHAN POLITEKNIK NEGERI LAMPUNG”** merupakan karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atas karya penulisan lain dengan cara yang tidak sesuai dengan norma etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme;
2. Pembimbing tesis berhak mempublikasikan sebagian atau seluruh tesis ini pada jurnal ilmiah dengan mencantumkan nama saya sebagai salah satu penulisnya;
3. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 14 Desember 2021



Rizki Afriliyanti
NPM 1724011018

RIWAYAT HIDUP

Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara pasangan Bapak Siswanto dan Ibu Dwi Hastuti . Penulis dilahirkan di Sekampung pada 6 April 1996. Penulis menjalani pendidikan Taman Kanak-kanak di TK PKK Balaikencono, Batanghari, Lampung Timur (1999-2001), dan melanjutkan pendidikan dasar di SD Negeri 2 Balaikencono, Batanghari, Lampung Timur (2001-2007). Pendidikan menengah pertama penulis tempuh di SMP Negeri 3 Kota Metro (2007-2010), kemudian dilanjutkan di SMA Negeri 1 Kota Metro (2010-2013). Penulis diterima sebagai mahasiswa di Fakultas Pertanian Jurusan Agroteknologi Strata 1 (S1) (2013-2017).

Pada Januari 2018, Penulis diterima menjadi mahasiswa Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, kemudian menikah dengan Robin Afia Hidayat pada Tahun 2021.

Bismillaahirrahmaanirrahiim,

dengan penuh rasa syukur ku persembahkan karya kecilku ini kepada:

Bapak, ibu, kakakku tersayang dan suamiku tercinta,

sebagai tanda terima kasihku atas doa yang selalu terucap untuk kesuksesan dan semua pengorbanan yang telah diberikan kepada diriku selama ini,

serta untuk almamaterku tercinta, Magister Agronomi

Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

SANWACANA

Alhamdulillah, puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan Nitrogen Jangka Panjang terhadap Sifat Biologi dan Kimia Tanah serta Pertumbuhan dan Produksi Kacang Tunggak (*Vigna unguiculata*) Tahun Ke-32 di Lahan Politeknik Negeri Lampung. Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Pertanian di Program Studi Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Pada kesempatan ini Penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Karomani, M.Si., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Prof. Dr. Ir. Yusnita, M.Sc. selaku Ketua Program Studi Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang telah memberikan perhatian dan saran yang diberikan kepada Penulis.
4. Ibu Prof. Dr. Ir. Sri Yusnaini, M. Si., selaku Pembimbing Pertama dalam memberikan bimbingan, nasihat, motivasi, dan ilmu selama penelitian dan penulisan skripsi.
5. Dr. Ir. Dwi Hapsoro, M.Sc. selaku Pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, saran dan arahan kepada Penulis.
6. Dr. Ir. Agus Karyanto, M.Sc. selaku Pembimbing III atas bimbingan, saran, nasihat, dan motivasi yang diberikan kepada Penulis;
7. Prof. Dr. Ir. Ainin Niswati, M.S., M.Agr.Sc.. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan bimbingan, saran dan arahan kepada Penulis.

8. Prof. Dr. Ir. Muhajir Utomo, M.Sc., atas bimbingan dan kesempatan yang diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian pada lahan penelitian jangka panjang ini.
9. Dr. Ir. Erwin Yuliadi, M.Sc., atas bimbingan dan arahan yang telah diberikan kepada penulis.
10. Ayah dan Ibu tercinta serta kakakku tersayang yang senantiasa memberikan do'a, dukungan, semangat, perhatian, dan semua pengorbanan terhadap penulis selama ini.
11. Suamiku yang telah memberikan dukungan serta bantuan kepada penulis dalam menyelesaikan tesis ini.
12. Semua pihak yang telah membantu serta mendukung penulis, yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya, dan Penulis berharap semoga Allah *Subhanahu wa Ta'ala* membalas semua kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tesis ini.

Bandar Lampung, 14 Desember 2021

Penulis,

Rizki Afriliyanti

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| DAFTAR ISI | i |
| DAFTAR TABEL | iii |
| DAFTAR GAMBAR | iv |
| I. PENDAHULUAN | |
| 1.1. Latar Belakang dan Masalah | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3. Tujuan..... | 4 |
| 1.4. Kerangka Pemikiran | 4 |
| 1.5. Hipotesis..... | 7 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1. Kacang Tunggak | 9 |
| 2.2. Sistem Olah Tanah dan Pengaruhnya terhadap Kualitas Tanah..... | 11 |
| 2.3. Nitrogen dan Pemupukan Nitrogen..... | 13 |
| 2.4. Bakteri dan Fungi Tanah dan Peranannya terhadap Kesuburan Tanah..... | 13 |
| 2.5. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Bakteri dan Fungi Tanah . | 15 |
| III. BAHAN DAN METODE | |
| 3.1. Tempat dan Waktu Pelaksanaan | 16 |
| 3.2. Bahan dan Alat | 16 |
| 3.3. Rancangan Percobaan dan Analisis Data | 17 |
| 3.4. Pelaksanaan Penelitian | 19 |
| 3.4.1. Pengolahan Tanah | 20 |
| 3.4.2. Pembuatan Petak Percobaan dan Penanaman | 21 |
| 3.4.3. Pemupukan | 21 |
| 3.4.4. Pemeliharaan | 21 |
| 3.4.5. Pengambilan Sampel Tanah | 21 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.5. | Pengamatan dan Pengambilan Data Pertumbuhan dan Produksi Tanaman | 22 |
| 3.5.1. | Tinggi Tanaman | 22 |
| 3.5.2. | Jumlah Daun..... | 22 |
| 3.5.3. | Produksi Tanaman Kacang Tunggak | 22 |
| 3.5.4. | Bobot 100 Butir Biji | 22 |
| 3.5.5. | Bobot Basah dan Bobot Kering Tanaman..... | 22 |
| 3.6. | Pengukuran Respirasi Tanah..... | 23 |
| 3.7. | Pengamatan Bakteri dan Fungi Tanah..... | 25 |
| 3.7.1. | Pembuatan Media Biakan..... | 25 |
| 3.7.2. | Pembuatan Seri Pengenceran | 25 |
| 3.7.3. | Isolasi Bakteri dan Fungi dari Sampel Tanah | 25 |
| 3.7.4. | Pengamatan Bakteri dan Fungi Tanah..... | 26 |
| 3.8. | Variabel Pendukung | 28 |

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

| | | |
|--------|--|----|
| 4.1. | Hasil Penelitian | 29 |
| 4.1.1. | Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Populasi Bakteri dan Fungi Tanah serta Aktivitas Mikroorganisme Tanah | 31 |
| 4.1.2. | Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Indeks Keanekaragaman (H'), Indeks Kemerataan (e) serta Indeks Dominansi (D) Bakteri dan Fungi Tanah | 33 |
| 4.1.3. | Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Variabel Kimia Tanah | 34 |
| 4.1.4. | Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kacang Tunggak..... | 36 |
| 4.1.5. | Analisis Komponen Utama (AKU) Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kacang Tunggak..... | 38 |
| 4.2. | Pembahasan | 41 |
| 4.2.1. | Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Populasi Bakteri dan Fungi Tanah serta Aktivitas Mikroorganisme Tanah | 41 |
| 4.2.2. | Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Indeks Keanekaragaman (H'), Indeks Kemerataan (e) serta Indeks Dominansi (D) Bakteri dan Fungi Tanah | 43 |
| 4.2.3. | Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Variabel Kimia Tanah | 44 |
| 4.2.4. | Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kacang Tunggak..... | 45 |

| | |
|---|----|
| 4.2.5. Analisis Komponen Utama (AKU) Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kacang Tunggak..... | 47 |
|---|----|

V. SIMPULAN DAN SARAN

| | |
|---------------------|----|
| 5.1. Simpulan | 49 |
| 5.2. Saran..... | 49 |

| | |
|-----------------------------|----|
| DAFTAR PUSTAKA | 51 |
|-----------------------------|----|

| | |
|-----------------------|----|
| LAMPIRAN | 57 |
|-----------------------|----|

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|---------|
| 1. Rekapitulasi Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Variabel Kimia dan Biologi Tanah serta Produksi Tanaman Kacang Tunggak | 29 |
| 2. Pengaruh Sistem Olah Tanah terhadap Respirasi Tanah | 31 |
| 3. Indeks Keanekaragaman (H'), Indeks Kemerataan (e) dan Indeks Dominansi (D)..... | 34 |
| 4. Pengaruh Interaksi Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Kandungan C-Organik Tanah saat Panen ... | 34 |
| 5. Pengaruh Sistem Olah Tanah terhadap Kandungan C-Organik pada Fase Vegetatif Maksimum dan N-Total Tanah pada Saat Panen..... | 35 |
| 6. Pengaruh Residu Pemupukan Nitrogen terhadap pH Tanah..... | 35 |
| 7. Pengaruh Sistem Olah Tanah terhadap Jumlah Daun Tanaman Kacang Tunggak | 36 |
| 8. Pengaruh Interaksi Sistem Olah Tanah Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Tinggi Tanaman Kacang Tunggak | 37 |
| 9. Pengaruh Interaksi Sistem Olah Tanah Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Produksi Tanaman Kacang Tunggak | 37 |
| 10. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Populasi Bakteri Tanah | 58 |
| 11. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Populasi Bakteri Tanah | 58 |
| 12. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Populasi Bakteri Tanah | 59 |
| 13. Indeks Keanekaragaman (H') Bakteri Tanah akibat Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang | 59 |

| | |
|---|----|
| 14. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Indeks Keanekaragaman (H') Bakteri Tanah..... | 60 |
| 15. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Indeks Keanekaragaman (H') Bakteri Tanah..... | 60 |
| 16. Indeks Kemerataan (e) Bakteri Tanah akibat Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang..... | 61 |
| 17. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Indeks Kemerataan (e) Bakteri Tanah..... | 61 |
| 18. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Indeks Kemerataan (e) Bakteri Tanah..... | 62 |
| 19. Indeks Dominansi (D) Bakteri Tanah akibat Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang..... | 62 |
| 20. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Indeks Dominansi (D) Bakteri Tanah | 63 |
| 21. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Indeks Dominansi (D) Bakteri Tanah | 63 |
| 22. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Populasi Fungi..... | 64 |
| 23. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Populasi Fungi..... | 64 |
| 24. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Populasi Fungi..... | 65 |
| 25. Indeks Keanekaragaman (H') Fungi akibat Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang..... | 65 |
| 26. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Indeks Keanekaragaman (H') Fungi | 66 |
| 27. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Indeks Keanekaragaman (H') Fungi | 66 |
| 28. Indeks Kemerataan (e) Fungi akibat Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang..... | 67 |

| | |
|--|----|
| 29. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Indeks Kemerataan (e) Fungi | 67 |
| 30. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Indeks Kemerataan (e) Fungi | 68 |
| 31. Indeks Dominansi (D) Fungi akibat Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang | 68 |
| 32. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Indeks Dominansi (D) Fungi | 69 |
| 33. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Indeks Dominansi (D) Fungi | 69 |
| 34. Respirasi Tanah akibat Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang | 70 |
| 35. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Respirasi Tanah | 70 |
| 36. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Respirasi Tanah | 71 |
| 37. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Kandungan C-Organik Tanah Sebelum Tanam | 71 |
| 38. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap C-Organik Tanah Sebelum Tanam | 72 |
| 39. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap C-Organik Tanah Sebelum Tanam | 72 |
| 40. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Kandungan C-Organik Tanah pada Fase Vegetatif Maksimum | 73 |
| 41. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap C-Organik Tanah pada Fase Vegetatif Maksimum | 73 |
| 42. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap C-Organik Tanah pada Fase Vegetatif Maksimum | 74 |

| | |
|--|----|
| 43. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Kandungan C-Organik Tanah pada Saat Panen | 74 |
| 44. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap C-Organik Tanah pada Saat Panen | 75 |
| 45. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap C-Organik Tanah pada Saat Panen | 75 |
| 46. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Kandungan N Total Tanah Sebelum Tanam | 76 |
| 47. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap N Total Tanah Sebelum Tanam | 76 |
| 48. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap N Total Tanah Sebelum Tanam | 77 |
| 49. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Kandungan N Total Tanah pada Fase Vegetatif Maksimum | 77 |
| 50. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap N Total Tanah pada Fase Vegetatif Maksimum | 78 |
| 51. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap N Total Tanah Fase Vegetatif Maksimum | 78 |
| 52. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Kandungan N Total Tanah pada Saat Panen | 79 |
| 53. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap N Total Tanah pada Saat Panen | 79 |
| 54. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap N Total Tanah pada Saat Panen | 80 |
| 55. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap pH Tanah Sebelum Tanam | 80 |
| 56. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap pH Tanah Sebelum Tanam | 81 |

| | |
|---|----|
| 57. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap pH Tanah Sebelum Tanam | 81 |
| 58. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap pH Tanah pada Fase Vegetatif Maksimum | 82 |
| 59. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap pH Tanah pada Fase Vegetatif Maksimum | 82 |
| 60. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap pH Tanah pada Fase Vegetatif Maksimum | 83 |
| 61. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap pH Tanah pada Saat Panen | 83 |
| 62. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap pH Tanah pada Saat Panen | 84 |
| 63. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap pH Tanah pada Saat Panen | 84 |
| 64. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Tinggi Tanaman Kacang Tunggak pada 35 HST.... | 85 |
| 65. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Tinggi Tanaman Kacang Tunggak | 85 |
| 66. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Tinggi Tanaman Kacang Tunggak | 86 |
| 67. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Jumlah Daun Tanaman Kacang Tunggak | 86 |
| 68. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Jumlah Daun Tanaman Kacang Tunggak | 87 |
| 69. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Jumlah Daun Tanaman Kacang Tunggak | 87 |
| 70. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Bobot 100 Butir Biji Kacang Tunggak..... | 88 |

| | |
|---|----|
| 71. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Bobot 100 Butir Biji Kacang Tunggak | 88 |
| 72. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Bobot 100 Butir Biji Kacang Tunggak | 89 |
| 73. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Produksi Kacang Tunggak | 89 |
| 74. Uji Homogenitas Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Produksi Kacang Tunggak .. | 90 |
| 75. Analisis Ragam Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Produksi Kacang Tunggak .. | 90 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|--|---------|
| 1. Diagram alir pelaksanaan penelitian | 19 |
| 2. Denah petak percobaan dan penanaman sejak tahun 1987 pada kebun percobaan di Politeknik Negeri Lampung | 20 |
| 3. Proses titrasi KOH pada pengukuran respirasi tanah..... | 24 |
| 4. Karakteristik morfologi bakteri (ATCC, 2015) | 27 |
| 5. Total Bakteri Tanah yang dipengaruhi oleh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang..... | 31 |
| 6. Populasi bakteri di dalam media biakan Nutrient Agar (NA) | 32 |
| 7. Total Fungi Tanah yang dipengaruhi oleh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang..... | 32 |
| 8. Populasi fungi di dalam media biakan Potato Dextrose Agar (PDA)..... | 33 |
| 9. <i>Principal Component Analysis (PCA)</i> dari Sifat Kimia dan Biologi Tanah setelah Diberi Perlakuan Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang..... | 38 |
| 10. <i>Principal Component Analysis (PCA)</i> dari Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kacang Tunggak setelah Diberi Perlakuan Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang | 39 |
| 11. <i>Principal Component Analysis (PCA)</i> dari Sifat Kimia dan Biologi Tanah serta Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kacang Tunggak setelah Diberi Perlakuan Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan N Jangka Panjang..... | 40 |

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengolahan tanah yang dilakukan secara tidak tepat dalam jangka panjang dapat menyebabkan penurunan kualitas tanah dan berdampak pada penurunan produksi tanaman. Ramos *et al.* (2011) dan Hakim (2011) mengemukakan bahwa pengolahan tanah yang tidak tepat dan dalam jangka waktu yang panjang dapat menyebabkan erosi, penurunan porositas, kandungan bahan organik, dan unsur hara tanah yang mengakibatkan degradasi tanah serta penurunan produktivitas lahan. Penurunan produktivitas lahan tersebut dapat disebabkan oleh penurunan kualitas tanah akibat adanya pengolahan tanah secara intensif, penggunaan pupuk anorganik dan berkurangnya bahan organik di dalam tanah. Oleh karena itu, pengolahan tanah yang tepat perlu dilakukan untuk melestarikan atau meningkatkan kualitas tanah sehingga dapat mempertahankan produksi tanaman.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mempertahankan kualitas tanah secara berkelanjutan adalah dengan penerapan sistem olah tanah konservasi. Sistem olah tanah konservasi terdiri dari sistem tanpa olah tanah dan sistem olah tanah minimum. Menurut Aziz *et al.* (2013), Mathew *et al.* (2012), dan He *et al.* (2011), sistem tanpa olah tanah dapat meningkatkan kualitas biologi, kimia, dan fisika tanah sehingga menyebabkan pertumbuhan dan produksi tanaman menjadi lebih baik dibandingkan dengan sistem olah tanah konvensional (intensif).

Penelitian mengenai sistem olah tanah konservasi telah dilakukan selama 31 tahun di lahan Politeknik Negeri Lampung (Polinela). Penelitian ini berlangsung sejak Februari 1987 hingga sekarang. Pola rotasi tanaman yang diterapkan pada

penelitian tersebut adalah tanaman serealia (jagung/padi gogo) – legum (kedelai/ kacang tunggak/ kacang hijau) – bera (Utomo, 2015). Penelitian yang telah dilakukan meliputi sifat fisika, kimia dan biologi tanah serta produksi tanaman. Penelitian sifat fisika tanah telah meliputi struktur tanah, bobot isi, ruang pori total, kekerasan tanah, permeabilitas tanah, karbon tersimpan serta emisi karbon dioksida (Ardiansyah *et al.*, 2015; Khair *et al.*, 2017; Putri *et al.*, 2020; Utomo *et al.*, 2012). Selanjutnya, penelitian kimia tanah telah meliputi tingkat kemasaman tanah (pH), kandungan C-Organik, N total, asam humat, asam fulvat dan serapan hara (Andita *et al.*, 2019 dan Yupiter *et al.*, 2018). Penelitian mengenai kualitas biologi tanah juga telah dilakukan dengan cara mengukur respirasi, mempelajari populasi cacing tanah dan nitrosomonas, serta melakukan analisis *phospholipid fatty acid* (PLFA) untuk mengetahui komunitas mikroorganisme tanah. Selain itu, indikator kualitas biologi tanah dapat diteliti dengan menghitung tingkat keanekaragaman serta populasi bakteri dan fungi tanah.

Bakteri dan fungi merupakan bagian dari mikroorganisme tanah yang memiliki peran penting di dalam tanah. Singh & Gupta (2018) menyatakan bahwa keanekaragaman dan populasi mikroorganisme tanah memiliki berperan dalam menjaga keberlanjutan ekosistem. Menurut Prayudyaningsih *et al.* (2015) apabila tanah mengandung berbagai macam mikroorganisme, maka dapat dikatakan bahwa tanah tersebut memiliki kesuburan yang tinggi. Hal tersebut disebabkan masing-masing mikroorganisme memiliki peran yang spesifik untuk dapat mendukung pertumbuhan dan produksi tanaman. Selain itu, tanaman juga dapat menjadi faktor yang mempengaruhi aktivitas dan keberagaman mikroorganisme tanah (Buyer *et al.*, 2002 dan Paterson, 2003).

Tanaman membutuhkan unsur hara yang diambil oleh akar dari dalam tanah untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangannya. Salah satu unsur hara esensial bagi tanaman adalah nitrogen (N). Apabila N dalam tanah tidak dapat memenuhi kebutuhan unsur hara tanaman, maka pertumbuhan dan perkembangan tanaman akan terganggu (Erawan *et al.*, 2013). Penelitian jangka panjang dengan pola rotasi tanaman serealia dan legum ini diharapkan mampu mengurangi kebutuhan

unsur hara N. Hal tersebut disebabkan pemupukan N hanya dilakukan pada tanaman sereal dan selanjutnya residu dari pemupukan N pada tanaman sereal dimanfaatkan sebagai *starter* untuk penambatan N oleh *Rhizobium* pada tanaman legum. Pada penelitian di musim tanam ke-32 ini, tanaman legum yang dibudidayakan adalah tanaman kacang tunggak.

Kacang tunggak merupakan tanaman potensial dan memerlukan perhatian dalam pengembangannya. Semua bagian kacang tunggak yang dimanfaatkan sebagai bahan makanan (daun segar, polong muda dan biji-bijian) mengandung nutrisi yang dibutuhkan oleh manusia, yaitu protein, karbohidrat, vitamin dan mineral (Ngalamu *et al.*, 2014). Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan penelitian mengenai pengaruh sistem olah tanah dan residu pemupukan nitrogen jangka panjang terhadap keanekaragaman bakteri dan fungi tanah, pertumbuhan serta produksi kacang tunggak (*Vigna unguiculata*).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diperoleh berdasarkan latar belakang di atas adalah:

1. Sistem olah tanah manakah yang menghasilkan pertumbuhan dan produksi kacang tunggak serta keanekaragaman bakteri dan fungi tertinggi?
2. Residu pemupukan nitrogen manakah yang menyebabkan pertumbuhan dan produksi kacang tunggak serta keanekaragaman bakteri dan fungi tertinggi?
3. Interaksi antara perlakuan sistem olah tanah dan residu pemupukan nitrogen manakah yang menghasilkan pertumbuhan dan produksi kacang tunggak serta keanekaragaman bakteri dan fungi tanah yang tertinggi?
4. Apakah terdapat hubungan timbal balik antara pertumbuhan dan produksi kacang tunggak dengan keanekaragaman bakteri dan fungi tanah?

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian yang diperoleh berdasarkan rumusan masalah yang ada adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui sistem olah tanah yang menghasilkan pertumbuhan dan produksi kacang tunggak serta keanekaragaman bakteri dan fungi tertinggi.
2. Mengetahui residu pemupukan nitrogen yang menyebabkan pertumbuhan dan produksi kacang tunggak serta keanekaragaman bakteri dan fungi tertinggi.
3. Mengetahui interaksi antara perlakuan sistem olah tanah dan residu pemupukan nitrogen yang menghasilkan pertumbuhan dan produksi kacang tunggak serta keanekaragaman bakteri dan fungi tanah tertinggi.
4. Mengetahui hubungan timbal balik antara pertumbuhan dan produksi kacang tunggak dengan keanekaragaman bakteri dan fungi tanah.

1.4 Kerangka Pemikiran

Praktik pengolahan tanah secara tepat dan berkelanjutan bertujuan untuk melestarikan atau meningkatkan kualitas tanah sehingga dapat mempertahankan hasil tanaman. Kualitas tanah merupakan fungsi terpadu dari sifat biologi, kimia dan fisika tanah (Aziz *et al.*, 2013). Olah tanah secara konvensional atau intensif yang dilakukan secara terus menerus dapat menyebabkan penurunan kualitas tanah. Upaya yang dapat dilakukan untuk mempertahankan kualitas tanah adalah dengan cara melakukan praktik pengolahan tanah konservasi.

Penelitian mengenai sistem olah tanah konservasi yang telah dilakukan selama 31 tahun di lahan Politeknik Negeri Lampung (Polinela) menerapkan pola rotasi tanaman serealia (jagung/padi gogo) – legum (kedelai/ kacang tunggak/ kacang hijau) – bera (Utomo, 2015). Variabel penelitian yang telah digunakan meliputi pengamatan terhadap sifat fisika, kimia dan biologi tanah serta produksi tanaman. Pada penelitian di musim tanam ke-32 ini, tanaman legum yang dibudidayakan adalah tanaman kacang tunggak.

Hasil penelitian jangka panjang tersebut menunjukkan bahwa sistem tanpa olah tanah yang dikombinasikan dengan pemupukan N menghasilkan kualitas tanah yang lebih baik dibandingkan dengan sistem olah tanah intensif. Setelah 23 tahun penerapan sistem olah tanah dan pemupukan N, sistem tanpa olah tanah dan pemupukan 200 kg N ha⁻¹ memiliki karbon organik tanah 46,1% lebih tinggi dibandingkan tanpa pemupukan N (Utomo, 2012). Selain itu, sistem tanpa olah tanah jangka panjang menyebabkan populasi cacing tanah dan produksi jagung yang lebih tinggi dibandingkan dengan olah tanah intensif (Utomo *et al.*, 2013; Utomo *et al.*, 2010). Sistem tanpa olah tanah mampu meningkatkan porositas tanah, C-organik tanah dan air tersedia, serta menurunkan kerapatan isi dan titik layu permanen, kemudian pemupukan N jangka panjang mampu menurunkan kerapatan isi, meningkatkan ruang pori total, dan C-organik (Prasetia *et al.*, 2018).

Selain itu, sistem tanpa olah tanah jangka panjang dan juga residu pemupukan 200 N kg ha⁻¹ dapat meningkatkan serapan hara makro dan mikro, serta produksi lebih tinggi bila dibandingkan olah tanah intensif (Yupitasari *et al.*, 2018). Asam humat pada kedalaman tanah 0- 5, dan 5-10 cm pada perlakuan tanpa olah tanah lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan olah tanah intensif (Andita *et al.*, 2019). Selain itu juga, sistem tanpa olah tanah memiliki kualitas agregat yang lebih baik dibandingkan sistem olah tanah intensif (Suryani, 2020). Analisis PLFA menunjukkan bahwa tanah yang diperlakukan dengan tanpa olah tanah mengandung lebih banyak biomassa mikroorganisme tanah dibandingkan dengan yang diperlakukan dengan sistem olah tanah intensif, selain itu kelimpahan fungi tanah juga lebih tinggi pada tanah yang diperlakukan dengan tanpa olah tanah dibandingkan dengan yang diperlakukan dengan olah tanah intensif (Miura *et al.*, 2016).

Hasil penelitian sebelumnya yang telah disebutkan menunjukkan bahwa sistem tanpa olah tanah yang dikombinasikan dengan pemupukan N pada tanaman sereal dan pemanfaatan residu pemupukan N pada tanaman legum berpotensi meningkatkan kualitas tanah sehingga mendukung tanaman untuk tumbuh dan berproduksi dengan baik. Hal tersebut disebabkan karena dalam pertumbuhan dan perkembangannya, tanaman memerlukan lingkungan serta media tumbuh

yaitu tanah yang mengandung unsur hara dan air yang sesuai dengan kebutuhannya. Salah satu unsur hara esensial bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman adalah nitrogen. Sebagai tanaman kacang-kacangan, akar kacang tunggak dapat bersimbiosis dengan rhizobium yang dapat menambat nitrogen bebas yang ada di udara. Tingkat pemupukan N jangka panjang yang telah dilakukan memiliki efek residual terhadap kandungan N-total di dalam tanah, sehingga residu pemupukan N tersebut dapat dimanfaatkan sebagai *starter* dalam proses penambatan N oleh rhizobium, sehingga penelitian jangka panjang dengan pola rotasi tanaman sereal dan legum ini berpotensi mengurangi kebutuhan pupuk N anorganik.

Penerapan sistem tanpa olah tanah jangka panjang dapat meningkatkan produksi tanaman serta memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Hasil penelitian Martinez *et al.* (2008) dan Delaune & Sij (2012) menunjukkan bahwa penerapan sistem tanpa olah tanah dapat meningkatkan stabilitas agregat tanah dan menurunkan waktu *runoff* serta total kehilangan sedimen yang lebih rendah dibandingkan dengan olah tanah intensif. Selain itu, menurut Triplett & Dick (2008), penerapan sistem tanpa olah tanah dapat menurunkan erosi dan juga meningkatkan efisiensi penggunaan air dan pupuk.

Pada sistem tanpa olah tanah, mulsa *in situ* dapat meningkatkan C-organik tanah serta menyebabkan kelembaban dan juga suhu tanah yang lebih kondusif bagi organisme tanah. Utomo (2013) mengemukakan bahwa hingga pengamatan tahun ke-22, lahan tanpa olah tanah mengandung jumlah bakteri, mikoriza, meso fauna dan cacing tanah yang secara nyata lebih tinggi dibandingkan dengan olah tanah intensif. Selain itu, keanekaragaman organisme di bawah dan di atas permukaan tanah pada tanpa olah tanah lebih tinggi daripada olah tanah intensif.

Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Zuber & Vilamil (2016), yang menyebutkan bahwa biomassa mikroorganisme dan aktivitas enzim adalah lebih tinggi pada tanah dengan sistem tanpa olah tanah dibandingkan dengan pada tanah dengan sistem olah tanah intensif. Selain itu, penelitian Mathew *et al.* (2012) menunjukkan bahwa sistem tanpa olah tanah mempengaruhi

komunitas mikroba tanah, yang ditunjukkan dengan kandungan karbon dan nitrogen tanah, total PLFA, serta aktifitas fosfatase pada tanah tanpa olah tanah lebih tinggi dibandingkan dengan pada tanah dengan sistem olah tanah konvensional.

Carney & Matson (2005) menyatakan bahwa aktivitas dan keanekaragaman organisme tanah dipengaruhi oleh faktor abiotik dan biotik. Faktor abiotik yang mempengaruhi meliputi suhu dan kelembaban, selain itu tekstur dan struktur tanah serta pH tanah. Sebaliknya, faktor biotik seperti tumbuhan dapat sangat mempengaruhi aktivitas dan komposisi komunitas bakteri dan fungi di sekitar akar (rhizosfer) (Carney & Matson, 2005). Tanaman menghasilkan eksudat akar yang mengandung campuran senyawa organik sebagai sumber karbon, nitrogen, dan unsur lainnya bagi bakteri dan fungi, sehingga komposisi senyawa organik tersebut dapat mempengaruhi struktur komunitas bakteri dan fungi tanah (Buyer *et al.*, 2002 dan Paterson, 2003).

Menurut Widyati (2013), kondisi keragaman fungsional organisme tanah yang stabil dapat mendukung pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Biomassa mikroorganisme tanah memacu dekomposisi bahan organik, reaksi imobilisasi dan mineralisasi yang berperan untuk memasok nutrisi tanaman sehingga, keanekaragaman komunitas mikroorganisme tanah seperti bakteri dan fungi yang tinggi akan menghasilkan tanah yang baik dan mendukung pertumbuhan serta produktivitas tanaman.

1.5 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sistem tanpa olah tanah menghasilkan pertumbuhan dan produksi kacang tunggak serta keanekaragaman bakteri dan fungi tanah yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem olah tanah intensif.
2. Residu pemupukan nitrogen menghasilkan pertumbuhan dan produksi kacang tunggak serta keanekaragaman bakteri dan fungi tanah yang lebih tinggi dibandingkan tanpa residu pemupukan nitrogen.

3. Interaksi antara perlakuan sistem tanpa olah tanah dan residu pemupukan nitrogen menghasilkan pertumbuhan dan produksi kacang tunggak serta keanekaragaman bakteri dan fungi tanah yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya.
4. Terdapat hubungan timbal balik yang positif antara pertumbuhan dan produksi kacang tunggak dengan keanekaragaman bakteri dan fungi tanah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kacang Tunggak (*Vigna unguiculata*)

Di Indonesia *Vigna unguiculata* dikenal dengan nama kacang tunggak atau kacang tolo. Tanaman ini termasuk salah satu anggota famili leguminosae dengan sistematika sebagai berikut (Balitkabi, 1998) :

| | |
|-----------|-------------------------|
| Kingdom | : Plantae |
| Divisio | : Spermatophyta |
| Subdivisi | : Angiospermae |
| Class | : Dicotyledoneae |
| Ordo | : Polypetalae |
| Famili | : Leguminosae |
| Subfamili | : Papilionaceae |
| Genus | : <i>Vigna</i> |
| Spesies | : <i>V. unguiculata</i> |

Kacang tunggak memiliki fase vegetatif (meliputi perkecambahan, penambahan jumlah daun, peningkatan tinggi tanaman, penambahan jumlah buku dan bobot tanaman) beragam antara 40–49 hari, tergantung varietasnya. Pembungaan (stadia R1) pada kacang tunggak dimulai pada hari ke 41–50 tergantung varietasnya, begitu pula periode pembungaan, jumlah hari berbunga, jumlah bunga yang dihasilkan serta jumlah polong yang terbentuk. Pada kacang tunggak rata-rata periode reproduktif tergolong singkat, yakni sekitar 35 persen dari seluruh umurnya (Balitkabi, 1998).

Semua bagian kacang tunggak yang dimanfaatkan sebagai bahan makanan (daun segar, polong muda dan biji-bijian) mengandung nutrisi yang dibutuhkan oleh

manusia, yaitu protein, karbohidrat, vitamin dan mineral. Biji kacang tunggak mengandung 22-23% protein (berbeda dengan 2% dalam singkong dan 10% pada jagung), mengandung tiamin (vitamin B₂), riboflavin (vitamin B₃) dan niasin (vitamin B₃), dan lebih banyak mengandung zat besi dan kalsium daripada sereal. Selain itu, daun tanaman kacang tunggak adalah sumber β -karoten dan asam askorbat (vitamin C). Tanaman kacang tunggak dapat menjadi penutup tanah sehingga menekan pertumbuhan gulma dan memberikan perlindungan terhadap erosi tanah serta dapat menurunkan suhu tanah (Ngalamu *et al.*, 2014).

Di Indonesia, kacang tunggak merupakan tanaman potensial dan memerlukan perhatian dalam pengembangannya. Kacang tunggak merupakan tanaman semak (herbaceous), bentuk tanaman beragam dari tegak kecil berumur genjah (60-70 hari) hingga relatif besar dan berumur Panjang (Setyowati & Sutoro, 2010). Ditinjau dari aspek produksi, kacang tunggak memiliki potensi cukup besar untuk dikembangkan lebih lanjut. Pemanfaatan kacang tunggak sebagai bahan baku tempe memiliki peluang cukup besar. Substitusi kedelai oleh kacang tunggak dapat dilaksanakan pada berbagai tingkatan (Haliza *et al.*, 2007).

Tanaman kacang tunggak dapat bersimbiosis dengan bakteri *Rhizobium* yang membantu memfiksasi N bebas dari atmosfer. Simbiosis diawali dengan pembentukan bintil akar kemudian *Rhizobium* melakukan aktivitas penambatan N dari atmosfer. Nitrogen dalam bentuk gas kemudian direduksi menjadi N tersedia yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman inang, sedangkan tanaman inang memasok fotosintat sebagai sumber energi bagi *Rhizobium* (Balitkabi, 1998 & Soedarjo, 2003)

Kacang tunggak tidak menunjukkan preferensi terhadap spesies *Rhizobium* tertentu, menurut Leite *et al.*, (2009) terdapat beberapa spesies *Rhizobium* yang dapat berasosiasi dengan kacang tunggak, diantaranya *R. Tropici*, *Mesorhizobium* sp., *R. Pusense*, *Bradyrhizobium elkanii*, *Bradyrhizobium japonicum*, *Sinorhizobium medicae*, *Sinorhizobium meliloti*, *Sinorhizobium terangae* dan *Sinorhizobium saheli*.

Menurut Abayomi *et al.* (2008), meskipun kacang tunggak diketahui memperoleh sebagian besar kebutuhannya melalui fiksasi nitrogen atmosfer, akan tetapi penting untuk menambahkan sedikit pupuk nitrogen anorganik untuk pertumbuhan dan produksi tanaman. Penambahan pupuk anorganik tersebut dapat secara signifikan meningkatkan tinggi tanaman, jumlah cabang, jumlah polong per tanaman, bobot polong dan berdampak pada kenaikan hasil.

Nitrogen yang difiksasi secara biologis oleh tanaman kacang-kacangan berasal dari energi surya, sementara pupuk N membutuhkan sejumlah besar bahan bakar fosil yang tidak terbarukan atau sumber energi komersial lainnya untuk diproduksi, sedangkan, penggunaan sumber daya energi komersial dibatasi karena pemanasan global atau habisnya sumber daya (Crews & Peoples, 2004).

2.2 Sistem Olah Tanah dan Pengaruhnya terhadap Kualitas Tanah

Sebuah revolusi yang telah memberikan dampak besar terhadap pertanian dunia adalah penemuan sistem pertanian tanpa olah tanah. Dampak yang sangat terlihat dari penerapan sistem tanpa olah tanah yang berkelanjutan adalah terbentuknya lapisan mulsa yang menutupi permukaan tanah. Selain itu, penerapan sistem tanpa olah tanah dapat menurunkan erosi dan juga meningkatkan efisiensi penggunaan air dan pupuk sehingga dapat menghasilkan produksi tanaman yang lebih baik dibandingkan dengan penerapan pengolahan tanah. Sistem pengolahan tanah dapat dirotasi seperti tanaman, akan tetapi manfaat atau keuntungan dari sistem tanpa olah tanah dapat tercapai apabila diterapkan secara berkelanjutan (Triplett & Dick, 2008).

Sistem olah tanah konservasi atau sistem tanpa olah tanah dengan residu dari mulsa organik merupakan dua praktik pengolahan pertanian konservasi yang dapat meningkatkan stabilisasi C organik di dalam tanah di daerah tropis. Telah banyak petani yang mengadopsi sistem olah tanah ini pada daerah yang mengalami erosi dan hilangnya bahan organik sehingga menyebabkan degradasi tanah yang parah seperti di Indonesia (Utomo, 2014).

Penelitian Jin *et al.* (2011) menunjukkan bahwa sistem tanpa olah tanah dengan mulsa dari residu tanaman yang diterapkan selama 11 tahun di daerah semi arid memberikan pengaruh yang positif terhadap sifat-sifat tanah, diantaranya kandungan bahan organik tanah yang jauh lebih besar dan peningkatan status unsur hara, stabilitas agregat makro, proporsi makropori dan mesopori yang lebih tinggi, dan peningkatan penyimpanan air tanah dibandingkan dengan tanah yang diolah secara konvensional. Selain itu, Martinez *et al.* (2008) menyatakan bahwa penerapan sistem tanpa olah tanah mempengaruhi meningkatkan stabilitas agregat tanah terutama pada lapisan 5 cm teratas tanah.

Biomassa mikroorganisme tanah pada sistem tanpa olah tanah secara konsisten lebih tinggi dibandingkan dengan olah tanah intensif pada lahan pertanaman jagung. Setelah 23 tahun penerapan sistem olah tanah, produksi kedelai pada sistem olah tanah minimum dan tanpa olah tanah adalah 71,4 % dan 57% lebih tinggi daripada olah tanah intensif. Produksi jagung pada olah tanah minimum sama dengan tanpa olah tanah dan lebih tinggi 31,8% dibandingkan dengan olah tanah intensif (Utomo *et al.*, 2013).

Setelah 23 tahun penerapan sistem olah tanah dan pemupukan N, pada lahan kedalaman 0 – 5 cm dengan sistem tanpa olah tanah dan pemupukan 200 kg N ha⁻¹ memiliki karbon organik tanah 46,1% lebih tinggi dibandingkan dengan sistem tanpa olah tanah dan tanpa pemupukan N. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem olah tanah konservasi merupakan salah satu penerapan praktik pertanian yang sangat baik karena dapat berkontribusi dalam mengurangi emisi gas rumah kaca (Utomo, 2012).

Sistem olah tanah mempengaruhi populasi cacing tanah pada penelitian tahun ke 21. Setelah 21 tahun, lahan tanpa olah tanah memiliki cacing tanah dengan rata-rata 99 ekor m⁻², 251% lebih tinggi dibandingkan dengan olah tanah konvensional (Utomo *et al.*, 2010). Tanah dengan penerapan sistem tanpa olah tanah jangka panjang pada kedalaman 5 cm memiliki kandungan karbon dan nitrogen tanah, total PLFA, serta aktifitas fosfatase tanah yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem olah tanah konvensional. Hal tersebut menunjukkan

bahwa sistem olah tanah mempengaruhi komunitas mikroba tanah serta fisikokimia tanah (Mathew *et al.*, 2012).

Perlakuan penambahan mulsa yang dikombinasikan dengan sistem tanpa olah tanah merupakan pengolahan residu biomassa yang efektif untuk meningkatkan kualitas tanah. Lahan tanpa olah tanah dengan penambahan mulsa bagas memiliki biomassa mikroorganisme yang paling tinggi dibandingkan dengan tanpa olah tanah dan tanpa penambahan mulsa bagas, olah tanah konvensional dengan dan tanpa penambahan mulsa bagas. Indeks keragaman (DQ) dan indeks keragaman Shannon-Wiener (H) tertinggi juga dimiliki oleh lahan tanpa olah tanah dengan penambahan mulsa bagas (Silvia *et al.*, 2014).

2.3 Nitrogen dan Pemupukan Nitrogen

Salah satu unsur hara esensial bagi tanaman adalah nitrogen, dengan demikian, apabila nitrogen dalam tanah tidak dapat memenuhi kebutuhan unsur hara tanaman, maka dibutuhkan input yang dapat menyuplai ketersediaan nitrogen karena jika tidak terpenuhi, maka pertumbuhan dan perkembangan tanaman akan terganggu (Erawan *et al.*, 2013). Meskipun kacang tunggak diketahui memperoleh sebagian besar kebutuhan nitrogennya melalui fiksasi nitrogen atmosfer, akan tetapi penting untuk menambahkan sedikit pupuk nitrogen anorganik untuk pertumbuhan dan hasil tanaman (Abayomi *et al.*, 2008).

Kacang hijau yang ditanam baik di musim kemarau maupun di musim penghujan menghasilkan produksi yang jauh lebih tinggi ketika diberi pupuk N 100 kg/ha (Santosa *et al.*, 2017). Praktik pengolahan tanah konservasi dan tanpa olah tanah akan meningkatkan fiksasi N₂ oleh bakteri penambat nitrogen karena penurunan N tersedia dan peningkatan kelembaban tanah (Kessel & Hartley 2000).

2.4 Bakteri dan Fungi Tanah dan Peranannya terhadap Kesuburan Tanah

Singh dan Gupta (2018) menyatakan bahwa keanekaragaman dan kelimpahan mikroorganisme tanah memiliki peran penting dalam menjaga keberlanjutan ekosistem serta menjaga kesehatan tanah melalui siklus karbon dan unsur hara.

Menurut Prayudyarningsih *et al.* (2015) tanah yang banyak mengandung berbagai macam mikroorganisme dapat dikatakan bahwa tanah tersebut memiliki sifat fisik dan kimia yang baik.

Tanah yang baik mengandung berbagai bakteri dan fungi dengan fungsinya masing – masing yang dapat mendukung pertumbuhan dan ketersediaan unsur hara untuk tanaman. Menurut Widyati (2013), keragaman fungsional dapat diartikan sebagai penggolongan organisme berdasarkan fungsinya sebagai komponen keragaman hayati yang mempengaruhi dinamika, stabilitas dan produktivitas ekosistem di bawah dan atas permukaan tanah. Masing-masing kelompok fungsional tersebut tidak berdiri sendiri, melainkan terdapat hubungan saling ketergantungan antar kelompok tersebut, sehingga apabila salah satu kelompok terganggu maka akan berdampak kepada aktifitas kelompok lainnya.

Beberapa mikroorganisme tanah seperti *plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR), cyanobakteria pemfiksasi N₂, bakteri penekan jamur dan penyakit tanaman, mikroorganisme pendegradasi racun, *actinomycetes*, dan mikroorganisme bermanfaat lainnya dapat dimanfaatkan sebagai inokulan pada tanah tertentu dengan tujuan meningkatkan keanekaragaman mikroorganisme tanah. Manfaat dari menginokulasikan mikroorganisme tertentu ke dalam tanah adalah dapat meningkatkan kualitas dan kesehatan tanah sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman yang berdampak kepada kenaikan hasil dan kualitas dari tanaman tersebut (Singh *et al.*, 2011).

Mikroorganisme dan interaksinya dengan tanah memiliki peran yang penting dalam siklus P pada sistem tanah dan tanaman. Beberapa mikroorganisme tanah dapat mengubah bentuk P dari tidak tersedia menjadi bentuk yang tersedia bagi tanaman, dan juga sebaliknya. Perubahan bentuk P oleh mikroorganisme adalah melalui reaksi solubilisasi, mineralisasi, serta immobilisasi P (Richardson & Simpson, 2011). Selain itu, menurut (Sayyed & Patel, 2011) terdapat mikroorganisme yang berperan sebagai pengendali siklus logam ataupun dapat mendegradasi logam berat di dalam tanah yang dapat meracuni dan menghambat pertumbuhan tanaman. Organisme tanah mengendalikan proses daur nutrisi, dinamika struktur

tanah, degradasi polutan tanah, dan lainnya yang mempengaruhi dinamika populasi tumbuhan yang tumbuh di atasnya (Widyati, 2013).

2.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Bakteri dan Fungi Tanah

Kuantitas sisa tanaman seperti serasah, ranting, kayu mati, dan sisa tanaman lainnya sangat mempengaruhi biomassa dan komposisi bakteri dan fungi tanah. Selain itu, jenis tanah, kandungan nutrisi, dan pH tanah juga dapat mempengaruhi aktivitas dan keanekaragaman mikroorganisme tanah (Wu *et al.*, 2012). Berdasarkan penelitian Latha & Gopal (2010), aplikasi herbisida dapat secara signifikan mempengaruhi populasi bakteri, *actinomycetes*, dan fungi di dalam tanah.

Aktivitas dan keanekaragaman organisme tanah dipengaruhi oleh faktor abiotik dan biotik. Faktor abiotik utama adalah iklim, diantaranya suhu dan kelembaban tanah, selain itu tekstur, struktur, salinitas dan pH tanah juga mempengaruhi aktivitas dan keanekaragaman organisme tanah. Rodriguez-Loinas *et al.* (2008) menyatakan bahwa terdapat korelasi positif antara pH tanah dan keanekaragaman mikroorganisme tanah.

Faktor biotik yang mempengaruhi bakteri dan fungi tanah salah satunya adalah tumbuhan. Tumbuhan atau vegetasi yang ada di atas permukaan tanah dapat sangat mempengaruhi aktivitas dan komposisi komunitas mikroorganisme di sekitar akarnya (disebut rhizosfer). Buyer *et al.* (2002) menyatakan bahwa tanaman menghasilkan eksudat akar yang mengandung campuran senyawa organik sebagai sumber karbon, nitrogen, dan unsur lainnya untuk mikroorganisme. Menurut Paterson (2003), komposisi senyawa organik yang dikeluarkan tanaman melalui akar atau eksudat akar mempengaruhi struktur komunitas mikroorganisme tanah. Pemupukan dan aplikasi pestisida secara intensif serta pengolahan lahan dengan alat berat dapat mengganggu keragaman fungsional dalam tanah (Widyati, 2013).

III. BAHAN DAN METODE

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di kebun percobaan Politeknik Negeri Lampung yang berada pada $105^{\circ}13'45,5'' - 105^{\circ}13'48,0''$ BT dan $05^{\circ}21'19,6'' - 05^{\circ}21'19,7''$ LS, dengan elevasi 122 meter di atas permukaan laut. Analisis keanekaragaman bakteri dan fungi tanah dan respirasi tanah dilakukan di Laboratorium Biologi Tanah, sedangkan analisis kandungan N Total, C-Organik, dan pH tanah dilakukan di Laboratorium Kimia Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April sampai dengan Juli 2019, sedangkan analisis respirasi dan keanekaragaman bakteri dan fungi tanah dilakukan pada bulan November – Januari 2021 . Penelitian ini merupakan penelitian jangka panjang sejak tahun 1987 dengan penerapan olah tanah konservasi dan perlakuan pemupukan N jangka panjang dengan pola pergiliran tanaman serealia (jagung/ padi gogo) - legum (kedelai/ kacang tunggak/ kacang hijau) - bera. Pada tahun 1999 dan 2000, dilakukan pemugaran tanah dengan cara pengolahan tanah kembali, pengapuran, dan pemberaan pada permukaan tanah dengan perlakuan tanpa olah tanah untuk memperbaiki sifat tanah akibat pemadatan (Utomo, 2012).

3.2. Bahan dan Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu bor tanah, pisau, plastik transparan, kertas label, alat tulis, penggaris, timbangan, amplop kertas, erlenmeyer, gelas beaker, gelas ukur, tabung reaksi, rak tabung reaksi, cawan

petri, *L-shape drigalski spatula*, mikropipet, mikro tip, bunsen, *wrapping plastic*, *colony counter*, *vortex mixer*, buret, botol film, toples, selotip, *aluminium foil*, oven, autoklaf dan *Laminar Air Flow*. Bahan yang digunakan adalah benih kacang tunggak, pupuk SP-36, pupuk KCl, sampel tanah tiap petak satuan percobaan, KOH 0,2 N, HCl 0,1, indikator *Phenolphthalein*, *Metyl Orange*, NaCl, Bubuk Media *Potato Dextrose Agar* (PDA) dan *Nutrient Agar* (NA) serta Akuades.

3.3. Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) 2x2 yang disusun secara faktorial dengan empat ulangan. Faktor pertama dalam penelitian ini adalah perlakuan sistem olah tanah (T) yang terdiri dari T1 (Olah Tanah Intensif) dan T3 (Tanpa Olah Tanah), kemudian faktor kedua adalah residu dari pemupukan nitrogen (N) yaitu N0 (0 kg N ha⁻¹), dan N2 (200 kg N ha⁻¹). Pemupukan N diperuntukkan untuk tanaman serealia, sedangkan untuk musim tanam ke-32 ini menggunakan tanaman kacang tunggak (legum) sehingga hanya memanfaatkan residu pemupukan N dari musim tanam sebelumnya.

Terdapat 4 kombinasi perlakuan yang dengan 4 kelompok sehingga diperoleh 16 satuan percobaan. Kombinasi perlakuan yang diterapkan adalah :

N0T1 = residu pemupukan N 0 kg ha⁻¹ + tanpa olah tanah

N0T3 = residu pemupukan N 0 kg ha⁻¹ + olah tanah intensif

N2T1 = residu pemupukan N 200 kg ha⁻¹ + tanpa olah tanah

N2T3 = residu pemupukan N 200 kg ha⁻¹ + olah tanah intensif

Hasil pengamatan yang diperoleh dianalisis homogenitas ragamnya dengan menggunakan uji Bartlett dan uji Tukey untuk kemenambahan atau aditifitas data. Apabila data homogen dan aditif, dilakukan analisis ragam, apabila terdapat perbedaan yang nyata akan dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada α 5%, kemudian dilakukan uji korelasi untuk mengetahui hubungan antar variabel. Analisis besarnya pengaruh variabel-variabel pengamatan dan

keterkaitannya dilakukan dengan *Principal Component Analysis* (PCA) atau Analisis Komponen Utama (AKU) menggunakan *Software R* dan *R Studio*. Hasil pengamatan bakteri dan fungi tanah digunakan untuk menghitung Indeks Keanekaragaman Jenis (H'), Indeks dominansi (D) dan Indeks pemerataan (e). Indeks Keanekaragaman jenis (H') dianalisis dengan menggunakan Indeks Diversitas Shannon-Wiener (Hutcheson, 1970) dengan persamaan sebagai berikut:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i ; p_i = \frac{n_i}{N}$$

Keterangan:

H' = Indeks keanekaragaman (diversity index)

n_i = Jumlah individu spesies ke- i

N = Jumlah total individu dalam sampel

Kisaran nilai indeks keanekaragaman (H') berdasarkan rumus tersebut adalah (Wilhm dan Dorris, 1968):

- a. $H' < 1$ = Keanekaragaman rendah
- b. $1 \leq H' \leq 3$ = Keanekaragaman sedang
- c. $H' > 3$ = Keanekaragaman tinggi

Indeks Kemerataan Indeks pemerataan (e) dianalisis dengan menggunakan Indeks Pielou (Pielou, 1977) dengan rumus sebagai berikut:

$$e = \frac{H'}{H_{max}}$$

Keterangan:

e = Indeks pemerataan Pielou (evenness index)

H' = Indeks keanekaragaman

Menurut Pielou kriteria berdasarkan indeks pemerataan sebagai berikut:

- a. 0,00 – 0,25 = Tidak merata
- b. 0,26 – 0,50 = Kurang merata
- c. 0,51 – 0,75 = Cukup merata
- d. 0,76 – 0,95 = Hampir merata
- e. 0,96 – 1,00 = Merata

Indeks Dominansi Indeks dominansi (D) dianalisis dengan menggunakan Indeks Dominansi Simpson (Odum, 1993) dengan persamaan sebagai berikut:

$$D = \sum pi^2 ; pi = \frac{ni}{N}$$

Keterangan:

D = Indeks dominansi Simpson (*dominant index*)

ni = Jumlah individu spesies ke-i

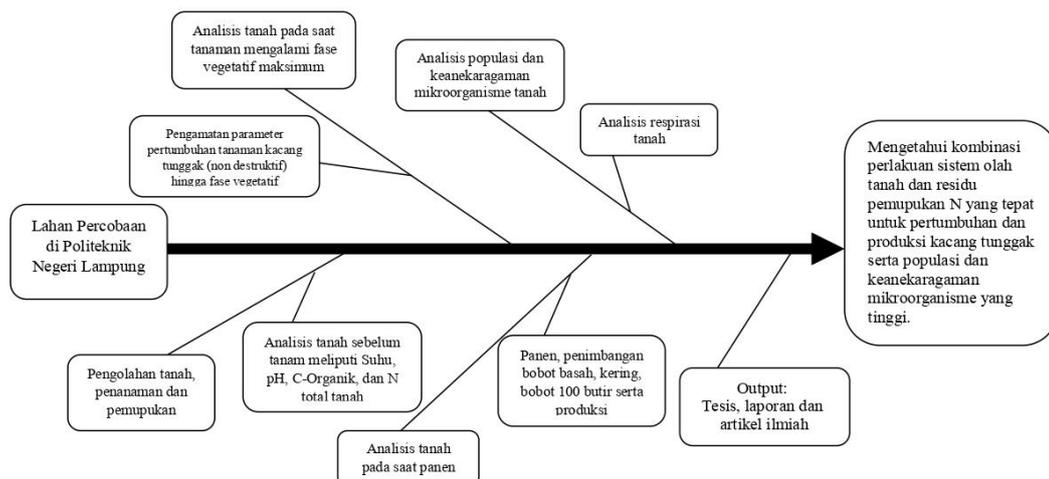
N = Jumlah total individu dalam sampel

Kisaran nilai indeks dominansi (D) berdasarkan rumus tersebut menurut Simpson (1949) dalam Odum (1993) adalah:

- $0 < C \leq 0,5$ = Dominansi rendah
- $0,5 < C \leq 0,75$ = Dominansi sedang
- $0,75 < C \leq 1,00$ = Dominansi tinggi

3.4. Pelaksanaan Penelitian

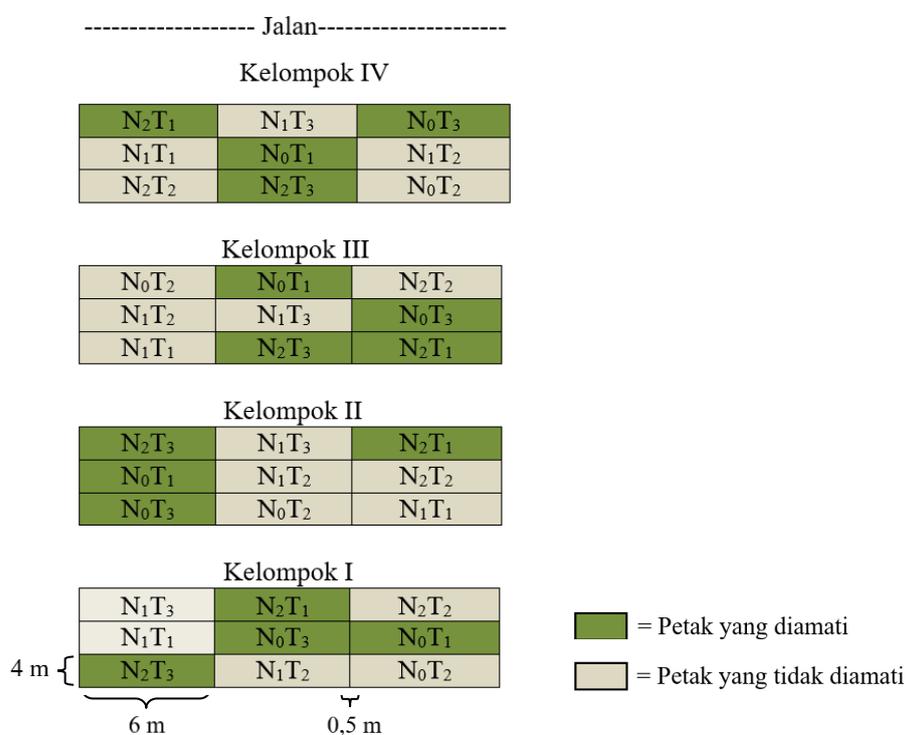
Alur pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada diagram di bawah ini :



Gambar 1. Diagram alir pelaksanaan penelitian

3.4.1 Pengolahan Tanah

Pengolahan tanah pada petak tanpa olah tanah (T3) tanah tidak diolah sama sekali, gulma yang tumbuh dikendalikan dengan menggunakan herbisida berbahan aktif glifosat dengan dosis 3 - 5 liter per hektar pada dua minggu sebelum tanam dan gulma dari sisa tanaman sebelumnya digunakan sebagai mulsa. Pada petak olah tanah intensif (T1) tanah dicangkul dua kali sedalam 0-20 cm setiap awal tanam dan gulma dibuang dari petak percobaan.



Gambar 2. Denah petak percobaan dan penanaman sejak tahun 1987 pada kebun percobaan di Politeknik Negeri Lampung.

Keterangan: T₁= Olah Tanah Intensif, T₃= Tanpa Olah Tanah, N₀= Tanpa Residu Pupuk N, dan N₂= Residu Pupuk N 200 kg N ha⁻¹.

3.4.2 Pembuatan Petak Percobaan dan Penanaman

Lahan dibagi menjadi 36 petak percobaan dengan ukuran tiap petaknya 4 m x 6 m dan jarak antarpetak percobaan yaitu 0,5 m. Penanaman benih kacang tunggak varietas lokal gayabaru dengan cara ditugal dengan jarak 40 cm x 20 cm, setelah itu ditanami 2 benih kacang tunggak per lubang tanam.

3.4.3 Pemupukan

Tanaman yang dibudidayakan pada musim tanam sebelumnya adalah sereal (jagung) dan pada musim tanam ke-32 ini ditanam tanaman legum (kacang tunggak), sehingga hanya memanfaatkan residu pemupukan nitrogen musim sebelumnya. Sebagai pupuk dasar diberikan pupuk SP-36 dengan dosis 100 kg ha⁻¹ dan KCl dengan dosis 50 kg ha⁻¹ diberikan pada saat tanaman berumur satu minggu setelah tanam. Pemupukan dilakukan dengan cara dilarik di sisi barisan tanaman kacang tunggak.

3.4.4 Pemeliharaan

Pemeliharaan meliputi penyulaman, penyiangan, serta pengendalian hama dan penyakit. Penyulaman dilakukan pada lubang tanam yang tidak tumbuh benih kacang tunggak dan dilaksanakan enam hari setelah tanam. Penyiangan dilakukan dengan mencabut dan mengorek gulma yang tumbuh di petak percobaan T1.

3.4.5 Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan pada saat panen secara komposit pada lima titik menggunakan bor tanah di setiap petak percobaan. Sampel tanah yang didapat kemudian dimasukkan ke dalam plastik dan diberi label yang selanjutnya disimpan di lemari pendingin untuk dianalisis di laboratorium.

3.5 Pengamatan dan Pengambilan Data Pertumbuhan dan Produksi Tanaman

Pengamatan dilakukan terhadap tanaman kacang tunggak pada beberapa variabel pengamatan. Variabel pengamatan yang diamati pada penelitian ini meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah cabang total, produksi tanaman, bobot segar dan bobot kering tanaman.

3.5.1 Tinggi tanaman

Tinggi tanaman diukur satu minggu sekali menggunakan penggaris atau meteran, dimulai pada saat umur tanaman 7 HST hingga masa vegetatif maksimum. Tinggi tanaman diukur sampai titik tumbuh tertinggi pada tanaman.

3.5.2 Jumlah daun

Jumlah daun yang dihitung yaitu daun yang telah membuka sempurna. Jumlah daun diamati satu minggu sekali dimulai pada saat umur tanaman 7 HST hingga masa vegetatif maksimum.

3.5.3 Produksi tanaman kacang tunggak

Pengamatan produksi tanaman kacang tunggak dilakukan dengan cara menimbang bobot biji pada petak panen seluas 2 m² pada tiap petak percobaan lalu diukur kadar airnya. Bobot biji tersebut kemudian dikonversi menjadi satuan ton/ha dengan kadar air 12%.

3.5.4 Bobot 100 Butir Biji

Pengamatan bobot 100 butir biji kacang tunggak dilakukan dengan cara menimbang sebanyak 100 biji kacang tunggak hasil dari produksi masing-masing perlakuan.

3.5.5 Bobot basah dan bobot kering tanaman

Bobot basah tanaman didapat dengan menimbang seluruh bagian hingga akar tiap sampel tanaman. Pengukuran bobot basah dilakukan dengan mencabut seluruh

tanaman, dibersihkan dari sisa tanah lalu ditimbang. Tanaman sampel setelah dilakukan pengukuran bobot basah, dikeringkan di dalam oven pada suhu 70 °C selama 2 x 24 jam atau sampai bobotnya konstan, kemudian ditimbang. Bobot kering yang didapat setelah proses pengovenan merupakan hasil dari bobot segar tanaman dikurangi dengan kadar air. Pengambilan data bobot basah dan kering tanaman dilakukan pada masa vegetatif maksimum dan saat panen.

3.6 Pengukuran Respirasi Tanah

Pengukuran respirasi tanah dilakukan dengan menggunakan modifikasi metode Verstraete (Anas, 1989) yaitu sebanyak 100 g tanah lembab BKO (Berat Kering Oven) dan dua tabung film yang berisi 10 ml KOH 0,2 N dan 10 ml akuades dimasukkan ke dalam toples berukuran 1L. Toples ditutup sampai kedap udara dan diinkubasi pada suhu ruang di tempat gelap selama 10 hari. Pada blanko (kontrol) tidak diisi dengan tanah. Analisis dilakukan untuk mengetahui jumlah CO₂ yang diikat oleh larutan KOH yang ditentukan dengan cara titrasi.

Titrasi dilakukan dengan cara memindahkan larutan KOH yang berada di botol film ke dalam Erlenmeyer, lalu ditambahkan 2 tetes indikator *phenolphthalein* hingga berubah warna menjadi merah muda, kemudian dititrasi dengan HCl 0,1 N hingga warna merah muda hilang (volume HCl yang digunakan dicatat). Selanjutnya, ditambahkan 2 tetes *metyl orange* hingga berubah warna menjadi kuning dan dititrasi kembali dengan HCl 0,1 N hingga warna kuning berubah menjadi warna merah muda kembali (Gambar 5). Volume HCl yang digunakan dalam proses titrasi tersebut dicatat. Jumlah HCl yang digunakan pada tahap kedua titrasi berhubungan langsung dengan jumlah CO₂ yang difiksasi KOH. Hal yang sama juga dilakukan untuk larutan KOH dari sampel kontrol (toples tanpa tanah).

Reaksi yang terjadi :

1. Reaksi pengikatan CO₂



2. Perubahan warna merah muda menjadi tidak berwarna (*phenolphthalein*)



3. Perubahan warna kuning menjadi merah muda kembali (*metyl orange*)



Jumlah C-CO₂ dari respirasi tanah dihitung dengan rumus :

$$\text{Respirasi tanah (mg C-CO}_2 \text{ hari}^{-1}\text{kg}^{-1} \text{ tanah)} = \frac{12 N (a-b)}{TS}$$

Keterangan:

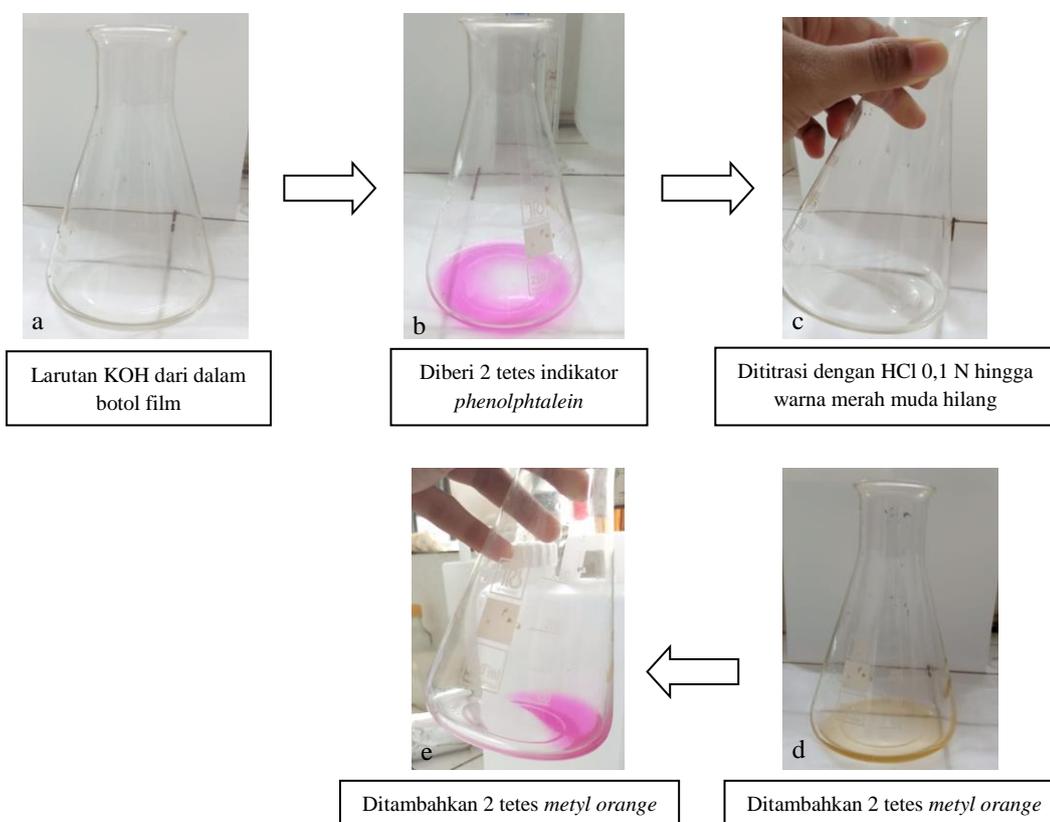
N = Normalitas HCl

a = Volume titrasi sampel

b = Volume titrasi blanko

T = Waktu inkubasi

S = Bobot sampel tanah



Gambar 3. Proses titrasi KOH pada pengukuran respirasi tanah

3.7 Pengamatan Bakteri dan Fungi Tanah

Metode yang digunakan untuk menghitung total bakteri dan fungi tanah adalah dengan menumbuhkan bakteri dan fungi hasil pengenceran di dalam cawan petri dengan metode cawan sebar (*spread plate count*) (Hastuti & Ginting, 2007).

3.7.1 Pembuatan Media Biakan

Medium yang digunakan untuk membiakkan bakteri dan fungi tanah adalah Potato Dextrose Agar (PDA) untuk fungi dan Nutrient Agar (NA) untuk bakteri yang sudah tersedia dalam satu kemasan, sehingga hanya menambahkan akuades dan agar sesuai petunjuk dalam kemasan. Pembuatan 1 L media dilakukan dengan cara memasukkan bubuk PDA sebanyak 39 g dan untuk bubuk NA sebanyak 40 g ditambahkan dengan 2 g agar batang ke dalam Erlenmeyer lalu larutkan dengan akuades hingga volume mencapai 1 L. Larutan tersebut kemudian disterilkan dengan cara dimasukkan pada mesin autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit.

3.7.2 Pembuatan Seri Pengenceran

Pembuatan seri pengenceran dilakukan dengan membuat larutan fisiologis, yaitu mencampurkan 8,5 g NaCl ke dalam 1 L akuades, kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 ml sebanyak 90 ml, lalu menyiapkan masing-masing sampel tanah dan ekstrak tanaman menggunakan tabung reaksi. Erlenmeyer dan tabung reaksi yang berisi larutan ditutup dengan kapas dan diautoklaf selama 20 menit pada suhu 121°C. Kemudian 10 g sampel tanah dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berisi 90 ml larutan fisiologis dan dikocok hingga homogen. Setelah tercampur merata, dipipet 1 ml larutan tanah dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 ml larutan fisiologis steril, begitu seterusnya hingga didapatkan seri pengenceran yang diinginkan.

3.7.3 Isolasi Bakteri dan Fungi dari Sampel Tanah

Teknik isolasi bakteri dan fungi dari tanah dilakukan dengan menggunakan metode pengenceran *Plating Method* (Pelczar & Chan, 2006), yaitu 10 g tanah ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berisi 90 ml air steril

dan dikocok hingga homogen, sehingga didapatkan faktor pengenceran 10^{-1} . Dari faktor pengenceran 10^{-1} diambil sebanyak 1 ml secara aseptik dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 ml air steril. Kemudian dikocok dengan *vortex mixer* hingga homogen, sampel ini memiliki faktor pengenceran 10^{-2} . Pengenceran diulang hingga diperoleh faktor pengenceran 10^{-5} . Isolasi bakteri menggunakan seri pengenceran 10^{-3} , 10^{-4} dan 10^{-5} , sedangkan untuk isolasi fungi menggunakan seri pengenceran 10^{-2} , 10^{-3} dan 10^{-4} .

Penanaman sampel dilakukan dengan menggunakan metode cawan sebar. Masing-masing seri pengenceran diambil secara aseptik sebanyak 1 ml kemudian dituangkan ke dalam cawan petri yang telah berisi media padat lalu diratakan dengan menggunakan *L-shape drigalski spatula* hingga kering. Setelah itu cawan petri direkatkan dengan *plastic wrap*.

3.7.4 Pengamatan Bakteri dan Fungi Tanah

Pengamatan total koloni bakteri pada media NA adalah dengan menghitung populasi bakteri dan fungi. Pengamatan dilakukan mulai hari pertama setelah diinkubasi hingga hari ke 4. Sedangkan pengamatan fungi pada media PDA dilakukan dengan menghitung populasi atau jumlah fungi yang tumbuh dari hari ke 5 hingga ke 7 inkubasi. Bakteri dihitung hanya dari cawan petri yang mempunyai 30-300 koloni sedangkan fungi dihitung dari cawan petri yang mempunyai 10-100 koloni. Rumus perhitungan populasi bakteri dan fungi (Hastuti & Ginting, 2007) :

$$\text{Total populasi (CFU) } g^{-1} \text{ tanah} = \frac{\text{Jumlah Koloni}}{\text{faktor pengenceran} \times \text{berat kering tanah}}$$

| | | | | | | |
|------------------|---|---|---|---|---|---|
| Shape |  |  |  |  |  | |
| | Filamentous | Spindle | Irregular | Circular | Rhizoid | |
| Margin |  |  |  |  |  |  |
| | Entire | Undulate | Lobate | Curled | Rhizoid | Filamentous |
| Elevation |  |  |  |  |  | |
| | Flat | Raised | Convex | Pulvinate | Umbonate | |
| Optical property | Transparent, translucent, or opaque. | | | | | |
| Pigmentation | Nonpigmented (e.g. cream, white) Pigmented (e.g. yellow, blue, pink) | | | | | |

Gambar 4. Karakteristik morfologi bakteri (ATCC, 2015)

Identifikasi morfologi koloni bakteri dengan pengamatan makroskopis yaitu berdasarkan bentuk, margin, elevasi, kenampakan dan pigmentasinya kemudian dihitung keseluruhan. Sedangkan identifikasi fungi berdasarkan bentuk, warna dan ukuran (ATCC, 2015).

a. Bentuk (*shape*)

Bentuk keseluruhan koloni bakteri pada umumnya yaitu melingkar (*circular*), bentuk seperti akar atau pertumbuhan menyebar (*rhizoid*), tidak beraturan atau tidak bertepi (*irregular*), berserabut (*filamentous*), dan lonjong (*spindle*) atau oval.

b. Tepi (*margin*)

Tepi pada umumnya yaitu tepi rata (*entire*), tepi bergelombang (*undulate*), tepi berlekuk (*lobate*), tepi melengkung (*curled*), tepi bergerigi (*rhizoid*), tepi seperti benang-benang atau berlekuk tidak beraturan (*filamentous*).

c. Permukaan (*elevation*)

Permukaan koloni bakteri dapat dilihat dari samping, diantaranya datar (*flat*), timbul namun datar (*raised*), timbul namun cembung atau

melengkung (*convex*), membukit (*pulvinate*), dan cembung dibagian tengah lebih menonjol (*umbonate*).

d. *Opacity (optical property)*

Opacity menggambarkan sifat tidak tembus cahaya dari koloni bakteri.

Koloni sering terlihat buram (*opaque*), atau tidak tembus cahaya, tembus cahaya atau cahaya menembus secara difusi (*translucent*), dan transparan atau cahaya lewat tanpa gangguan (*transparent*).

e. *Warna (Pigmentation)*

Warna atau pigmentasi dapat bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan dan usia koloni. Warna koloni pada umumnya putih, kuning, orange, merah, ungu, hitam dan lain-lain.

3.8 Variabel Pendukung

Variabel pendukung yang diukur pada penelitian ini adalah suhu, pH, Kandungan C-Organik serta N Total Tanah. Pengambilan sampel tanah untuk pengukuran variabel pendukung diambil pada saat sebelum olah tanah, vegetatif maksimum, dan saat panen.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Sistem tanpa olah tanah menghasilkan respirasi tanah, populasi bakteri, dan populasi fungi dalam tanah yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem olah tanah intensif.
2. Residu pemupukan N tidak berpengaruh terhadap respirasi tanah, populasi bakteri dan populasi fungi tanah, tetapi menyebabkan penurunan pH tanah.
3. Terdapat pengaruh interaksi antara sistem olah tanah dan residu pemupukan N jangka panjang terhadap kandungan C-Organik tanah pada saat panen, tinggi tanaman, dan produksi kacang tunggak.
4. Sistem tanpa olah tanah menghasilkan pertumbuhan dan produksi kacang tunggak yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem olah tanah intensif.
5. Terdapat hubungan timbal balik antara pertumbuhan dan produksi tanaman kacang tunggak dengan variabel kimia (N total dan C-Organik) serta biologi tanah (populasi bakteri dan fungi serta respirasi tanah).

5.2 Saran

Pada penelitian ini didapatkan hasil yang tidak nyata atau tidak berbeda pada semua perlakuan sistem olah tanah dan residu pemupukan N jangka panjang terhadap keanekaragaman bakteri dan fungi tanah. Hal tersebut diduga dikarenakan metode yang penulis lakukan dalam melihat keanekaragaman spesies masih secara konvensional. Jenis ataupun spesies bakteri dan fungi yang dapat tumbuh pada media biakan PDA maupun NA sangat terbatas sehingga menyebabkan tidak

terlihatnya perbedaan keanekaragaman spesiesnya. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat penulis menyarankan untuk dilakukannya penelitian lanjutan agar dapat melihat perbedaan keanekaragaman spesies bakteri maupun fungi dengan metode yang lebih modern, salah satunya adalah dengan analisis profil *quinone*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abayomi, Y. A., Ajibade, T.V., Sammuell, O. F. & Sa'adudeen, B. F. 2008. Growth and yield responses of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) Genotypes to Nitrogen Fertilizer (NPK) Application in the Southern Guinea Savanna Zone of Nigeria. *Asian J. Plant Sci.* 7 (2) : 170–176
- American Type Culture Collection (ATCC), 2015, Introduction to Microbiology, 10801 University Blvd. Manassas, VA 20110. <https://www.atcc.org/resources/culture-guides/introduction-to-microbiology>. Diakses pada 12 Oktober 2020.
- Anas, I. 1989. Biologi Tanah dalam Praktek. Pusat Antar Universitas Bioteknologi. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 161 hlm.
- Antonius, S., Sahputra, R. D., Nuraini, Y., & Dewi, T. K. (2018). Manfaat Pupuk Organik Hayati, Kompos dan Biochar pada Pertumbuhan Bawang Merah dan Pengaruhnya terhadap Biokimia Tanah pada Percobaan Pot Menggunakan Tanah Ultisol. *Jurnal Biologi Indonesia*, 14 (2) : 243-250.
- Andita, R. A., Sarno, S., Utomo, M., & Salam, A. K. (2019). Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Pemupukan Nitrogen Jangka Panjang terhadap Kandungan Asam Humat dan Asam Fulvat pada Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) Tahun Ke-29 di Lahan Politeknik Negeri Lampung. *Jurnal Agrotek Tropika*, 7(2): 361.
- Aziz I, Mahmood, T., & Islam, K. R. 2013. Effect of Long Term No-Till and Conventional Tillage Practices on Soil Quality . *Soil & Tillage Research*. 131: 28–35
- Balitkabi. 1998. *Kacang Tunggak*. Monograf Balitkabi, 3 : 1 – 9
- Bardgett, R.D. and van der Putten, W.H. (2014) Belowground Biodiversity and Ecosystem Functioning. *Nature*. 515 : 505–511
- Bender, S. F., Wagg, C., & van der Heijden, M. G. (2016). an Underground Revolution: Biodiversity and Soil Ecological Engineering for Agricultural Sustainability. *Trends in ecology & evolution*, 31 (6) : 440-452.

- Blanco-Canqui, H., Shapiro, C. A., Wortmann, C. S., Drijber, R. A., Mamo, M., Shaver, T. M., & Ferguson, R. B. (2013). Soil Organic Carbon: The value to Soil Properties. *Journal of Soil and Water Conservation*, 68 (5) : 129A–134A.
- Buyer, J. S., Roberts, D. P. & Russek-Cohen, E. 2002. Soil and Plant Effects on Microbial Community Structure. *Can. J. Microbiol.* 48 : 955–964.
- Carney, K. M. & Matson, P. A. 2005. Plant Communities, Soil Microorganisms, Aand Soil Carbon Cycling: Does Altering the World Belowground Matter to Ecosystem Functioning?. *Ecosystems.* 8 : 928–940.
- Crews, T.E. & Peoples, M.B. 2004. Legume Versus Fertilizer Sources of Nitrogen: Ecological Tradeoffs and Human Needs. *Agr. Ecosyst. Environ.* 102 : 279–297.
- DeLaune, P. B., & Sij, J. W. (2012). Impact of Tillage on Runoff in Long Term No Till Wheat Systems. *Soil and Tillage Research*, 124 : 32–35.
- Erawan, D., Yani, W. O. & Bahrin, A. 2013. Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sawi (*Brassica juncea* L.) pada Berbagai Dosis Pupuk Urea. *J. Agroteknos.* 3 (1) :19–25.
- Gajda, A. M. (2010). Microbial Activity and Particulate Organic Matter Content in Soils With Different Tillage System Use. *International Agrophysics*, 24 (2) : 129–137.
- Gajda, A. M., & Przewloka, B. (2012). Soil Biological Activity as Affected by Tillage Intensity. *International Agrophysics*, 26 (1) : 15–23.
- Gajda, A. M., Przewloka, B., & Gawryjolek, K. (2013). Changes in Soil Quality Associated with Tillage System Applied. *International Agrophysics*, 27 (2) : 133–141.
- Hakim, Rakhman. 2011. Pengaruh Pengolahan Tanah dengan Bajak Rotary Tipe *Curve Blade* dan Pupuk Bokashi terhadap Sifat Fisik Tanah Alluvial. *Skripsi.* Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya. Malang.
- Haliza, W., Purwani, E. Y. & Thahir, R. 2007. Pemanfaatan Kacang-Kacangan Lokal sebagai Substitusi Bahan Baku Tempe dan Tahu. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian.* 3 : 1–8.
- Hastuti, R. D., & Ginting, R. C. B. (2007). Enumerasi Bakteri, Cendawan, dan Aktinomisetes. *Metode Analisis Biologi Tanah.* Bogor. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian. 13–22.
- He, J., Li, H., Rasaily, R. G., Wang, Q., Cai, G., Su, Y., ... & Liu, L. (2011). Soil Properties and Crop Yields after 11 Years of No Tillage Farming in Wheat Maize Cropping System in North China Plain. *Soil and Tillage Research*, 113 (1) : 48–54.

- Hutcheson, K. (1970). a Test For Comparing Diversity Based on The Shannon Formula. *J. of Theoretical Biology*, 29 : 151-154.
- Jin, H., Hongwen, L., Rasaily, R. G., Qingjie, W., Guohua, C., Yanbo, S. Xiaodong, Q. & Lijin, L. 2011. Soil Properties and Crop Yields after 11 Years of No Tillage Farming in Wheat–Maize Cropping System in North China Plain. *Soil Till. Res.* 113 : 48–54.
- Kessel, C. & Hartley, C. 2000. Agricultural Management of Grain Legumes: Has It Led to an Increase in Nitrogen Fixation?. *Field Crops Res.* 65 : 165–181.
- Latha, P. C. & Gopal, H. 2010. Effect of Herbicides on Soil Microorganisms. *Indian J. Weed Sci.* 42 (3 & 4) : 217–222.
- Leite, J., Seido, S. L., Passos, S. R., Xavier, G. R., Rumjanek, N. G., & Martins, L. M. V. (2009). Biodiversity of rhizobia associated with cowpea cultivars in soils of the lower half of the São Francisco River Valley. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33 : 1215–1226.
- Martinez, E., Fuentes, J. P., Silva, P., Valle, S. & Acevedo, E. 2008. Soil Physical Properties and Wheat Root Growth as Affected by No-Tillage and Conventional Tillage Systems in a Mediterranean Environment of Chile. *Soil Till. Res.* 99 : 232–244.
- Mathew, R. P., Feng, Y., Githinji, L., Ankumah, R. & Balkcom, K. S. 2012. Impact of No-Tillage and Conventional Tillage Systems on Soil Microbial Communities. *Appl. Environ. Soil Sci.* 1–10.
- Miura, T., Owada, K., Nishina, K., Utomo, M., Niswati, A., Kaneko, N., & Fujie, K. (2016). The effects of nitrogen fertilizer on soil microbial communities under conventional and conservation agricultural managements in a tropical clay-rich ultisol. *Soil Science*, 181 (2) : 68 – 74.
- Mommer, L., Hinsinger, P., Prigent-Combaret, C., & Visser, E. J. (2016). Advances in the Rhizosphere: Stretching the Interface of Life. *Plant Soil*, 407 : 1–8.
- Ngalamu, T., Odra, V. & Tongun, N. 2014. *Cowpea Production Handbook*. College of Natural Resources and Environmental Studies. University of Juba.
- Nurrohman, E., Rahardjanto, A., & Wahyuni, S. (2018). Studi Hubungan Keanekaragaman Makrofauna Tanah dengan Kandungan C-Organik dan Organofosfat Tanah di Perkebunan Cokelat (*Theobroma cacao* L.) Kalibaru Banyuwangi. *Bioeksperimen*, 4 (1) : 1–10 .
- Odum, E. P. 1993. *Dasar – Dasar Ekologi*. Gramedia. Jakarta. 697 hlm.
- Pamungkas, M. A. (2017). Pengaruh Pemupukan Nitrogen Terhadap Tinggi dan Percabangan Tanaman Teh (*Camelia Sinensis* (L.) O. Kuntze) untuk Bidang Petik. *Buletin Agrohorti*, 5 (2) : 234 –241.

- Paterson, E. 2003. Importance of Rhizodeposition in the Coupling of Plant and Microbial Productivity. *Eur. J. Soil Sci.* 54 : 741–750.
- Pelczar, M.J and Chan, E.C.S. 2006. *Dasar-Dasar Mikrobiologi Jilid 2*. UI Press. Jakarta.
- Pérez-Jaramillo, J. E., Mendes, R., & Raaijmakers, J. M. (2016). Impact of Plant Domestication on Rhizosphere Microbiome Assembly and Functions. *Plant molecular biology*, 90 (6) : 635–644.
- Philippot, L., Raaijmakers, J. M., Lemanceau, P., & Van Der Putten, W. H. (2013). Going Back to the Roots: the Microbial Ecology of the Rhizosphere. *Nature Reviews Microbiology*, 11 (11) : 789–799.
- Pielou , E. C., 1966. The Measurement of Diversity in Different Types of Biological Collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13 : 131–44.
- Pieterse, C. M., Zamioudis, C., Berendsen, R. L., Weller, D. M., Van Wees, S. C., & Bakker, P. A. (2014). Induced Systemic Resistance by Beneficial Microbes. *Annual review of phytopathology*, 52 : 347–375.
- Ping, Y., Pan, X., Li, W., Wang, J., & Cui, L. (2019). The Soil Bacterial and Fungal Diversity were Determined by the Stoichiometric Ratios of Litter Inputs: Evidence From a Constructed Wetland. *Scientific reports*, 9 (1) : 1–7.
- Prayudyaningsih, R., Nursyamsi & Sari, R. 2015. Mikroorganisme Tanah Bermanfaat pada Rhizosfer Tanaman Umbi di Bawah Tegakan Hutan Rakyat Sulawesi Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 1 (4) : 954–959.
- Ramos, M. E., Robles, A. B., Sanchez-Navarro, A., & Gonzalez-Rebollar, J. L. 2011. Soil Responses to Different Management Practices in Rainfed Orchards in Semiarid Environments. *Soil and Tillage Research*. 112 (1) : 85–91.
- Richardson, A. E. & Simpson, R. J. 2011. Soil Microorganisms Mediating Phosphorus Availability. *Plant Physiol*. 156 : 989–96.
- Rodríguez-Loinaz, G. Onaindia, M., Amezaga, I., Mijangos, I. & Garbisu, C. 2008. Relationship Between Vegetation Diversity and Soil Functional Diversity in Native Mixed-Oak Forests. *Soil Biol. Biochem*. 40 : 49–60.
- Rousk, J., Bååth, E., Brookes, P. C., Lauber, C. L., Lozupone, C., Caporaso, J. G., ... & Fierer, N. (2010). Soil Bacterial and Fungal Communities Across a pH Gradient in an Arable Soil. *The ISME journal*, 4 (10) : 1340–1351.
- Santosa, M., Maghfoer, M. D. & Tarno, H. 2017. The Influence of Organic and Inorganic Fertilizers on The Growth and Yield of Green Bean, *Phaseolus Vulgaris* L. Grown in Dry And Rainy Season. *Agrivita, Journal of Agricultural Science*. 39 (3) : 296–302.

- Sayyed, R. Z. & Patel. 2011. Soil Microorganisms and Environmental Health. *Int. J. Biotech & Biosci.* 1 (1) : 41–66.
- Setyowati, M. & Sutoro. 2010. Evaluasi Plasma Nutfah Kacang Tunggak (*Vigna unguiculata* L.) di Lahan Masam. *Buletin Plasma Nutfah*, 16 (1) : 44–48.
- Silvia, A., Miura, T., Nobuhiro, K., Fujie, K., Hasanuddin, U., Niswati, A. & Haryani. 2014. Soil Microbial Biomass and Diversity Amended With Bagasse Mulch in Tillage and No-Tillage Practices in the Sugarcane Plantation. *Procedia Environ. Sci.* 20 : 410–417.
- Singh, J. S., Pandey, V. C. & Singh, D. P. 2011. Efficient Soil Microorganisms: a New Dimension for Sustainable Agriculture and Environmental Development. *Agr Ecosyst Environ.* 140 : 339–353.
- Singh, J. S. & Gupta, V. K. 2018. Soil Microbial Biomass: a Key Soil Driver in Management of Ecosystem Functioning. *Sci. Total Environ.* 634 : 497–500.
- Soedarjo, M. (2003). Teknologi rhizobium pada tanaman kedelai. https://balitkabi.litbang.pertanian.go.id/wpcontent/uploads/2016/03/dele_15.muchdar-1.pdf. Diakses pada 12 Oktober 2020.
- Štursová, M., Žifčáková, L., Leigh, M. B., Burgess, R., & Baldrian, P. (2012). Cellulose Utilization in Forest Litter and Soil: Identification of Bacterial and Fungal Decomposers. *FEMS microbiology ecology*, 80 (3) : 735–746.
- Sukaryorini, P., Fuad, A. M., & Santoso, S. (2017). Pengaruh Macam Bahan Organik terhadap Ketersediaan Amonium (NH⁺), C-Organik dan Populasi Mikroorganisme pada Tanah Entisol. *Berkala Ilmiah Agroteknologi PLUMULA*, 5 (2) : 99–106.
- Suryani, W. M. 2020. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan Nitrogen Jangka Panjang Tahun Ke-32 terhadap Distribusi Agregat pada Pertanaman Kacang Tunggak (*Vigna unguiculata* L.) di Politeknik Negeri Lampung. *Skripsi*. Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
- Tang, J. C., Inoue, Y., Yasuta, T., Yoshida, S. & Katayama, A. 2003. The Chemical and Microbial Properties of Various Compost Products. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 49 : 273–280.
- Tardif, A., & Shipley, B. (2015). The Relationship Between Functional Dispersion of Mixed-Species Leaf Litter Mixtures and Species Interactions During Decomposition. *Oikos*, 124 (8) : 1050–1057.
- Torsvik, V., Goksoyr, J., & Daae, F. L. 1990. High Diversity in DNA of Soil Bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*, 56 (3) : 782–787.

- Triplett, G. B. Jr., & Dick, W. A. 2008. No-Tillage Crop Production: a Revolution in Agriculture. *Agron. J.* 100 : S-153–S-165.
- Utomo, M., Niswati, A., Dermiyati, Wati, M. R., Ragan, E. F. & Syarif, S. 2010. Earthworm and Soil Carbon Sequestration After Twenty One Years of Continuous No-Tillage Corn-Legume Rotation in Indonesia. *JIFS.* 7 : 51–58.
- Utomo, M., Buchari, H., Banuwa, I. S., Fernando, L. K. & Saleh, R. 2012. Carbon Storage And Carbon Dioxide Emission as Influenced by Long-Term Conservation Tillage and Nitrogen Fertilization in Corn-Soybean Rotation. *J. Trop. Soils.* 17 (1) : 75–84.
- Utomo, M., Banuwa, I. S., Buchari, H., Anggraini, Y. & Berthiria. 2013. Long-Term Tillage and Nitrogen Fertilization Effects on Soil Properties and Crop Yields. *J. Trop. Soils.* 18 (2) : 131–139.
- Utomo, M. 2015. *Tanpa Olah Tanah, Teknologi Pengolahan Pertanian Lahan Kering.* Graha Ilmu. Yogyakarta.
- van Dam, N. M., & Bouwmeester, H. J. (2016). Metabolomics in the Rhizosphere: Tapping into Belowground Chemical Communication. *Trends in plant science*, 21 (3) : 256–265.
- Wilhm, J. L., & Dorris, T. C. (1968). Biological Parameters for Water Quality Criteria. *Bioscience*, 477–481.
- Widyati, E. 2013. Pentingnya Keragaman Fungsional Organisme Tanah terhadap Produktivitas Lahan. *Tekno Hutan Tanaman.* 6 (1) : 29–37.
- Wu, Y. T., Gutknecht, J., Nadrowski, K., Geibler, C., Kuhn, P., Scholten, T., Both, S., Erfmeier, A., Bohnke, M., Bruelheide, H., Wubet, T. & Buscot, F. 2012. Relationships Between Soil Microorganisms, Plant Communities, and Soil Characteristics in Chinese Subtropical Forests. *Ecosystems.* 15 : 624–636.
- Yang, C., Liu, N., & Zhang, Y. (2019). Soil Aggregates Regulate the Impact of Soil Bacterial and Fungal Communities on Soil Respiration. *Geoderma*, 337, 444–452.
- Yupitasari, M., Utomo, M., Karyanto, A., & Salam, A. K. (2018). Pengaruh Pemupukan N, Residu N dan Tanpa Olah Tanah Jangka Panjang Setelah diolah Kembali terhadap Serapan Hara Makro dan Mikro, Serta Produksi Tanaman Jagung (*Zea mays* L.). *Under gradiate thesis.* Universitas Lampung. Lampung.
- Zuber, S. M., & Villamil, M. B. (2016). Meta-Analysis Approach to Assess Effect of Tillage on Microbial Biomass and Enzyme Activities. *Soil Biology and Biochemistry*, 97 : 176–187.