

**EFEKTIVITAS SISTEM OLAH TANAH DAN APLIKASI KOMPOS
TERHADAP EKOSISTEM DAN EMISI CO₂ TANAH SECARA BIOLOGIS
DI LAHAN PERKEBUNAN NANAS PADA FASE PERTUMBUHAN
VEGETATIF AWAL**

(Tesis)

Oleh

**NOVRI DWI DAMAYANTI
NPM 2220011013**



**PROGRAM STRATA 2
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

EFEKTIVITAS SISTEM OLAH TANAH DAN APLIKASI KOMPOS TERHADAP EKOSISTEM DAN EMISI CO₂ TANAH SECARA BIOLOGIS DI LAHAN PERKEBUNAN NANAS PADA FASE PERTUMBUHAN VEGETATIF AWAL

Oleh

NOVRI DWI DAMAYANTI

Kerusakan tanah pada lahan perkebunan nanas disebabkan oleh sistem budidaya monokultur dan pemakaian pupuk kimia dalam jangka panjang. Penerapan pertanian berkelanjutan yang melibatkan pengolahan tanah dan penggunaan pupuk organik sangat penting untuk meningkatkan kesuburan tanah dan produksi tanaman nanas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sistem pengolahan tanah dan aplikasi kompos terhadap ekosistem dan emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) serta pertumbuhan vegetatif awal tanaman nanas. Percobaan disusun dalam rancangan *split plot* dengan dua faktor dan tiga kelompok di perkebunan nanas Lampung Tengah. Perlakuan petak utama adalah sistem olah tanah dan anak petak adalah jenis kompos. Pengamatan dilakukan pada tanah awal sebelum pengolahan tanah, setelah aplikasi kompos sebelum tanam (ST), 14, 30, 60, dan 90 HST (hari setelah tanam). Data yang diperoleh diuji homogenitas ragam dengan uji Bartlett dan aditifitasnya dengan uji Tukey, kemudian dilakukan analisis ragam. Jika terdapat perbedaan yang signifikan, dilanjutkan dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa C-mik pada olah tanah 30 cm + cacah serasah kasar lebih tinggi dibandingkan olah tanah 40 cm + cacah serasah halus. C-mik dan jumlah mesofauna pada aplikasi kompos premium 50 t ha⁻¹ + konsorsium mikroba LOB lebih tinggi dibandingkan kompos GGP 50 t ha⁻¹. C-mik dan jumlah mesofauna tanah pada olah tanah 30 cm + cacah serasah kasar dan aplikasi kompos premium 50 t ha⁻¹ lebih tinggi dibandingkan kompos premium 50 t ha⁻¹ + konsorsium mikroba LOB, sedangkan emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) pada olah tanah 40 cm + cacah serasah halus dan aplikasi kompos premium 50 t ha⁻¹ lebih rendah dibandingkan kompos lainnya. Jumlah akar serabut tanaman nanas umur 90 HST lebih banyak pada olah tanah 40 cm + cacah serasah halus. Terdapat korelasi positif antara kadar air tanah dengan respirasi tanah. Terdapat korelasi negatif antara suhu tanah dengan respirasi tanah, antara pH tanah dengan respirasi tanah, antara kadar air tanah dengan jumlah mesofauna tanah.

Kata kunci: C-mik, kompos, mesofauna, nanas, olah tanah, respirasi tanah.

ABSTRACT

EFFECTIVENESS OF TILLAGE SYSTEM AND COMPOST APPLICATION ON ECOSYSTEM AND BIOLOGICAL SOIL CO₂ EMISSIONS IN PINEAPPLE PLANTATION DURING EARLY VEGETATIVE GROWTH PHASE

By

NOVRI DWI DAMAYANTI

Soil degradation in pineapple plantations is caused by monoculture and long-term use of chemical fertilizers. The application of sustainable agriculture involving tillage and the use of organic fertilizers is essential to improve soil fertility and pineapple crop production. This study aims to determine the effect of tillage system and compost application on ecosystem and biological soil CO₂ emissions (soil respiration) and early vegetative growth of pineapple plants. The experiment was arranged in a split plot design with two factors and three groups in a pineapple plantation in Central Lampung. The main plot treatment was tillage system and the subplot was compost type. Observations were made on the initial soil before tillage, after compost application before planting, 14, 30, 60, and 90 days after planting. The data obtained were tested for homogeneity of variance with Bartlett test and additivity with Tukey test, then analysis of variance was conducted. If there was a significant difference, it was followed by the Duncan Multiple Range Test (DMRT) at the 5% level. The results showed that C-mic in the 30 cm tillage + coarse litter chopping was higher than 40 cm tillage + fine litter chopping. C-mic and the number of mesofauna in the application of 50 t ha⁻¹ premium compost + LOB microbial consortium were higher than 50 t ha⁻¹ GGP compost. C-mic and the number of soil mesofauna in 30 cm tillage + coarse litter and 50 t ha⁻¹ premium compost applications were higher than 50 t ha⁻¹ premium compost + LOB microbial consortium, while biological soil CO₂ emissions (soil respiration) in 40 cm tillage + fine litter and 50 t ha⁻¹ premium compost applications were lower than the other composts. The number of fibrous roots of pineapple plants at the age of 90 days after planting was more in the 40 cm + fine litter chopping. There is a positive correlation between soil moisture content and soil respiration. There is a negative correlation between soil temperature and soil respiration, between soil pH and soil respiration, between soil moisture content and the number of soil mesofauna.

Keywords: C-mic, compost, mesofauna, pineapple, tillage, soil respiration.

**EFEKTIVITAS SISTEM OLAH TANAH DAN APLIKASI KOMPOS
TERHADAP EKOSISTEM DAN EMISI CO₂ TANAH SECARA BIOLOGIS
DI LAHAN PERKEBUNAN NANAS PADA FASE PERTUMBUHAN
VEGETATIF AWAL**

Oleh

NOVRI DWI DAMAYANTI

Tesis

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

pada

**Program Studi Magister Ilmu Lingkungan
Program Pascasarjana Multidisiplin Universitas Lampung**



**PROGRAM STRATA 2
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul : Efektivitas Sistem Olah Tanah dan Aplikasi Kompos Terhadap Ekosistem dan Emisi CO₂ Tanah Secara Biologis di Lahan Perkebunan Nanas pada Fase Pertumbuhan Vegetatif Awal

Nama : Novri Dwi Damayanti

NPM : 2220011013

Program Studi : Magister Ilmu Lingkungan

Fakultas : Program Pascasarjana Multidisiplin

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Dermiyati, M.Agr.Sc
NIP 196308041987032002



Dr. Alimuddin, S.Si., M.Si.
NIP 197206262000121001



Dr. Melya Riniarti, S.P., M.Si.
NIP 197705032002122002

**2. Ketua Program Studi Magister Ilmu Lingkungan
Universitas Lampung**



Hari Kaskoyo, S.Hut., M.P., Ph.D.
NIP 196906011998021002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Dr. Ir. Dermiyati, M.Agr.Sc.

Sekretaris : Dr. Alimuddin, S.Si., M.Si.

Anggota : Dr. Melya Riniarti, S.P., M.Si.

Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sri Yusnaini, M.Si.

Anggota : Ir. M. A. Syamsul Arif, M.Sc., Ph.D.

2. Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung

Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP 196403261989021001

Tanggal Lulus Ujian Tesis: 03 Juni 2025

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Tesis dengan judul: **“Efektivitas Sistem Olah Tanah dan Aplikasi Kompos terhadap Ekosistem dan Emisi CO₂ Tanah Secara Biologis di Lahan Perkebunan Nanas pada Fase Pertumbuhan Vegetatif Awal”** adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut *plagiarisme*.
2. Tesis ini merupakan bagian penelitian dari pelaksanaan Program Matching Fund Tahun 2023 antara PT. Great Giant Pineapple dan Universitas Lampung dengan Skema A2 dalam hilirisasi kepakaran upaya kemitraan antara perguruan tinggi dan Dunia Usaha dan Dunia Industri (DUDI) dengan pengusul, yaitu
 1. Prof. Dr. Ir. Dermiyati, M.Agr.Sc
 2. Prof. Dr. Ir. Sri Yusnaini, M.Si.
 3. Prof. Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc.
 4. Prof. Dr. Sumardi, M.Si.
 5. Winih Sekaringtyas Ramadhani, S.P., M.P.
3. Hak intelektual atas karya ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya, saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 03 Juni 2025
Yang membuat pernyataan,



Novri Dwi Damayanti
NPM 2220011013

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, pada tanggal 22 November 1992, sebagai putri kedua dari dua bersaudara pasangan Bapak Sugiarto (Alm) dan Ibu Sumarni. Penulis mulai menempuh pendidikan formal di TK Kartika II-6 pada tahun 1997, pendidikan di Sekolah Dasar Kartika II-5 pada tahun 1998, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 29 Bandar Lampung pada tahun 2004, dan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 12 Bandar Lampung pada tahun 2007. Tahun 2010 Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan lulus pada Tahun 2014. Tahun 2022 Penulis melanjutkan Magister dengan Program Studi Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Lampung.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahiim

*Kupersembahkan karya ini untuk orang-orang yang kusayangi,
Bapak Sugiarto (Alm) dan Ibu Sumarni, Kakak ku Resti Yulia Sari
yang senantiasa memberi doa, semangat, dan cinta yang tiada pernah berakhir.*

“Libatkan Allah dalam segala urusan, Insyaallah selalu dalam kemudahan”

SANWACANA

Syukur Alhamdulillah penulis haturkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penelitian dan penyusunan tesis ini dapat berjalan dengan lancar. Dalam penyusunan tesis ini tentu tak lepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung;
3. Dr. Candra Perbawati, S.H., M.H., selaku Wakil Direktur Bidang Akademik, Kemahasiswaan dan Alumni Universitas Lampung;
4. Dr. Fitra Dharma, S.E., M.Si., selaku Wakil Direktur Bidang Umum Universitas Lampung;
5. Hari Kaskoyo, S.Hut., M.P., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Lampung;
6. Prof. Dr. Ir. Dermiyati. M.Agr.Sc., selaku pembimbing utama atas kesediaannya memberikan bimbingan, perhatian, saran, dan kritik dalam proses penyelesaian tesis ini;
7. Dr. Alimuddin, S.Si., M.Si., selaku pembimbing kedua atas kesediaannya memberikan bimbingan, saran, dan kritik dalam proses penyelesaian tesis ini;
8. Dr. Melya Riniarti, S.P., M.Si., selaku pembimbing ketiga atas kesediannya memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian tesis ini;
9. Prof. Dr. Ir. Sri Yusnaini, M.Si., selaku penguji utama atas kesediannya memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian tesis ini;
10. Ir. M. A. Syamsul Arif, M.Sc., Ph.D., selaku penguji anggota atas kesediannya memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian tesis ini;

11. Prof. Ir. Maria Viva Rini, M.Agr.Sc., Ph.D., yang telah memberikan izin dan rekomendasi kepada penulis untuk melanjutkan studi.
12. Seluruh dosen dan staf administrasi Magister Ilmu Lingkungan yang telah memberikan ilmu dan bimbingan selama perkuliahan dan penyusunan tesis ini.
13. PT. *Great Giant Pineapple* yang telah memberikan izin dan kesempatan untuk bergabung dalam penelitian ini.
14. Tim Riset and Development PT. GGP Bapak Akhmad Syaifudin, S.P., Fransiska Dina, S.P, Adha Maulana, S.P, dan Agung Rahmadi S.P., serta tim analisis lab tanah atas bantuan dan bimbingan selama pengambilan data.
15. Tim Penelitian GGP-Unila Ibu Winih S. Ramadhani, S.P., M.P., Bintang, Reynaldi, Natasya, Julia, Divani, Vina, Wulan dan Irsyadi.
16. Kedua orang tua penulis papa Sugiarto (Alm), mama Sumarni, om Syamsul Hadi, kakak Resta Yulia Sari, S.H dan kakak Mustopa serta ketiga ponakan tersayang (Rizka, Rizqina dan Rizqiana) yang selalu memberikan dukungan, kasih sayang, doa, dan motivasi.
17. PT. Myco Agro Lestari yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melanjutkan studi.
18. “*Myco Family*” Retta R. Rias, S.P., dan keluarga, Mbak Anggun D. Puspitasari, S.P., Ahmad Asyiri, Puput Azizah, S.P., dan Andika Dwi Saputra, S.P., yang selalu memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis.
19. Keluarga besar MIL 2022 Novitasari, Adella, Dody, Aya, Egi, Anita, Ayu, Cici, Isna, Nisa, Decci, Luqe, Aga, Ai, Irfan, Raja, dan Budiman yang telah membantu selama perkuliahan dan penyusunan tesis ini.
20. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini.

Penulis sangat mengapresiasi segala dukungan dan bantuan yang telah diberikan, meskipun penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan tesis ini. Semoga Allah SWT dapat membalas segala kebaikan kalian semua. Semoga tesis ini dapat bermanfaat dan berguna bagi ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 03 Juni 2025

Novri Dwi Damayanti

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	5
1.3 Kerangka Pemikiran.....	6
1.4 Hipotesis.....	12
II. TINJAUAN PUSTAKA	13
2.1 Kerusakan Tanah Perkebunan.....	13
2.2 Olah Tanah.....	14
2.3 Kompos	15
2.3.1 Kotoran Sapi	16
2.3.2 Limbah Nanas.....	17
2.3.3 Biochar Bambu	18
2.3.4 Vermikompos	19
2.3.5 <i>Liquid Organic Biofertilizer (LOB)</i>	20
2.4 Ekosistem Tanah	21
2.4.1 Biomassa Karbon Mikroorganisme Tanah (C-mik)	22
2.4.2 Emisi CO ₂ Tanah secara Biologis (Respirasi Tanah)	23
2.4.3 Mesofauna Tanah.....	24
2.5 Tanaman Nanas	25
III. METODE PENELITIAN	28
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	28
3.2 Bahan dan Alat.....	28
3.3 Rancangan Penelitian.....	28

3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	30
3.4.1 Pengolahan Lahan	30
3.4.2 Penanaman.....	32
3.4.3 Pemeliharaan Tanaman.....	32
3.4.4 Pengambilan Sampel Tanah	32
3.5 Variabel Pengamatan	33
3.5.1 Variabel Ekosistem Tanah	34
3.5.2 Variabel Sifat-Sifat Tanah	40
3.5.3 Variabel Pertumbuhan Tanaman Nanas	41
3.6 Analisis Data.....	41
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
4.1 Karakteristik Tanah Awal	42
4.2 Karakteristik Kompos	43
4.3 Pengaruh Olah Tanah dan Aplikasi Pupuk Kompos terhadap C-mik Tanah pada Tanaman Nanas	45
4.4 Pengaruh Olah Tanah dan Aplikasi Pupuk Kompos terhadap Emisi CO ₂ Tanah secara Biologis (Respirasi Tanah) pada Tanaman Nanas	53
4.5 Pengaruh Olah Tanah dan Aplikasi Pupuk Kompos terhadap Jumlah Mesofauna Tanah pada Tanaman Nanas	59
4.6 Pengaruh Olah Tanah dan Aplikasi Pupuk Kompos terhadap Indeks Keanekaragaman Mesofauna Tanah pada Tanaman Nanas	66
4.7 Pengaruh Olah Tanah dan Aplikasi Pupuk Kompos terhadap Indeks Dominansi Mesofauna Tanah pada Tanaman Nanas.....	72
4.8 Pengaruh Olah Tanah dan Aplikasi Pupuk Kompos terhadap Kadar Air Tanah pada Tanaman Nanas	74
4.9 Pengaruh Olah Tanah dan Aplikasi Pupuk Kompos terhadap Suhu Tanah pada Tanaman Nanas	77
4.10 Pengaruh Olah Tanah dan Aplikasi Pupuk Kompos terhadap pH Tanah pada Tanaman Nanas.....	81
4.11 Pengaruh Olah Tanah dan Aplikasi Pupuk Kompos terhadap C-organik Tanah pada Tanaman Nanas	82
4.12 Pengaruh Olah tanah dan Aplikasi Pupuk Kompos terhadap Pertumbuhan Tanaman Nanas Umur 90 HST	86
4.13 Uji Korelasi Kadar Air, Suhu, C-organik Tanah dengan C-mik, Mesofauna dan Emisi CO ₂ Tanah secara Biologis (Respirasi Tanah) pada Tanaman Nanas.....	88
V. SIMPULAN DAN SARAN	94
5.1 Simpulan	94
5.2 Saran	95

DAFTAR PUSTAKA	96
LAMPIRAN	116

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Variabel Penamatan Penelitian	34
2. Kriteria Indeks Keanekaragaman <i>Shannon-Wiener</i>	39
3. Hasil Analisis Tanah Awal	42
4. Hasil Analisis Kompos	43
5. Ringkasan hasil analisis ragam pengaruh olah tanah dan aplikasi kompos terhadap C-mik tanah pada tanaman nanas	47
6. Pengaruh Olah tanah terhadap C-mik tanah pada tanaman nanas pada waktu pengamatan setelah aplikasi kompos sebelum tanam (ST)	48
7. Pengaruh aplikasi kompos terhadap C-mik tanah pada tanaman nanas waktu pengamatan 14 HST	49
8. Pengaruh interaksi olah tanah dan aplikasi kompos terhadap C-mik tanah pada tanaman nanas waktu pengamatan 30 HST	50
9. Pengaruh interaksi olah tanah dan aplikasi kompos terhadap C-mik tanah pada tanaman nanas waktu pengamatan 90 HST	51
10. Ringkasan hasil analisis ragam pengaruh olah tanah dan aplikasi kompos terhadap emisi CO ₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) pada tanaman nanas	56
11. Pengaruh interaksi olah tanah dan aplikasi kompos terhadap emisi CO ₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) pada tanaman nanas waktu pengamatan 30 HST	57
12. Pengaruh interaksi olah tanah dan aplikasi kompos terhadap emisi CO ₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) pada tanaman nanas waktu pengamatan 90 HST	58

13. Ringkasan hasil analisis ragam pengaruh olah tanah dan aplikasi kompos terhadap jumlah mesofauna tanah pada tanaman nanas	62
14. Pengaruh aplikasi kompos terhadap jumlah mesofauna tanah pada tanaman nanas waktu pengamatan sebelum tanam (ST).....	63
15. Pengaruh interaksi olah tanah dan aplikasi kompos terhadap jumlah mesofauna tanah pada tanaman nanas waktu pengamatan 14 HST....	64
16. Pengaruh interaksi olah tanah dan aplikasi kompos terhadap jumlah mesofauna tanah pada tanaman nanas waktu pengamatan 90 HST....	65
17. Ringkasan hasil analisis ragam pengaruh olah tanah dan aplikasi kompos terhadap indeks keanekaragaman mesofauna tanah pada tanaman nanas	66
18. Ringkasan hasil analisis ragam pengaruh olah tanah dan aplikasi kompos terhadap indeks dominansi mesofauna tanah pada tanaman nanas	73
19. Ringkasan hasil analisis ragam pengaruh olah tanah dan aplikasi kompos terhadap kadar air tanah pada tanaman nanas	75
20. Pengaruh olah tanah terhadap kadar air tanah pada tanaman nanas waktu pengamatan setelah 30 HST dan 60 HST	75
21. Pengaruh aplikasi kompos terhadap kadar air tanah pada tanaman nanas waktu pengamatan sebelum tanam (ST)dan 14 HST.....	76
22. Ringkasan hasil analisis ragam pengaruh olah tanah dan aplikasi kompos terhadap suhu tanah pada tanaman nanas	78
23. Pengaruh olah tanah terhadap suhu tanah pada tanaman nanas waktu pengamatan setelah 30 HST.....	78
24. Pengaruh aplikasi kompos terhadap suhu tanah pada tanaman nanas waktu pengamatan sebelum tanam (ST)	79
25. Pengaruh interaksi olah tanah dan aplikasi kompos terhadap suhu tanah pada tanaman nanas waktu pengamatan 60 HST	80
26. Ringkasan hasil analisis ragam pengaruh olah tanah dan aplikasi kompos terhadap pH tanah pada tanaman nanas	81
27. Ringkasan hasil analisis ragam pengaruh olah tanah dan aplikasi kompos terhadap C-organik tanah pada tanaman nanas	83

28.	Pengaruh interaksi olah tanah dan aplikasi kompos terhadap C-organik tanah pada tanaman nanas waktu pengamatan 60 HST	83
29.	Pengaruh interaksi olah tanah dan aplikasi kompos terhadap C-organik tanah pada tanaman nanas waktu pengamatan 90 HST	84
30.	Ringkasan hasil analisis ragam pengaruh olah tanah dan aplikasi kompos terhadap pertumbuhan tanaman nanas umur 90 HST	86
31.	Pengaruh olah tanah terhadap jumlah akar serabut tanaman nanas umur 90 HST.....	87
32.	Ringkasan uji korelasi antara kadar air, suhu, pH, C-organik dengan C-mik, mesofauna, dan emisi CO ₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) pada pertanaman nanas	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Skema alur pemanfaatan limbah	3
2. Diagram alir kerangka pemikiran.....	11
3. Proses kerusakan sifat fisika kimia biologi dan ekologi tanah disebabkan oleh faktor antropogenik dan sifat alami	13
4. Waktu dan metode pemupukan berdasarkan pertumbuhan tanaman nanas.....	27
5. Tata letak percobaan.....	29
6. Alat <i>chopper berty</i> (a) dan <i>chopper lu</i> (b)	30
7. Implemen bajak <i>disc plow</i> dengan mesin traktor (a), <i>mouldboard plow</i> dengan mesin <i>bulldozer</i> (b), dan howard dengan mesin traktor.....	31
8. Linimasa pelaksanaan penelitian.....	33
9. Pelaksanaan fumigasi dalam desikator dengan menggunakan <i>kloroform</i> (CHCl_3) sebanyak 30 ml	35
10. Skema pelaksanaan inkubasi tanah untuk menangkap atau fiksasi CO_2 yang ada dalam toples	36
11. Skema pelaksanaan ekstraksi mesofauna tanah	39
12. Dinamika C-mik tanah setelah perlakuan olah tanah dan aplikasi kompos seluruh waktu pengamatan	45
13. Dinamika emisi CO_2 tanah secara biologis (respirasi tanah) setelah perlakuan olah tanah dan aplikasi kompos seluruh waktu pengamatan	53

14.	Dinamika jumlah mesofauna tanah setelah perlakuan olah tanah dan aplikasi kompos pada seluruh waktu pengamatan	60
15.	Indeks keanekaragaman mesofauna tanah berdasarkan perlakuan	68
16.	Ordo dan populasi mesofauna tanah yang teramati setelah perlakuan olah tanah dan aplikasi kompos	69
17.	Mesofauna tanah tanah pada pertanaman nanas. a-d) Ordo Acarina, e) Ordo Collembola, f) Ordo Hymenoptera, g) Ordo Symphyla, h) Ordo Diptera, i) Ordo Araneae.....	70
18.	Indeks dominansi mesofauna tanah pada semua perlakuan	73
19.	Korelasi antara kadar air tanah dan emisi CO ₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) pada pengamatan 14 HST	90
20.	Korelasi antara kadar air tanah dan emisi CO ₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) pada pengamatan 60 HST	90
21.	Korelasi antara suhu tanah dan emisi CO ₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) pada pengamatan 14 HST	91
22.	Korelasi antara suhu tanah dan emisi CO ₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) pada pengamatan 60 HST	91
23.	Korelasi antara pH tanah dan emisi CO ₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) pada pengamatan 30 HST	92
24.	Korelasi antara pH tanah dan emisi CO ₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) pada pengamatan 60 HST	92
25.	Korelasi antara kadar air tanah dan jumlah mesofauna tanah pada pengamatan 90 HST	93

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

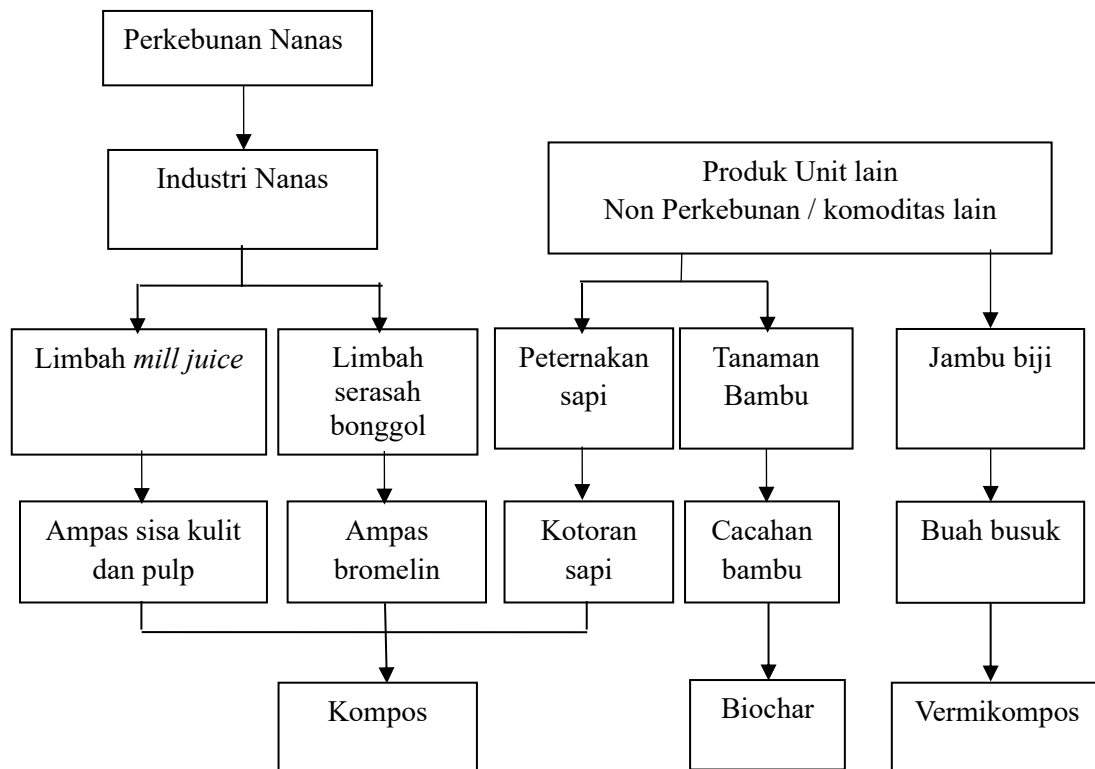
Nanas (*Ananas comocus*) masih menjadi salah satu andalan ekspor buah Indonesia. Produksi nanas di Indonesia mencapai 3,15 juta ton dengan Provinsi Lampung berkontribusi 22,90% dari produksi nasional. Tingginya produksi nanas di Lampung karena adanya PT *Great Giant Pineapple* (PT. GGP), perusahaan berbasis pertanian dengan kegiatan utama berupa perkebunan nanas dan pabrik pengalengan nanas. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), produksi nanas di Lampung tahun 2023 mengalami penurunan yaitu 722.847 ton dibandingkan tahun 2022 (861.706 ton). Tingginya produksi buah nanas sangat berkaitan dengan ketersediaan hara dalam tanah (Chaudhuri *et al.*, 2016). Sistem olah tanah intensif dan aplikasi agrokimia sintetis di perkebunan monokultur yang dilakukan dalam jangka panjang dapat menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem mikroba tanah, tanah rentan terhadap erosi, dan menurunnya permeabilitas tanah (Herdiyanto dan Setiawan, 2015).

Tanah perkebunan nanas PT. GGP memiliki pH tanah masam, rendahnya kandungan bahan organik dan ketersediaan unsur hara (Cahyono *et al.*, 2020). Hasil penelitian Ramadhani *et al.* (2020), menunjukkan bahwa tanah untuk budidaya nanas memiliki ketersediaan hara rendah dan kejenuhan aluminium tinggi yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Penggunaan pupuk kimia yang pada awalnya dapat meningkatkan produktivitas karena menyediakan unsur hara makro seperti nitrogen, fosfor, dan kalium dalam jumlah yang tepat dan mudah diserap tanaman. Namun, penggunaan pupuk kimia jangka panjang secara berlebihan dan intensif menyebabkan senyawa anorganik seperti nitrat, sulfat, dan klorida menjadi terakumulasi dan dapat membuat tanah menjadi keras dan padat. Tanah yang keras dan kurang porous menghambat pertumbuhan akar dan aktivitas mikroorganisme

tanah sehingga tanah menjadi kurang subur dan produktivitas menurun dalam jangka panjang (Maula *et al.*, 2024).

PT GGP mempunyai beberapa unit operasi saling sinergis menjadi suatu kesatuan operasi yang terintegrasi menerapkan *zerro waste* dalam mewujudkan tekad perusahaan yang berkelanjutan (Sutanto dan Lubis, 2018). PT. GGP mendukung Sustainable Development Goals (SDGs) tujuan 12 melalui berbagai kebijakan dan program berkelanjutan yang fokus pada konsumsi dan produksi bertanggung jawab dengan mengolah limbah organik menjadi pupuk organik untuk perkebunan, mengurangi limbah ke *landfill* dan pemakaian pupuk anorganik hingga 40%, serta memanfaatkan bambu bekas untuk menjadi biochar untuk meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi pupuk kimia hingga 50% (GGP, 2022).

Selain itu, dalam setiap proses produksi nanas menunjukkan fakta bahwa pemanfaatan buah nanas hanya 30%, sedangkan 70%-nya dianggap sebagai limbah (Cleanomic, 2022). Jumlah limbah yang dihasilkan dari pengelolaan tanaman nanas meliputi limbah serasah tanaman 200 t ha^{-1} , limbah serasah bonggol sebesar 40 t hari^{-1} , dan limbah *mill juice* sebesar 4 t hari^{-1} (Herlambang, 2014). Pembuangan langsung limbah organik dapat menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan seperti pencemaran tanah dan air. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah organik merupakan solusi alternatif yang tepat dalam mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan. Adapun alur pemanfaatan limbah yang dilakukan oleh PT. GGP disajikan pada (Gambar 1).



Gambar 1. Skema Alur Pemanfaatan Limbah

Praktik pertanian berkelanjutan yang melibatkan sistem olah tanah yang tepat dan aplikasi bahan organik sangat penting untuk meningkatkan kesuburan tanah dan produksi tanaman nanas di PT GGP. Olah tanah mencakup pemindahan, pembalikan, dan pencampuran tanah sehingga meningkatkan porositas tanah untuk aerasi air dan udara. Dalam jangka pendek olah tanah intensif bersifat positif bagi tanaman. Namun, dalam jangka panjang pengolahan secara intensif dapat menyebabkan tanah rentan mengalami erosi sehingga kandungan bahan organik dan unsur hara akan makin berkurang (Dahmayanti *et al.*, 2018). Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu dilakukan penambahan pupuk organik ke dalam tanah.

Pemanfaatan limbah organik menjadi kompos merupakan solusi alternatif dalam mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan sehingga dapat bermanfaat dan menjadi produk yang bernilai ekonomi dan ramah lingkungan. Kompos berasal dari senyawa organik tanah yang telah mengalami dekomposisi oleh mikroorganisme pengurai, yang dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah (Bachtiar dan Ahmad, 2019). Pengomposan dapat dilakukan dengan beragam jenis bahan organik, baik tunggal maupun campuran berbagai bahan organik untuk menjadi kompos yang

diinginkan. Aplikasi kompos PT. GGP (kotoran sapi, limbah bromelain, dan cacahan bambu) sebesar 50 t ha^{-1} dapat memperbaiki sifat kimia dan fisik tanah serta meningkatkan hasil panen nanas dibandingkan kontrol tanpa kompos (Cahyono *et al.*, 2020). Namun, iklim tropis Indonesia menyebabkan laju dekomposisi kompos lebih cepat, sehingga kandungan bahan organik tanah cepat terurai dan unsur hara dalam tanah tidak bertahan lama. Untuk itu, diperlukan kombinasi kompos yang diperkaya biochar, vermikompos dan konsorsium mikroba untuk mendukung mineralisasi dan fiksasi unsur hara sehingga siklus nutrisi di tanah menjadi lebih berkelanjutan.

Penambahan bahan organik ke dalam tanah menjadi sumber energi bagi organisme tanah, meningkatkan kapasitas tanah dalam menahan air dan udara sehingga menciptakan lingkungan yang lebih kondusif bagi kehidupan mikroba dan organisme tanah. Kombinasi kompos, biochar, dan konsorsium mikroba meningkatkan C-organik tanah hingga 2,5% dan populasi bakteri hingga $3,1 \times 10^8 \text{ CFU.g}^{-1}$ (Arifin *et al.*, 2022). Kombinasi biochar 30 t ha^{-1} + vermikompos 20 t ha^{-1} meningkatkan respirasi mikroba ($4,36 \text{ mg C-CO}_2.\text{g}^{-1} \text{ tanah}$) dan jumlah bakteri pelarut fosfat (Rahmawati *et al.*, 2024). Aktivitas mikroba yang meningkat dapat mempercepat proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik, sehingga unsur hara seperti nitrogen, fosfor, dan unsur mikro dilepaskan dalam bentuk yang tersedia bagi tanaman. Selain itu, organisme tanah juga membantu dalam penguraian senyawa organik kompleks dan meningkatkan kandungan bahan organik di tanah yang berdampak pada kestabilan ekologi tanah (Febriana dan Susilastuti, 2024).

Tingginya aktivitas organisme tanah berpotensi meningkatkan laju emisi CO_2 dari tanah, terutama melalui proses respirasi dan dekomposisi bahan organik. Namun, hubungan ini sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti kondisi lingkungan (suhu dan kelembaban) serta metode pengelolaan tanah yang diterapkan. Jika semakin banyak karbon disimpan dalam tanah sebagai karbon organik, maka akan mengurangi jumlah karbon yang ada di atmosfer sehingga membantu untuk mengurangi masalah pemanasan global dan perubahan iklim. Sekuestrasi karbon ke dalam tanah akan mendorong perubahan penting dalam pengelolaan lahan melalui peningkatan kandungan bahan organik, dan memiliki efek langsung yang signifikan terhadap sifat-sifat tanah dan dampak positif pada kualitas lingkungan pertanian dan

keanekaragaman hayati (Siringoringo, 2014). Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk mengetahui efektivitas olah tanah dan aplikasi kompos yang tepat dalam memperbaiki ekosistem tanah melalui peningkatan aktivitas organisme tanah dan pengaruhnya terhadap emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) serta pertumbuhan tanaman nanas yang dihasilkan sehingga dapat digunakan dalam pengambilan keputusan budidaya tanaman nanas secara berkelanjutan di PT GGP.

Berdasarkan latar belakang dan masalah yang telah diajukan maka dilaksanakan suatu penelitian untuk menjawab masalah yang dirumuskan dalam pertanyaan sebagai berikut:

1. Apakah sistem olah tanah mempengaruhi ekosistem dan emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) di lahan perkebunan nanas pada fase pertumbuhan vegetatif awal?
2. Apakah aplikasi kompos mempengaruhi ekosistem dan emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) di lahan perkebunan nanas pada fase pertumbuhan vegetatif awal?
3. Apakah terdapat interaksi antara sistem olah tanah dan aplikasi kompos terhadap ekosistem emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) di lahan perkebunan nanas pada fase pertumbuhan vegetatif awal?
4. Apakah sistem olah tanah dan aplikasi kompos mempengaruhi pertumbuhan vegetatif awal tanaman nanas?
5. Apakah terdapat korelasi antara sifat-sifat tanah dengan ekosistem dan emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) di lahan perkebunan nanas pada fase vegetatif awal?

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan identifikasi dan perumusan masalah, tujuan penelitian dirumuskan sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh sistem olah tanah terhadap ekosistem dan emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) di lahan perkebunan nanas pada fase pertumbuhan vegetatif awal.

2. Menganalisis pengaruh aplikasi kompos terhadap ekosistem dan emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) di lahan perkebunan nanas pada fase pertumbuhan vegetatif awal.
3. Menganalisis pengaruh interaksi antara sistem olah tanah dan aplikasi kompos terhadap ekosistem dan emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) di lahan perkebunan nanas pada fase pertumbuhan vegetatif awal.
4. Menganalisis pengaruh sistem olah tanah dan aplikasi kompos terhadap pertumbuhan vegetatif awal tanaman nanas.
5. Menganalisis korelasi sifat-sifat tanah dengan ekosistem dan emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) di lahan perkebunan nanas pada fase vegetatif awal.

1.3 Kerangka Pemikiran

Nanas merupakan buah tropis yang tidak mengenal musim ini menjadi salah satu buah primadona di Indonesia. Potensi nanas yang besar di Indonesia ini tercermin pada produksi PT. GGP yang dapat memanen lebih dari satu juta nanas setiap tahun untuk diolah menjadi produk nanas kalengan. Tanaman nanas mulai ditanam secara monokultur pada tahun 1980. Kerusakan tanah tidak dapat dihindari pada lahan perkebunan nanas akibat sistem budidaya monokultur yang berlangsung lama dengan penggunaan lahan dan pemakaian pupuk kimia secara intensif menyebabkan penurunan kesuburan tanah pada lahan produksi nanas PT. GGP (Ramadhani dan Nuraini 2018).

Menurut Cahyono *et al.* (2019), tanah pada perkebunan nanas di Lampung Tengah mempunyai kisaran pH tanah 3,97 - 4,76 , kandungan karbon organik tanah dan unsur hara yang rendah, serta kandungan Al³⁺ dan Fe³⁺ yang tinggi. Penggunaan olah tanah intensif telah menyebabkan rusaknya struktur dan agregat tanah, yang berdampak pada meningkatnya pemadatan tanah, serta menurunnya kapasitas infiltrasi dan kemampuan tanah dalam menahan air (Al-Musyafa *et al.*, 2016). Hal ini dapat menghambat pertumbuhan akar tanaman dan mengurangi ketersediaan air bagi tanaman yang mempengaruhi produktivitas tanaman. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya perbaikan seperti praktik olah tanah yang tepat dan aplikasi bahan

organik yang sesuai untuk memperbaiki ekosistem tanah melalui peningkatan aktivitas organisme tanah sebagai indikator kesuburan tanah.

Olah tanah merupakan salah satu kegiatan fisik dan mekanik dalam persiapan lahan budidaya tanaman yang bertujuan untuk memecah bongkah tanah menjadi remah sehingga akan meningkatkan porositas tanah yang memungkinkan laju pergerakan air dalam tanah dan memperbaiki aerasi sehingga akar dapat tumbuh dengan baik (Chairani *et al.*, 2015). Pada penelitian ini olah tanah secara intensif dilakukan pembajakan sedalam 30 cm (standar budidaya tanaman) dan 40 cm (lebih dalam). Olah tanah lebih dalam bertujuan untuk membuat tanaman lebih tahan terhadap perubahan iklim dan memitigasi kehilangan hasil panen yang disebabkan oleh kekeringan. Pembajakan dalam bersifat amelioratif pada lahan subur dalam menyerap karbon (Schneider, 2017).

Dengan olah tanah, bahan organik berupa sisa tanaman yang tertinggal akan tercampur masuk ke dalam tanah. Sebuah studi pendahuluan menunjukkan bahwa budidaya nanas di daerah tropis dan subtropis menghasilkan produk limbah (daun dan batang) sekitar 90-150 ton ha⁻¹ setelah panen (Liu, 2013). Pada penelitian sebelumnya, proses pencacahan residu nanas menggunakan *chopper* bertujuan mempercepat proses penguraian sisa tanaman nanas dan berfungsi sebagai penutup permukaan tanah sehingga dapat mengurangi proses evaporasi dan *splash erosion* akibat curah hujan yang tinggi (Sutanto dan Lubis, 2018). Namun, residu nanas ini memerlukan waktu lebih dari 35 minggu untuk dekomposisi ketika langsung dimasukkan ke dalam tanah (Liu *et al.*, 2013). Lamanya proses penguraian ini disebabkan karena ukuran pencacahan yang kurang halus dari limbah batang dan daun nanas sehingga mengering tidak terbenam ke dalam tanah dengan baik. Pada penelitian ini, pada olah tanah lebih dalam (40 cm) pencacahan limbah batang dan daun nanas dibuat lebih kecil dan ditanamkan ke dalam tanah sehingga diharapkan dapat cepat terdekomposisi.

Olah tanah menyebabkan agregat-agregat tanah lebih rentan terhadap benturan butiran air hujan dan air limpasan, sehingga tanah lebih rawan terhadap proses erosi. Olah tanah dengan tanpa pemberian mulsa menunjukkan terjadi penurunan kandungan bahan organik tanah sebesar 0,13%, sedangkan pada tanah yang

diberikan mulsa mengalami kenaikan kandungan bahan organik hingga 0,58% (Latief *et al.*, 2015). Hasil penelitian menunjukkan kompos yang dihasilkan dari daun nanas dan kotoran sapi memiliki kandungan N sebesar 2,86%, kadar abu 0,93% dan kadar air 33,47% lebih rendah dibandingkan kompos organik komersil (Fodzilah *et al.*, 2021). Penambahan bahan organik berupa kompos kotoran sapi dan limbah cair nanas mengalami penurunan C-organik sebesar 23% pada 60 hari setelah tanam (Ramadhani *et al.*, 2022). Hal ini menunjukkan bahwa kompos cepat terdekomposisi sehingga diperlukan tambahan amelioran bahan organik lain untuk menjaga agar unsur hara tidak mudah hilang akibat pencucian (*leaching*) dan tetap tersedia dalam jangka waktu lebih lama.

Selama ini penelitian tentang penggunaan pembenah tanah alami baik kompos, biochar, vermikompos, dan konsorsium mikroba secara tunggal dan komposit sudah banyak dilakukan. Biochar tidak mudah termineralisasi di dalam tanah karena kandungan karbon yang tinggi. Ketika biochar ditambahkan ke tanah yang telah diberi pupuk, kandungan karbon meningkat dari 0,93 menjadi 1,25%, sedangkan kadar air meningkat dari 18 menjadi 23% (Agegnehu *et al.*, 2015). Dalam kondisi lapangan, integrasi biochar dan kompos berdampak positif terhadap unsur hara tanah dan air serta kapasitas penyimpanan dibandingkan dengan biochar dan kompos diterapkan secara tunggal (Mensah dan Frimpong, 2018; Trupiano *et al.*, 2017).

Degradasi limbah nanas (kulit, mahkota, dan inti) dapat dilakukan melalui proses *vermicomposting* dengan kandungan nitrogen total berada diantara 1,2% dan 2,2% serta C/N rasio dibawah 20 sebagai syarat vermikompos berkualitas tinggi (Gonzalez *et al.*, 2019). Vermikompos mempunyai kemampuan daya simpan unsur hara dalam jangka waktu yang lama, memiliki porositas tanah 24% lebih tinggi dibandingkan tanah yang tidak dipupuk dan kapasitas menahan air yang tinggi dibandingkan kompos konvensional karena kandungan humus yang dimilikinya dapat mengurangi kebutuhan air irigasi sebesar 30-40% (Chaudhuri *et al.*, 2016). Penambahan 5% biochar meningkatkan kualitas kompos dan menstimulasi aktivitas cacing tanah vermikompos. Namun dosis biochar yang tinggi tidak cocok untuk pengomposan vermikompos karena dapat menghambat aktivitas cacing tanah (Wu *et al.*, 2023). Aplikasi kompos dan mikroorganisme *Pseudomonas fluorescens* + *Trichoderma harzianum* dapat meningkatkan nilai pH, N, P tersedia, K_{dd} tanah, dan jumlah

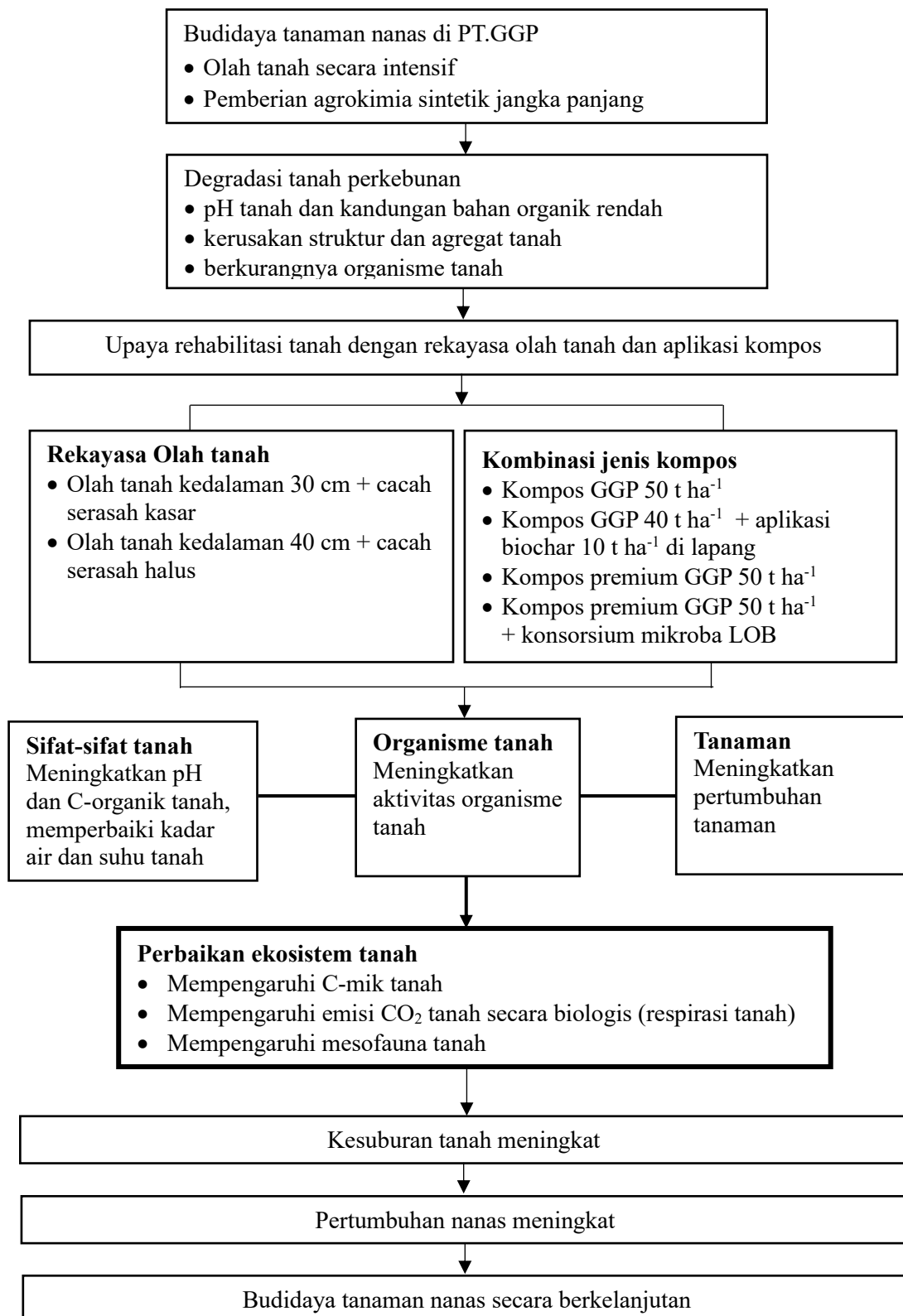
populasi bakteri serta menurunkan nilai berat volume tanah aluvial (Mangunsong *et al.*, 2020). Formula kompos yang diperkaya inokulan mikroba seperti Bakteri Pelarut P (*Pseudomonas* sp.), bakteri *Rhizobium leguminosorum*, jamur *Trichoderma* sp. dan *Aspergillus* sp. dapat meningkatkan hasil panen 15-30% untuk wortel, 65 -90% untuk brokoli dan 10% pada jagung (Antonius *et al.*, 2015).

Penambahan bahan organik ke dalam tanah sebagai sumber energi bagi organisme tanah sehingga dapat memperbaiki sifat biologi tanah berupa meningkatnya populasi dan aktivitas mikroba dalam tanah, meningkatnya ketersediaan hara, siklus hara tanah serta pembentukan pori makro dan pori mikro oleh organisme tanah (Hartatik *et al.*, 2015). Interaksi antara berbagai organisme, seperti bakteri, jamur, dan mikroorganisme lain yang berperan dalam proses dekomposisi dan penguraian sisa organik menjadi unsur-unsur yang dapat digunakan oleh tanaman merupakan aspek penting dari ekologi tanah (Simarmata, 2012).

Aktivitas organisme tanah memiliki peran yang sangat penting dalam menjaga ekosistem tanah dan mempengaruhi respirasi tanah. Respirasi tanah adalah proses biologis di mana organisme tanah (akar tanaman, mikroba, dan hewan tanah) menguraikan bahan organik dan melepaskan CO₂ sebagai hasil metabolisme mereka. Ketika bahan organik terurai, karbon yang tersimpan dalam bentuk senyawa organik dilepaskan kembali ke atmosfer sebagai CO₂. Penelitian menunjukkan bahwa dekomposisi yang lebih cepat dari aktivitas mikroba dapat menyebabkan peningkatan emisi CO₂ dari tanah (Alskaf *et al.*, 2021). Namun, laju emisi CO₂ dari tanah ini sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti kondisi lingkungan (suhu dan kelembaban) serta metode pengelolaan tanah yang diterapkan.

Aplikasi kompos menjadi praktik pengelolaan pertanian yang efektif dalam adaptasi perubahan iklim dengan tidak hanya mempertahankan bahan organik namun juga meningkatkan biomassa mikroba tanah, dan penyimpanan C tanah, dan juga menggantikan beberapa pupuk mineral yang dapat mengurangi emisi gas rumah kaca. Mitigasi dan adaptasi perubahan iklim melalui inovasi pertanian yang ramah lingkungan, seperti penggunaan pupuk organik, biochar, dan pengelolaan tanah yang berkelanjutan untuk menjaga kesuburan tanah dan mengurangi pencemaran lingkungan sesuai dengan SDGs tujuan 13 dalam sektor pertanian.

Penelitian kompos yang diperkaya biochar, vermikompos dan konsorsium mikroba sebagai satu kesatuan baru dan pengaruhnya terhadap tanah belum banyak ditelaah dan belum dilakukan pengujian tingkat efektivitas pada pertanaman nanas di lahan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian efektivitas olah tanah dan aplikasi kompos kombinasi yang diperkaya biochar, vermikompos, dan konsorsium mikroba terhadap ekosistem tanah dan emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) sehingga hasil dari penelitian ini dapat digunakan dalam penentuan keputusan manajemen lahan dalam budidaya tanaman nanas secara berkelanjutan. Berdasarkan teori yang telah dikemukakan, maka skema kerangka pemikiran dapat dilihat pada (Gambar 2).



Gambar 2. Diagram alir kerangka pemikiran

= variabel diamati

1.4 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

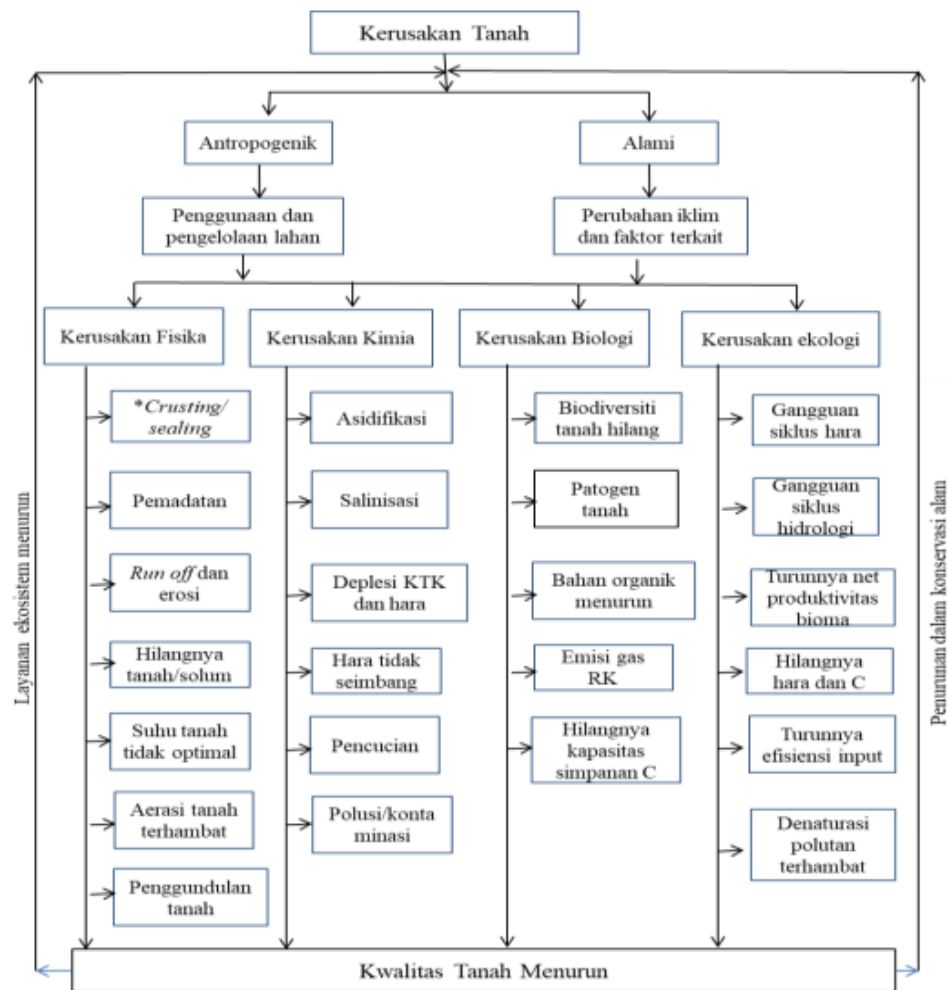
1. Sistem olah tanah kedalaman 40 cm + masukkan cacah serasah halus mempengaruhi ekosistem dan emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) di lahan perkebunan nanas pada fase pertumbuhan vegetatif awal.
2. Aplikasi kompos premium + konsorsium mikroba LOB mempengaruhi ekosistem dan emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) di lahan perkebunan nanas pada fase pertumbuhan vegetatif awal.
3. Terdapat interaksi antara sistem olah tanah dan aplikasi kompos terhadap ekosistem dan emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) di lahan perkebunan nanas pada fase pertumbuhan vegetatif awal.
4. Sistem olah tanah dan aplikasi kompos mempengaruhi pertumbuhan vegetatif awal tanaman nanas.
5. Terdapat korelasi antara suhu tanah, kadar air, pH tanah dan C-organik terhadap ekosistem dan emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) di lahan perkebunan nanas pada fase pertumbuhan vegetatif awal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kerusakan Tanah Perkebunan

Kerusakan tanah adalah menurunnya fungsi tanah sebagai tempat akar untuk menjalar, sebagai sumber unsur hara bagi tumbuhan, dan sebagai tempat air tersimpan. Kerusakan tanah tidak dapat dihindari terjadi pada lahan perkebunan disebabkan oleh pengelolaan lahan secara konvensional dengan penggunaan alat berat, pembajakan tanah berlebihan, tidak ada pengendalian erosi dan tidak ada pengembalian bahan organik sehingga menyebabkan hilangnya bahan organik tanah, meningkatnya aliran permukaan, dan erosi (Hafif, 2020).

Kerusakan sifat fisika, kimia, biologi dan ekologi tanah disebabkan oleh faktor antropogenik dan sifat alami (Gambar 3). Faktor antropogenik adalah kerusakan tanah akibat campur tangan manusia dalam mengelola habitat, sedangkan faktor alam adalah kerusakan tanah akibat sifat-sifat alami seperti, kemiringan lereng, iklim dan sifat tanah yang secara umum *fragil* terhadap kerusakan. Kerusakan sifat fisika tanah mengakibatkan terjadinya kerusakan seperti *sealing (crusting)*, pemadatan, *run off* dan erosi, hilangnya solum tanah, suhu tanah meningkat karena kandungan bahan organik rendah, dan aerasi tanah terhambat. Kerusakan sifat kimia tanah ditandai dengan pengasaman, salinisasi, penurunan kapasitas tukar kation (KTK), peningkatan toksisitas Al atau Mn, defisiensi Ca atau Mg, dan denaturasi polutan. Kerusakan sifat biologi tanah mengakibatkan berkurangnya simpanan karbon organik tanah (SOC), hilangnya keanekaragaman hayati tanah, berkurangnya kapasitas penyerapan C tanah, dan peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) dari tanah ke atmosfer. Kerusakan ekologi tanah merupakan kombinasi dari kerusakan sifat-sifat tanah yang menyebabkan gangguan pada fungsi ekosistem seperti siklus unsur, gangguan siklus hidrologi, dan penurunan produktivitas (Lal, 2015).



Gambar 3. Proses kerusakan sifat fisika, kimia, biologi dan ekologi tanah disebabkan oleh faktor antropogenik dan sifat alami

2.2 Olah tanah

Olah tanah merupakan upaya menyiapkan tanah agar berfungsi sebagai media tumbuh yang optimal bagi tanaman. Ruang lingkup olah tanah meliputi kegiatan pembersihan lahan (*land clearing*) dari tumbuhan yang tidak diinginkan, pembalikan tanah dan penghancuran tanah menjadi partikel-partikel kecil, *treatment* terhadap tanah seperti penambahan bahan organik atau bahan kimia, pembentukan akhir seperti bedengan dan guludan (Hartono dan Wibowo, 2018).

Olah tanah dilakukan dengan beberapa metode berdasarkan tingkat kepadatan tanah dan tingkat porositas tanah yang diinginkan. Olah tanah yang biasa dilakukan antara lain olah tanah konvensional dan olah tanah konservasi. Olah tanah maksimum (konvensional) diharapkan meningkatkan porositas tanah secara maksimum, sehingga pori tanah mampu menyimpan air dan udara serta akar tanaman dapat

tumbuh berkembang secara sempurna. Olah tanah konservasi dikelompokkan menjadi olah tanah minimum dan tanpa olah tanah. Olah tanah minimum bertujuan untuk meningkatkan keefisienan olah tanah dengan hanya mengolah bagian tanah yang akan ditanami saja dalam radius terjangkau untuk akar tanaman tumbuh berkembang. Sedangkan tanpa olah tanah digunakan bila tanah cukup subur dan tidak terlalu padat, sehingga masih memungkinkan air dan udara tersedia dengan baik untuk memenuhi kebutuhan biologi tanah dan akar tanaman. Manfaat dari olah tanah antara lain menyiapkan tanah untuk tanaman, mengontrol pertumbuhan dan mematikan gulma, hama, dan penyakit dalam tanah, mencampur sisa tanaman yang tertinggal ke dalam tanah, menyatukan beberapa jenis pupuk atau pestisida akan lebih efektif bila dicampur dengan tanah, memperbaiki sifat fisika tanah, dan mengurangi erosi tanah (Salam, 2020).

2.3 Kompos

Kompos adalah pupuk organik buatan manusia yang berasal dari proses pembusukan sisa-sisa tanaman ataupun hewan. Kompos terbentuk karena ada interaksi antar organisme pengurai yang bekerja di dalamnya. Organisme pengurai antara lain jamur, bakteri, aktinomisetes, dan cacing tanah. Pengomposan dengan bantuan organisme pengurai bertujuan untuk menurunkan C/N bahan organik agar sesuai dengan rasio C/N tanah yaitu 20. Peran organisme pengurai yaitu meningkatkan kandungan bahan organik tanah, mempertahankan dan meningkatkan kesuburan tanah pertanian yang dapat diukur secara fisik, kimia dan biologi. Secara fisik, kompos dapat memperbaiki struktur dan sifat tanah. Tanah yang semula padat menjadi gembur dan tanah berpasir menjadi lebih kompak. Struktur tanah yang baik menjadikan difusi oksigen dan penyerapan air lebih mudah. Secara kimia, pemberian kompos dalam jangka panjang akan memperbaiki pH tanah dan meningkatkan hasil. Kompos mengandung humus dan sumber zat hara (N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu) secara lengkap meskipun dalam jumlah relatif kecil. Secara biologi, penambahan kompos akan memacu perkembangan mikroorganisme baik di dalam tanah (Surahman *et al.*, 2022).

Potensi limbah dari PT. GGP cukup besar, sehingga jika limbah tidak dimanfaatkan akan menyebabkan pencemaran lingkungan. Dalam mengelola kesuburan tanah dan menjaga produktivitas tanah secara berkelanjutan, PT GGP melakukan aplikasi

kompos untuk mendukung pertumbuhan dan produktivitas tanaman secara optimal. Kompos yang digunakan memiliki komposisi sebagai berikut:

2.3.1 Kotoran sapi

Kotoran sapi merupakan salah satu limbah organik yang sangat potensial untuk diolah menjadi pupuk kompos. Kotoran sapi sebagai pupuk organik dapat mengurangi limbah yang dianggap tidak berguna dan mengurangi pencemaran lingkungan. Pemanfaatan limbah ini memberikan nilai tambah ekonomi dan manfaat agronomis bagi pertanian. Selain itu, mengurangi kebutuhan akan pupuk kimia yang memiliki dampak buruk bagi lingkungan. Limbah kotoran sapi sebagai kompos dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan daya serap air, memperbaiki aerasi serta meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah sehingga pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik, dan mengurangi pencemaran lingkungan, sehingga mendukung pertanian berkelanjutan (Muzammil *et al.*, 2023).

Kotoran sapi merupakan sumber bahan organik yang baik untuk kesuburan tanah. Limbah kotoran sapi dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu limbah padat dan cair. Jumlah limbah kotoran sapi segar sebesar 100-140 t hari⁻¹ dengan limbah padat 40 t hari⁻¹ dan limbah cair 120 m³ hari⁻¹. Limbah kotoran sapi padat mempunyai kandungan unsur hara 31,34 % C-organik, 3,31 % N total, 0,99 % P total, 4,28 % K total, 197,36 ppm Ca total, 50,03 ppm Mg total, 3,13 % asam humat, 8,23 % asam fulvat. Limbah kotoran sapi cair mempunyai kandungan unsur hara 0,88 % C-organik, 1,21 % N total, 0,42 % P total, 0,62 % K total, 6,11 ppm Ca total, 1,85 ppm Mg total, 0,09 % asam humat, 0,21 % asam fulvat (Herlambang, 2014).

Pemberian kotoran sapi sebanyak 10 t ha⁻¹ dapat meningkatkan kesuburan tanah dan menambah unsur hara penting tanaman seperti total N, P tersedia, K dapat ditukar, Ca, Mg, S tersedia, Zn, B, dan kandungan bahan organik (Zaman *et al.*, 2017). Pemberian kompos kotoran sapi dosis 10 t ha⁻¹ terbukti meningkatkan parameter pertumbuhan tanaman seperti tinggi tanaman, jumlah daun, panjang tongkol, bobot kering tanaman, dan hasil produksi tanaman jagung (Pranoto *et al.*, 2021).

2.3.2 Limbah Nanas

Semakin meningkatnya produksi nanas, maka limbah yang dihasilkan juga akan semakin meningkat. Menurut (Herlambang, 2014), proses pengelolaan tanaman nanas menghasilkan berbagai limbah antara lain:

1. Limbah serasah tanaman nanas, berasal dari penghancuran tanaman (*chopping*) setelah tanaman tidak lagi memproduksi buah nanas. Hasil limbah serasah tanaman sebesar 200 t ha⁻¹. Pemanfaatan limbah serasah tanaman di perkebunan nanas dengan membiarkan hasil penghancuran tanaman berada pada hamparan permukaan tanah.
2. Limbah serasah bonggol (bromelin), berasal dari hasil sisa bonggol tanaman nanas yang diproses menghasilkan *enzym bromelin*. Jumlah limbah serasah bonggol sebesar 40 t hari⁻¹ dengan kadar air 60 %.
3. Limbah *mill juice*, merupakan limbah hasil proses pengolahan juice nanas yang dikemas dalam kaleng untuk diekspor ke berbagai negara. Sumber limbah *mill juice* berasal dari perasan kulit buah nanas dan tongkol daging buah nanas yang menghasilkan bentuk cairan. Jumlah limbah *mill juice* sebesar 4 t hari⁻¹.

Limbah pengalengan nanas merupakan hasil sampingan dari industri pengolahan buah nanas yang terdiri dari kulit, mahkota, pucuk dan hati dari buah nanas. Jumlah limbah buah nanas mencapai 60% dari total produksi buah nanas. Proporsi limbah pengalengan nanas terdiri dari 56% kulit, 17% mahkota, 15% pucuk, 7% hati, dan 5% ampas nanas. Limbah nanas, baik hasil pengalengan maupun limbah tanaman dapat dimanfaatkan karena mengandung enzim proteolitik yaitu bromelin yang merupakan enzim protease yang mampu memecah protein (Oktaviani, 2017).

Tanaman nanas menghasilkan sekitar 90 - 150 t ha⁻¹ limbah daun dan batang setelah panen buah. Studi pendahuluan (Liu, 2013), menunjukkan bahwa residu nanas segar mengandung 678,6 g bahan organik kg⁻¹, 10,7 g N total kg⁻¹, 0,8 g P₂O₅ kg⁻¹ dan 11,4 g K₂O kg⁻¹. Menurut Pardo *et al.*, (2014), limbah nanas mempunyai kandungan kimia polimer yang sulit didekomposisi. Kandungan pada daun nanas diantaranya selulosa 43,53 %, hemiselulosa 21,88 % dan lignin 13,88 %, sedangkan kandungan pada bonggol nanas adalah selulosa 24,53 %, hemiselulosa 28,53 %, dan lignin 5,78 %.

Lignin, selulosa dan polifenol merupakan senyawa kompleks yang sulit terurai sehingga membuat bahan ini dapat bertahan lama di dalam tanah (Saidy, 2018).

Pengembalian residu nanas yang dikomposkan menurunkan kepadatan massa tanah, meningkatkan P dan K yang tersedia, dan memperbaiki sifat biokimia tanah, sehingga menghasilkan pertumbuhan tanaman nanas yang lebih baik (Liu, 2013). Menggabungkan limbah organik segar dan aplikasi limbah nanas kalengan dapat meningkatkan ketersediaan karbon dan nutrisi tanah, sehingga meningkatkan kesuburan tanah (Herlambang, 2019). Limbah nanas sebagai kompos berpotensi untuk menjaga kesuburan tanah dan meningkatkan produktivitas pertanian pada pertanian organik petani kecil di Uganda (Zziwa, 2017). Kompos limbah nanas meningkatkan pH tanah, unsur hara makro, dan unsur hara mikro, sehingga menghasilkan pertumbuhan tanaman dan hasil okra yang lebih baik (Kamaruddin *et al.*, 2023).

2.3.3 Biochar Bambu

Bambu adalah rumput berkayu yang termasuk dalam keluarga *Poaceae*, yang banyak ditemukan di hutan dan di daerah pedesaan, serta di lahan pertanian dan tepian sungai. Bambu memiliki kebutuhan nutrisi yang minimal, relatif cepat tumbuh, dan setelah tumbuh, bambu tumbuh dengan kekuatan yang tak tertandingi, menggunakan akarnya yang kuat untuk meningkatkan permukaan air dan menahan erosi. Bambu mempunyai kemampuan untuk tumbuh di hampir semua iklim dan siap dipanen dalam 3-5 tahun dibandingkan dengan tanaman berkayu lainnya membuatnya menjadi tanaman yang lebih serbaguna (Ahmad *et al.*, 2021).

PT. GGP menanam bambu yang awalnya untuk konservasi air di kebun, kemudian memanfaatkan bambu untuk penahan pohon pisang, setelah habis masa pakai di kebun pisang digunakan untuk pembuatan biochar yang akan di campur dengan kompos. Setiap bulan, GGP menghasilkan bambu *propping reject* sebanyak 600 ton, *BE waste* 350 ton, dan bambu *eks propping* mencapai 250 ton. Biochar bambu adalah bahan arang aktif yang dihasilkan dari proses pirolisis bambu, yaitu proses pembakaran tanpa oksigen yang mengubah bambu menjadi arang aktif.

Kandungan biomassa bambu *Dendrocalamus giganteus* Munro yaitu selulosa 47,5 %, hemiselulosa 15,35 %, lignin 26,25 %, silika 0,70 %. Hasil analisis menunjukkan bahwa biochar bambu mempunyai kandungan karbon yang tinggi, 82,1 %, kandungan abu 3,9 %, kandungan 0,54 % N, kandungan 2,72 % H. Tingginya kandungan karbon dari biochar menguntungkan dalam hal memaksimalkan jumlah penyimpanan karbon dan dapat digunakan sebagai sumber energi atau untuk adsorpsi polutan dalam tanah (Hernandez-Mena *et al.*, 2014).

Biochar bambu memiliki beberapa sifat antara lain daya adsorpsi tinggi, struktur yang porus, dan kandungan karbon yang stabil. Biochar bambu memiliki daya adsorpsi yang tinggi, yang membuatnya efektif dalam mengurangi pencemaran lingkungan pertanian. Biochar bambu memiliki struktur yang sangat porus memungkinkannya untuk menyerap dan menyimpan air serta nutrisi. Biochar bambu memiliki kandungan karbon yang stabil dan bertahan dalam tanah selama beberapa dekade dapat digunakan sebagai pembenah tanah untuk meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi emisi gas rumah kaca (Chaturverdi *et al.*, 2021).

Manfaat biochar bambu antara lain mengurangi pencemaran lingkungan pertanian dengan menyerap polutan kimia dan logam berat, meningkatkan kandungan karbon tanah, meningkatkan kelimpahan komunitas mikroba, meningkatkan kesuburan tanah dengan menyerap dan menyimpan hara, serta meningkatkan aerasi dan retensi air, dan mengurangi emisi gas rumah kaca karena menyerap karbon dioksida dan mengurangi kebutuhan pupuk sintetis (Alfei dan Pandoli, 2024).

2.3.4 Vermikompos

Vermikompos secara sederhana berarti kompos yang dibuat dengan bantuan cacing tanah atau produk penguraian sampah organik dengan bantuan cacing tanah. Cacing tanah mengkonsumsi bahan organik, dicerna dan melewati usus dan dikeluarkan dalam bentuk butiran kecil. Butiran ini berwarna hitam pekat dengan kandungan nutrisi, porositas, aerasi dan mempunyai kapasitas menahan air yang tinggi sehingga kaya akan aktivitas mikroba dan zat pengatur tumbuh (Shinde *et al.*, 2020).

Limbah jambu biji merupakan substansi organik yang dapat dimanfaatkan untuk pembuatan kompos, menyebutkan bahwa nisbah C/N limbah jambu biji sebesar

37,81 memenuhi kriteria, namun bila dilihat dari kadar nitrogennya kecil yaitu 0,89%, sehingga dalam pembuatan kompos perlu ditambahkan bahan yang mengandung nitrogen yang lebih tinggi. Sedangkan kadar C-organik dalam limbah jambu biji tinggi yaitu sekitar 35,65% (Sriharti dan Salim, 2008).

2.3.5 *Liquid Organic Biofertilizer (LOB)*

Liquid organic biofertilizer atau pupuk organik hayati cair yang dapat dijadikan solusi alternatif untuk perbaikan lahan pertanian dengan memulihkan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah agar lebih produktif kembali. Adapun beberapa keunggulan dari LOB, antara lain mempertahankan dan meningkatkan kesuburan lahan pertanian yang berkerlanjutan, meningkatkan produksi pertanian dan hasil panen mudah dalam aplikasi dan ramah lingkungan serta efisiensi pemakaian pestisida kimia dan pupuk organik (Sutanto dan Lubis, 2018).

Liquid organic biofertilizer mengandung berbagai macam mikroorganisme (bakteri dan jamur) yang menguntungkan. Berikut ini merupakan beberapa mikroorganisme yang digunakan adalah:

1. *Aspergillus* sp. berfungsi sebagai dekomposer yang efisien. Jamur ini mampu menguraikan bahan organik yang mati, seperti daun, akar, dan sisa-sisa tanaman menjadi senyawa yang lebih sederhana. Dalam penelitian *Aspergillus* sp. terbukti efektif dalam pengomposan, jamur ini membantu mempercepat proses dekomposisi tandan kosong kelapa sawit, sehingga menghasilkan kompos yang kaya akan hara (Sakiah, 2024).
2. *Azospirillum* sp. (*N-fixer*) mengandung enzim nitrogenase dapat berperan sebagai mikroba penambat nitrogen non-simbiotik, menghasilkan hormon IAA (*Indole Acetic Acid*), melarutkan fosfat, dan mikro-aerobik yang hidup bebas atau asosiasi dengan akar tanaman (Cassan *et al.*, 2020).
3. *Azotobacter* sp. berperan sebagai mikroba penambat N non-simbiotik, menghasilkan enzim nitrogenase, mensintesis hormon tumbuh seperti IAA (*Indole Acetic Acid*) yang merangsang pertumbuhan akar (Sumbul *et al.*, 2020)
4. *Bacillus* sp. menghasilkan berbagai jenis asam organik seperti asam sitrat, asam oksalat, asam suksinat, dan asam glukonat. Asam-asam ini bereaksi dengan ion logam seperti Ca^{2+} , Fe^{3+} , dan Al^{3+} yang mengikat fosfat, sehingga membebaskan ion fosfat yang terikat. *Bacillus* juga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman

dengan merangsang sistem ketahanan tanaman dan meningkatkan ketersediaan nutrisi di dalam tanaman (Iqbal *et al.*, 2024).

5. *Pseudomonas* sp. memiliki kemampuan untuk melarutkan fosfat yang terikat dalam tanah, sehingga membuatnya lebih tersedia untuk diserap oleh akar tanaman (Citraresmini dan Bachtiar, 2017). *Pseudomonas* sp. juga dapat memproduksi hormon pertumbuhan tanaman, seperti auksin yang berkontribusi pada stimulasi pertumbuhan akar dan peningkatan penyerapan air dan nutrisi oleh tanaman (Putra *et al.*, 2020).
6. *Trichoderma* sp. berperan sebagai organisme pengurai dan agensi hayati. Agen hayati *Trichoderma* sp. mampu mendekomposisi lignin, selulosa, dan kitin dari bahan organik menjadi unsur hara yang siap diserap tanaman (Jumadi *et al.*, 2021).
7. *Beauveria* sp. Jamur entomopatogen yang berperan sebagai agen hayati dalam pengendalian hama serangga pada tanaman. *Beauveria* berperan sebagai biopestisida alternatif yang efektif dan ramah lingkungan untuk mengendalikan berbagai hama serangga dan dikenal karena virulensinya dan kemampuannya untuk menargetkan berbagai serangga hama pertanian (Wahjono *et al.*, 2024).

2.4 Ekosistem Tanah

Ekosistem tanah adalah sistem kompleks yang terdiri dari komunitas organisme tanah (mikroorganisme, fauna tanah) dan lingkungan abiotiknya (mineral, bahan organik, air, udara) yang saling berinteraksi untuk mempertahankan fungsi ekologis penting seperti siklus nutrisi, dekomposisi bahan organik, dan pembentukan struktur tanah. Ekosistem ini mendukung pertumbuhan tanaman, mengatur kualitas air, serta berperan dalam mitigasi perubahan iklim (Brussaard *et al.*, 2007).

Ekosistem tanah merupakan kunci utama dalam kesehatan tanah untuk menunjang pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Kunci utama dalam ekosistem tanah yang sehat adalah adanya aliran energi dalam jaringan makanan di dalam tanah dan pasokan substrat organik sebagai sumber energi kimia bagi organisme dekomposer utama (*primary decomposer*). Organisme dekomposer memiliki peranan dan fungsi yang khusus dalam mempertahankan kualitas tanah seperti kesuburan fisik, kimia dan biologi tanah, sehingga menjadikan tanah tersebut optimal untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Fungsi tanaman berperan penting dalam menghasilkan

biomassa sebagai sumber energi atau substrat melalui proses fotosintesis dan menyediakan tempat yang ideal bagi pertumbuhan dan perkembangan organisme tanah. Dari kegiatan tersebut terdapat suatu hubungan yang harmonis antara produsen, konsumen dan pengurai dengan faktor abiotik maupun hubungan sesama faktor biotik dalam tanah.

Komponen biotik dari ekosistem pertanian dapat dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu: (1) produsen: organisme tumbuhan dan mikroba yang mampu menyerap sinar matahari sebagai sumber energi dan CO₂ sebagai sumber karbon melalui proses fotosintesis untuk menghasilkan biomassa organik terjadi proses perubahan energi magnetik menjadi energi kimia yang disimpan dalam ikatan senyawa hidro karbon atau senyawa organik; (2) konsumen: organisme yang mengkonsumsi senyawa organik untuk memenuhi kebutuhan energinya; dan (3) destruen atau pengurai (dekomposer) : mikroba yang merombak senyawa organik yang sudah mati dari tanaman, hewan, limbah organik dari perkotaan maupun industri untuk mendapatkan energi dan nutrisi melalui proses respirasi atau fermentasi. Pemahaman ekologi biota dalam ekosistem pertanian merupakan kunci utama dalam pertanian berkelanjutan atau pertanian ramah lingkungan (*environmentally friendly agriculture*). (Simarmata *et al.*, 2012).

Ekosistem tanah adalah suatu sistem ekologi yang terbentuk oleh interaksi antara komponen biotik (makhluk hidup seperti mikroorganisme, fauna tanah, tumbuhan) dan komponen abiotik (tanah itu sendiri, air, mineral, udara) yang saling mempengaruhi dalam lingkungan tanah. Beberapa bagian penting dari ekosistem tanah meliputi:

2.4.1 Biomassa Karbon Mikroorganisme Tanah (C-mik tanah)

Mikroorganisme tanah merupakan salah satu faktor penting dalam ekosistem tanah yang berpengaruh terhadap siklus dan ketersediaan hara tanaman serta stabilitas struktur tanah. Menurut Saidy (2018), mikroorganisme memegang peranan yang sangat penting di dalam tanah melalui dua peranan, yaitu sebagai agen yang melaksanakan degradasi residu tanaman yang membebaskan unsur hara dan CO₂, dan sebagai salah satu sumber hara (*labile pool of nutrients*). Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi biomassa mikroorganisme berupa ketersediaan unsur hara, pH

tanah, aerasi, ketersediaan air, dan bahan organik. Selain itu, penggunaan lahan yang berbeda juga akan mempengaruhi kandungan biomassa mikroorganisme dan berpengaruh terhadap perubahan kuantitas dan kualitas bahan organik.

Menurut Susilawati (2013), biomassa C-mik merupakan salah satu indikator kesuburan tanah. C-mik merupakan total karbon dari mikroorganisme tanah yang selalu berkaitan dengan kesuburan tanah. Total mikroorganisme yang tinggi dikarenakan adanya akumulasi bahan organik. Bahan organik merupakan sumber energi bagi mikroorganisme. Lahan dengan kandungan bahan organik yang tinggi maka jumlah mikroorganisme yang terkandung dalam tanah tersebut juga tinggi.

Pengelolaan tanah yang baik untuk meningkatkan aktivitas mikroorganisme, yang berkontribusi pada peningkatan C-mik. Sistem olah tanah yang berbeda, seperti olah tanah minimum dan olah tanah intensif, memiliki dampak yang signifikan terhadap biomassa C-mik pada pertanaman ubi kayu (Tabroni *et al.*, 2018). Selain itu, penggunaan mulsa juga dapat meningkatkan C-mik dengan menjaga kelembaban tanah dan menyediakan bahan organik yang diperlukan oleh mikroorganisme (Pauza *et al.*, 2016).

2.4.2 Emisi CO₂ Tanah secara Biologis (Respirasi Tanah)

Emisi karbon dioksida (CO₂) dari tanah merupakan salah satu aspek penting dalam studi perubahan iklim dan kesehatan ekosistem. Emisi CO₂ tanah secara biologis terjadi sebagai hasil dari respirasi mikroorganisme, dekomposisi bahan organik, dan aktivitas akar tanaman.

Dalam penelitian Sitorus dan Sembiring (2012), pengukuran emisi CO₂ dilakukan pada berbagai dosis kompos dengan hasil menunjukkan bahwa emisi CO₂ bervariasi tergantung pada jenis dan dosis kompos yang diterapkan. Misalnya, aplikasi kompos cacing dengan dosis 5 kg m⁻² menghasilkan emisi CO₂ sebesar 0,53 mgCO₂ m⁻² jam⁻¹, sedangkan dosis yang lebih tinggi menghasilkan emisi yang lebih besar. Penggunaan bahan organik seperti kompos dapat mempengaruhi laju emisi CO₂ dari tanah dan pengelolaan yang tepat dapat membantu mengurangi emisi tersebut.

Penelitian lain oleh Farida *et al.* (2020), menunjukkan bahwa emisi CO₂ dari lahan gambut dapat meningkat seiring dengan penurunan kedalaman muka air tanah, yang menunjukkan bahwa pengelolaan kelembaban tanah sangat penting dalam mempengaruhi emisi CO₂ tanah. Meskipun penelitian ini berfokus pada lahan gambut, prinsip yang sama dapat diterapkan pada lahan kering, di mana kelembaban tanah juga mempengaruhi respirasi tanah dan emisi CO₂ tanah yang dihasilkan.

Selain itu, penelitian oleh Adriany *et al.*, (2018), menunjukkan bahwa penggunaan amelioran, seperti pupuk kandang dapat menurunkan emisi CO₂ pada lahan gambut yang ditanami nanas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanpa pemberian amelioran, emisi CO₂ tanah dapat mencapai 1803 kg ha⁻¹ tahun⁻¹, sedangkan dengan pemberian amelioran dapat mengurangi emisi CO₂ tanah. Hal ini menunjukkan bahwa praktik pengelolaan yang baik, termasuk penggunaan pupuk organik dapat mengurangi emisi CO₂ dari tanah.

2.4.3 Mesofauna Tanah

Mesofauna tanah merupakan kelompok organisme yang berukuran antara 0,2 hingga 2 mm dan memainkan peran penting dalam ekosistem tanah. Mesofauna berkontribusi pada proses dekomposisi bahan organik dan pengaturan kesuburan tanah. Mereka membantu memecah bahan organik, seperti sisa-sisa tanaman dan hewan, menjadi bentuk yang lebih sederhana yang dapat digunakan oleh mikroorganisme lain dan tanaman (Kusumastuti *et al.*, 2022).

Keberadaan mesofauna tanah sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan yaitu faktor abiotik dan faktor biotik. Faktor abiotik yang mempengaruhi mesofauna tanah adalah pH, C-organik, aerasi, porositas, olah tanah yang baik dan suhu optimal 15-25°C. Kandungan bahan organik tanah merupakan faktor lingkungan abiotik yang sangat penting bagi keberlangsungan hidup mesofauna tanah (Harahap *et al.*, 2016).

Keanekaragaman mesofauna tanah juga dipengaruhi oleh kandungan karbon organik tanah. Lesthyana (2023), menemukan bahwa keanekaragaman mesofauna di perkebunan karet berkorelasi positif dengan kandungan C-organik tanah. Hal ini menunjukkan bahwa pengelolaan tanah yang baik, termasuk pemupukan dan

penggunaan bahan organik, dapat meningkatkan keberagaman mesofauna, yang berkontribusi pada kesehatan ekosistem tanah.

Namun, mesofauna tanah rentan terhadap perubahan lingkungan, seperti penggunaan pestisida dan perubahan dalam praktik pengelolaan tanah. Penelitian (Nugroho *et al.*, 2021), menunjukkan bahwa aplikasi pupuk dan asam humat dapat mempengaruhi populasi dan keanekaragaman mesofauna tanah, yang menunjukkan bahwa pengelolaan yang tidak tepat dapat merugikan komunitas mesofauna. Oleh karena itu, penting untuk menerapkan praktik pertanian yang ramah lingkungan untuk menjaga keberadaan mesofauna tanah.

2.5 Tanaman Nanas

Nanas (*Ananas comosus* L. Merr) adalah tanaman tropis, monokotil dan herba tahunan dari keluarga Bromeliaceae dengan sekitar 50 marga dan 2000 spesies yang telah diketahui. Tanaman nanas dapat berproduksi pada rentang ketinggian tempat 50 - 1.000 meter di atas permukaan laut (dpl). Nanas dapat tumbuh pada kisaran tanah yang luas, dengan kesesuaian tinggi pada tanah lempung berpasir sampai liat berpasir, banyak mengandung bahan organik, drainase baik, dengan pH optimal 4,5-6,5. Iklim temperatur optimum berkisar 21 - 27 °C, dengan suhu minimum 16 °C. Tanaman nanas membutuhkan curah hujan sekitar 1.500 - 3.000 mm per tahun dan kelembaban udara 70-80%. Faktor iklim yang menentukan pertumbuhan dan kualitas buah nanas adalah cahaya matahari dan ketersediaan air. Paparan cahaya matahari rendah, mengakibatkan pertumbuhan terhambat, buah kecil, kadar asam tinggi, dan kadar gula buah rendah. Sedangkan paparan cahaya matahari berlebih menyebabkan kulit buah terbakar. Ketersediaan air rendah, terutama pada fase perkembangan buah menyebabkan ukuran buah lebih kecil (Kementrian Pertanian, 2020).

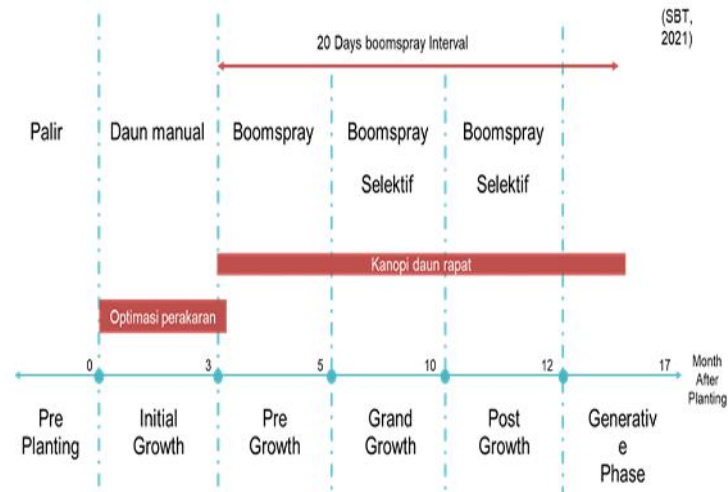
Menurut USDA (2017), klasifikasi tanaman nanas adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae (Tumbuhan)
 Sub kingdom : Tracheobionta (Tumbuhan Berpembuluh)
 Superdivisi : Spermatophyta (Tumbuhan Berbiji)
 Divisi : Magnoliophyta (Tumbuhan Berbunga)
 Kelas : Liliopsida (Monokotil)
 Subkelas : Zingiberidae
 Ordo : Bromeliales
 Famili : Bromeliaceae
 Genus : *Ananas* Mill.
 Species : *Ananas comosus* (L)Merr.

Nanas dibudidayakan di tanah masam karena pada tanah alkalin akan menimbulkan banyak masalah terutama rendahnya ketersediaan hara mikro serta meningkatnya serangan *Phytophthora* sp. dan fungi *Phytiaceous* yang menyerang akar serta tunas. Namun, budidaya pada tanah masam juga memiliki banyak masalah antara lain rendahnya ketersediaan P, KTK, kejenuhan basa, maupun kadar bahan organik tanah (Havlin *et al.* 2017). Olah tanah dilakukan dengan cara membalikkan tanah sedalam minimum 20 cm, bila diperlukan dilakukan penggemburan tanah baik secara manual maupun mekanis. Pada lahan-lahan yang kekurangan bahan organik, sebaiknya dtambahkan bahan organik dengan dosis berkisar 5-10 t ha⁻¹, diaduk rata dengan tanah yang sudah dibalik. Pada penanaman dengan menggunakan mulsa dibuat bedengan dengan lebar sesuai ukuran mulsa. Untuk mempermudah proses penanaman dibuat larikan dengan jarak antar larikan sesuai dengan lebar jarak antar baris tanaman. Pada lahan gambut, drainase harus menjadi perhatian utama. Air yang menggenang di sekitar tanaman akan menyebabkan kematian tanaman, baik karena kerusakan fisiologis tanaman maupun karena serangan penyakit (Kementrian Pertanian, 2020).

Nanas memiliki kebutuhan air yang lebih rendah daripada sebagian besar tanaman yang dibudidayakan. Tanaman nanas merupakan tanaman xerofit, yaitu tanaman yang mampu bertahan dalam kondisi kering, jika air dilahan tanam berlebih akan menyebabkan tanaman terganggu. Tanaman nanas juga rentan terhadap phytoptora, untuk pengendalian serangan *phytoptora*, pengendalian nilai pH tanah merupakan

bagian penting dalam proses penyiapan lahan. Pemupukan tanaman nanas harus disesuaikan dengan fase pertumbuhannya (Gambar 4).



Gambar 4. Waktu dan Metode Pemupukan berdasarkan Pertumbuhan Tanaman Nanas (GGF, 2021).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Percobaan ini dilakukan di area perkebunan nanas Plot Riset PT. Great Giant Pineapple, Lampung PG 1 Blok 032 C dengan koordinat 4°48'38.1"LS dan 105°17'04.6". Penyiapan lahan, olah tanah, aplikasi kompos dan penanaman bibit nanas dilakukan pada bulan September-Desember 2023. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada bulan Desember 2023- Maret 2024. Analisis tanah dilaksanakan di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada Desember 2023-Juni 2024, dan Laboratorium Riset PT GGP pada Juni 2024-September 2024.

3.2 Bahan dan Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sekop, kantong plastik, ring sampel, apparatus *berlese tullgren*, mikroskop stereo, cawan petri, buret, desikator, botol film, gelas beaker, gelas ukur, erlenmeyer, pipet tetes, botol film, kertas label, alat tulis, buku tulis, dan *handphone*.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain sampel tanah, kompos, biochar, vermikompos dan konsorsium mikroba LOB terdiri dari: *Trichoderma*, *Bacillus* sp (MPF), *Pseudomonas* sp (MPF), *Azospirillum* sp (N-fixer), *Azotobacter* dan *Beuveria*, aquades, KOH, HCl, *chloroform* (CHCl₃), dan alkohol 70%.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan petak terbagi (*split plot*) yang terdiri dari 8 perlakuan dengan dua faktor dan tiga kelompok.

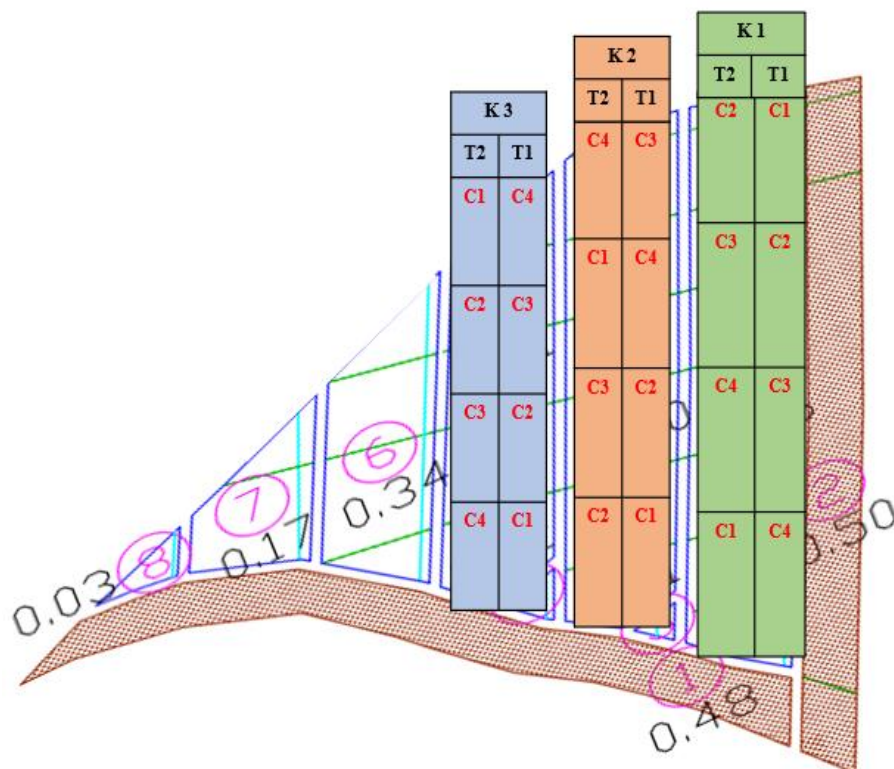
Faktor perlakuan petak utama yaitu olah tanah yang terdiri dari

- T₁ = bajak tanah kedalaman 30 cm + cacah serasah nanas kasar
- T₂ = bajak tanah kedalaman 40 cm + cacah serasah nanas halus

Faktor perlakuan anak petak yaitu aplikasi kompos yang terdiri dari

- C_1 = kompos GGP 50 t ha⁻¹ (98,25 % kompos + 1,75 % biochar)
- C_2 = kompos GGP 40 t ha⁻¹ (98,25 % kompos + 1,75 % biochar) + biochar 10 t ha⁻¹
- C_3 = kompos premium GGP 50 t ha⁻¹ (96,75% kompos + 1,75% biochar + 1,5 % vermikompos)
- C_4 = kompos premium GGP 50 t ha⁻¹ (96,75% kompos + 1,75% biochar + 1,5 % vermikompos) + konsorsium mikroba LOB dengan dosis 40 l ha⁻¹

Kompos yang digunakan adalah limbah kotoran sapi, limbah ampas kulit dan bromelin. Biochar yang digunakan adalah biochar bambu. Vermikompos yang digunakan adalah buah jambu biji busuk. Perlakuan disusun dalam Rancangan Acak Kelompok (RAK), dengan 8 perlakuan dan 3 kelompok sehingga didapatkan sebanyak 24 satuan percobaan. Denah tata letak percobaan dapat dilihat pada (Gambar 5).



Gambar 5. Tata letak percobaan

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Pengolahan Lahan

Pengolahan lahan merupakan step yang sangat penting dalam budidaya tanaman nanas, dengan pengolahan lahan yang baik akan memudahkan dalam perawatan. Pengolahan lahan yang dilakukan PT. GGP merupakan kegiatan yang panjang karena meliputi beberapa aktivitas sebagai berikut:

1. Pembongkaran tanaman

Pembongkaran merupakan aktivitas awal dalam pengolahan lahan di PT. Great Giant Pineapple. Aktivitas pembongkaran tanaman nanas terdiri dari merobohkan dan mencabut tanaman nanas sehingga bonggol tanaman terangkat.

2. Pencacahan bonggol dan serasah tanaman (*chopping*)

Chopping merupakan proses penghancuran sisa tanaman nanas dengan cara dipotong atau dicacah yang telah dipanen. Terdapat dua jenis implemen *chopper* yang dapat digunakan dalam proses *chopping*, yaitu *chopper berty* dan *chopper lu*. *Chopper berty* ialah alat pencacah yang dapat mencacah tanaman yang terdapat pada lahan menjadi halus (Gambar 6a). *Chopper lu tseng* ialah alat pencacah yang berbentuk *rotary* yang berfungsi mencacah tanaman yang terdapat pada lahan dan membenamkan ke tanah hingga kedalaman 15-20 cm (Gambar 6b).



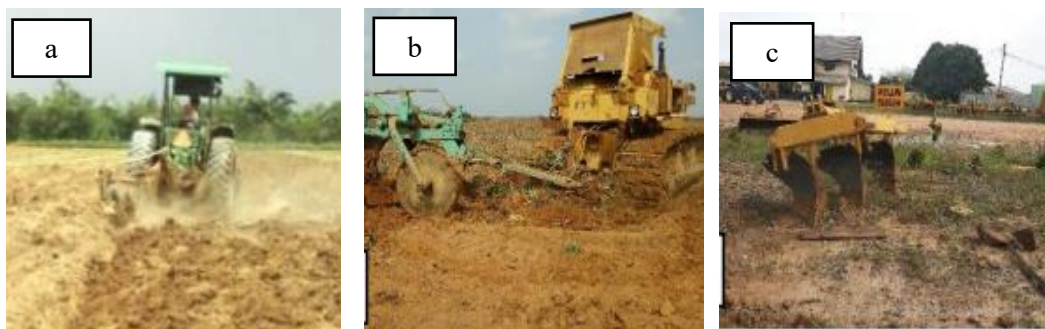
Gambar 6. Alat *chopper berty* (a) dan *chopper lu* (b)

3. Bajak (*plowing*)

Pembajakan dilakukan dengan cara membolak-balikan tanah sebelum diolah.

Tujuan pembajakan untuk memperbaiki fisik tanah seperti infiltrasi, dan aerasi dan menimbun sisa tanaman nanas yang tercacah pada aktivitas *chopping* sehingga serasah sisa tanaman masuk kedalam tanah. Pembajakan dapat diatur kedalamannya sesuai dengan kebutuhan. Aktivitas pembajakan yang dilakukan terbagi menjadi

bajak dangkal dan bajak dalam. Bajak dangkal ialah kegiatan pembalikan tanah dengan kedalaman 30 cm bertujuan untuk memecah agregat tanah menjadi ukuran yang lebih kecil dengan kedalaman sesuai zona perakaran tanaman nanas. Aktivitas bajak dangkal dilakukan dengan menggunakan implemen bajak yaitu *disc plow* dengan mesin traktor (Gambar 7a). Bajak dalam ialah kegiatan pembalikan tanah dengan kedalaman sekitar 40 cm bertujuan untuk membalik tanah bagian atas dan sisa tanaman nanas hasil cacahan dengan lapisan tanah dalam sehingga dapat tercampur dan mempercepat dekomposisi sisa tanaman nanas. Aktivitas bajak dalam dapat dilakukan dengan menggunakan implemen bajak yaitu *mouldboard plow* dengan mesin *bulldozer* (Gambar 7b) maupun *howard* dengan mesin traktor (Gambar 7c).



Gambar 7. Implemen bajak *disc plow* dengan mesin traktor (a), *mouldboard plow* dengan mesin *bulldozer* (b), dan *howard* dengan mesin traktor (c).

4. Penggaruan (*finishing*)

Penggaruan atau *finishing* ialah kegiatan akhir dalam pembajakan tanah. Penggaruan bertujuan untuk menghancurkan bongkahan-bongkahan tanah hasil sisa pengolahan sebelumnya menjadi lebih kecil.

5. Pembuatan gulud (*ridging*)

Ridging ialah kegiatan pembuatan gulud pada lahan. Gulud dibuat dengan jarak antar guludan sekitar 55 cm. Kegiatan pembuatan gulud bertujuan untuk memotong, mengangkat, dan melemparkan tanah ke arah dua sisi, sehingga membentuk gulud (*ridge, bed, atau bust*) menggunakan implemen ridger palir yang dilakukan secara bersama dengan pemberian pupuk dasar pada lahan.

6. Pembuatan jalan dan saluran drainase

Pembuatan jalan dan saluran drainase ialah kegiatan pembuatan jalan dan saluran agar mobilisasi air pada lahan dapat terjaga. Pembuatan jalan dan saluran drainase menggunakan mesin *eskavator* mini. Pembuatan jalan (jalan plot, perimeter, dan seksi) berfungsi sebagai sarana pendukung untuk perawatan tanaman dan inspeksi, serta

kegiatan lain.. Pembuatan saluran drainase (saluran tersier, sekunder, dan saluran sabuk) berfungsi untuk mengalirkan air hujan, sehingga tidak menggenangi tanaman nanas serta menahan laju erosi.

7. Aplikasi kompos sesuai dengan perlakuan yang digunakan

3.4.2 Penanaman

Penanaman dilakukan pada satuan petak percobaan dengan menggunakan bibit *sucker* ukuran sedang. Sebelum dilakukannya penanaman setiap bibit melalui proses dipping. Penanaman bibit nanas dilakukan dalam keadaan tegak agar dapat tumbuh dengan baik. Jarak antar plot perlakuan 0,2 m dan jarak tanam nanas yaitu 27,5 x 50 cm.

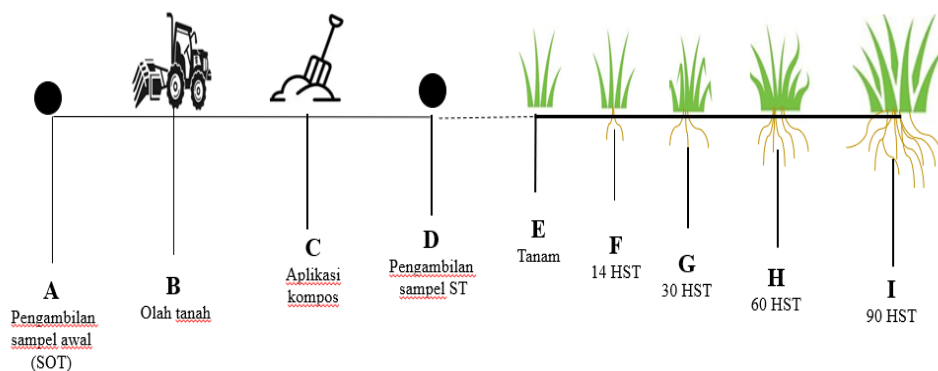
3.4.3 Pemeliharaan Tanaman

Pemeliharaan dilakukan dengan cara penyiraman, penyulaman, pemupukan, pengendalian gulma, pengendalian hama dan penyakit. Penyemprotan pupuk foliar hingga sampai tahap *forcing* dengan mengikuti standar budidaya tanaman PT. *Great Giant Pineapple* (GGP). Pupuk daun diberikan dengan teknik foliar spray setiap 20 hari setelah tanaman berumur tiga bulan. Pupuk yang digunakan yaitu urea, K₂SO₄, MgSO₄, FeSO₄, ZnSO₄, yang dicampurkan dengan air dan diaplikasikan menggunakan dengan penyemprotan langsung ke tanaman.

3.4.4 Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan pada petak percobaan di PT *Great Giant Pineapple* Lampung Tengah untuk analisis C-mik, emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah), dan mesofauna tanah diambil pada pukul 08.00 WIB sampai dengan 12.00 WIB. Pada saat di lapang, sampel tanah tersebut disimpan dalam *cool box* agar mikroorganisme di dalam tanah tidak mati. Setelah itu, tanah dibawa ke laboratorium untuk dianalisis atau tanah disimpan di dalam kulkas jika analisis tidak dilakukan secara langsung setelah pengambilan contoh tanah. Pada sampel tanah diambil juga dilakukan analisis sifat-sifat tanah berupa C-organik, pH, kadar air tanah dan suhu tanah.

Pengambilan sampel tanah dilakukan pada waktu awal sebelum olah tanah (SOT), setelah aplikasi kompos 2 minggu sebelum tanam (ST), 14 HST (Hari Setelah Tanam), 30 HST, 60 HST, dan 90 HST (Gambar 8). Pengamatan dilakukan setelah aplikasi kompos karena pada tahap awal aktivitas metabolisme mikroba sangat tinggi sampai 90 HST fase optimasi perakaran dan belum dilakukan pemupukan sehingga dapat melihat efek dari perlakuan yang diberikan tanpa adanya pengaruh faktor lain yang mempengaruhi kecuali faktor lingkungan.



Gambar 8. Linimasa pelaksanaan penelitian.

A= Pengambilan sampel awal sebelum olah tanah (SOT); B= Sistem olah tanah; C= Aplikasi kompos; D= Pengambilan sampel tanah setelah aplikasi kompos sebelum tanam (ST); E= Penanaman tanaman nanas; F= Pengambilan sampel 14 HST; G= Pengambilan sampel 30 HST; H= Pengambilan sampel 60 HST; I= Pengambilan sampel 90 HST (Hari Setelah Tanam).

3.5 Variabel Pengamatan

Variabel pengamatan pada penelitian ini terdiri atas ekosistem tanah, sifat-sifat tanah dan pertumbuhan tanaman nanas (Tabel 1).

Tabel 1. Variabel Pengamatan Penelitian

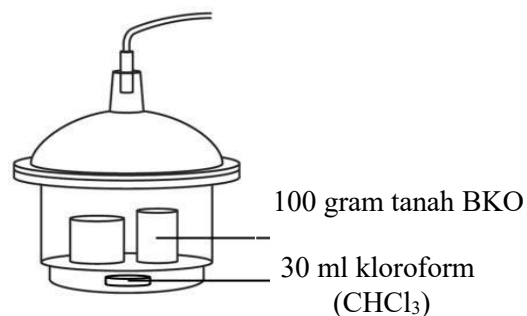
No.	Variabel	Metode	Pengambilan Sampel
1.	Ekosistem tanah		
	- Biomassa karbon mikroorganisme (C-mik)	Fumigasi-Inkubasi	SOT
	- Populasi keanekaragaman mesofauna	dan <i>Berlesse-Tullgren</i>	ST, 14 HST, 30 HST, 60 HST dan 90 HST.
	- Emisi CO ₂ tanah secara biologis (respirasi tanah)	Metode <i>Verstraete</i>	
2.	Sifat-sifat tanah		
	- C-organik	<i>Walkley and Black</i>	SOT
	- pH tanah	Elektromagnetik	ST, 14 HST,
	- Kadar Air Tanah	<i>Gravimetri</i>	30 HST, 60 HST dan
	- Suhu Tanah	Termometer tanah	90 HST.
3.	Pertumbuhan tanaman		
	- Biomassa Akar	<i>Crop destruction</i>	90 HST.
	- Biomassa Batang		
	- Biomassa Daun		

Keterangan: SOT= Sebelum Olah Tanah; ST= Sebelum Tanam;
HST= Hari Setelah Tanam.

3.5.1 Variabel Ekosistem Tanah

3.5.1.1 Biomassa Karbon Mikroorganisme (C-mik).

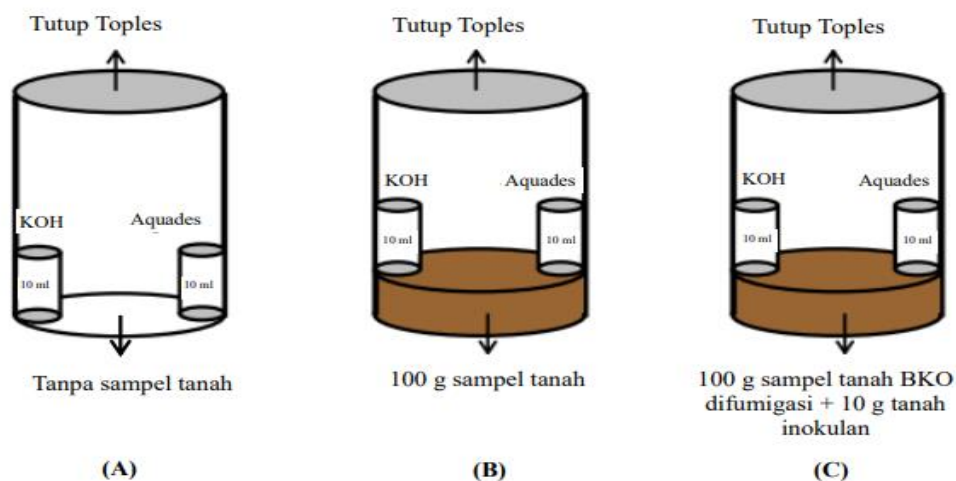
Penetapan biomassa karbon mikroorganisme (C-mik) dilakukan dengan menggunakan metode modifikasi fumigasi-inkubasi oleh Jenkinson dan Powlson 1976 (Widodo *et al.*, 2016). Proses pelaksanaan analisis tanah dilakukan dengan mengeluarkan sampel tanah dari dalam kulkas kemudian tanah tersebut didiamkan pada suhu ruang kurang lebih 25°C selama 1 hingga 2 jam. Setelah suhu normal, tanah ditimbang seberat 100 g tanah berat kering oven (BKO) sebanyak 2 kali penimbangan. Pada 100 g tanah BKO yang pertama digunakan untuk fumigasi dan 100 g tanah BKO yang kedua digunakan sebagai tanah non fumigasi. Kemudian ditimbang juga 10 g segar yang digunakan sebagai tanah inokulan. Setelah ditimbang, sampel tanah non fumigasi dan 10 g tanah inokulan dimasukkan kembali kedalam kulkas selama 2x24 jam. Pada tanah fumigasi 100 g tanah BKO ditempatkan dalam gelas beaker 150 ml. Tanah tersebut kemudian difumigasi menggunakan kloroform (CHCl₃) sebanyak 30 ml dalam desikator yang telah diberi tekanan 50 cm Hg selama 60 menit (Gambar 9). Setelah itu, tanah tersebut dibebaskan dari kloroform dengan menginkubasi di dalam desikator selama 48 jam.



Gambar 9. Pelaksanaan fumigasi dalam desikator dengan menggunakan kloroform (CHCl_3) sebanyak 30 ml.

Pada pelaksanaan inkubasi blanko menggunakan toples 1,5 L yang diberi 2 botol film tanpa tanah (Gambar 10a). Botol film pertama berisi 10 ml KOH 0,5 N dan botol film kedua berisi 10 ml aquades. Toples tersebut kemudian ditutup rapat menggunakan lakban sampai kedap udara dan diinkubasi pada suhu 25°C ditempat gelap selama 10 hari. Pada tanah non fumigasi tanah yang telah ditimbang dikeluarkan dari dalam kulkas dan didiamkan pada suhu ruang 1-2 jam (proses aklimatisasi). Setelah itu, tanah dimasukkan ke dalam toples 1,5 L kemudian diberi 2 botol film yang berisi 10 ml KOH 0,5 N dan 10 ml aquades. Toples tersebut kemudian ditutup rapat menggunakan lakban sampai kedap udara dan diinkubasi pada suhu 25°C ditempat gelap selama 10 hari (Gambar 10b).

Pada tanah yang telah difumigasi dilakukan penambahan 10 g tanah inokulan segar diambil dari dalam kulkas yang telah didiamkan pada suhu ruang selama 30 menit. Tanah 100 g yang telah dibebaskan dari kloroform dan 10 g tanah inokulan dan dicampur secara merata dalam toples. Setelah tanah tercampur rata dimasukkan 2 botol film yang pertama berisi 10 ml KOH 0,5 N dan botol film yang kedua berisi 10 ml aquades (Gambar 10c). Toples tersebut lalu ditutup rapat menggunakan lakban sampai kedap udara dan diinkubasi pada suhu 25°C ditempat gelap selama 10 hari.



Gambar 10. Skema pelaksanaan inkubasi tanah untuk menangkap atau fiksasi CO_2 yang ada dalam toples.

A : Skema pelaksanaan inkubasi untuk blanko.

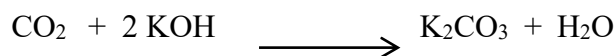
B : Skema pelaksanaan inkubasi untuk non fumigasi.

C : Skema pelaksanaan inkubasi untuk fumigasi.

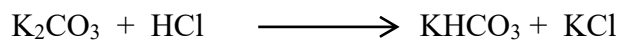
Pelaksanaan inkubasi untuk blanko, inkubasi tanah fumigasi, dan non fumigasi dilakukan secara bersamaan. Setelah 10 hari inkubasi KOH yang ada di dalam toples diambil untuk menentukan kuantitas CO_2 yang diserap dalam alkali. KOH tersebut dituangkan ke dalam Erlenmeyer 250 ml kemudian ditambahkan 2 tetes indikator phenolphthalein lalu dititrasi dengan HCl 0,1 N hingga warna merah muda hilang (warna bening). Volume HCl yang digunakan pada titrasi dicatat sebagai volume awal dalam titrasi. Selanjutnya larutan ditambahkan 2 tetes metil orange kemudian dititrasi kembali hingga warna kuning pada larutan berubah menjadi orange/jingga. Volume HCl yang digunakan pada titrasi tersebut dicatat sebagai volume akhir titrasi. Volume akhir yang diperoleh dari titrasi dikurangi oleh volume awal titrasi yang digunakan sebagai ml HCl metil orange pada sampel (a). Pada perlakuan blanko KOH yang digunakan juga dititrasi sama seperti pada KOH tanah fumigasi maupun non fumigasi. Volume yang diperoleh dari proses titrasi digunakan sebagai ml HCl metil orange untuk blanko (b).

Reaksi kimia pengikat CO₂ pada saat titrasi:

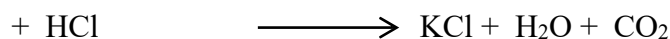
1. Reaksi pengikat CO₂ (inkubasi selama 10 hari)



2. Perubahan warna menjadi tidak berwarna (Indikator Phenolphthalein)



3. Perubahan warna kuning menjadi pink (indikator metil orange) KHCO₃



Biomassa karbon mikroorganisme tanah dihitung dengan rumus:

$$\text{C-mik} = \frac{(\text{mg C} - \text{CO}_2 \text{ tanah kg}^{-1} 10 \text{ hari}) = \frac{(a-b) \times N \times 120}{n} - (\text{mg C} - \text{CO}_2 \text{ kg tanah}^{-1} 10 \text{ hari})_{\text{non-fumigasi}}}{Kc}$$

Keterangan:

C-mik = biomassa karbon mikroorganisme tanah

a = ml HCl metil orange untuk sampel

b = ml HCl metil orange untuk blanko

n = Jumlah hari inkubasi

N = normalitas

Kc = 0,41

3.5.1.2 Emisi CO₂ Tanah secara Biologis (Respirasi Tanah)

Emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) diukur berdasarkan metode modifikasi *Verstraete* (Anas, 1989). Secara ringkas analisis respirasi tanah akan dilakukan dengan memasukkan 100 g tanah segar ke dalam toples yang berisi 10 ml KOH 0,1 N dan 10 ml akuades kemudian ditutup rapat (kedap udara). Tanah diinkubasi selama 7 hari didalam tempat gelap pada suhu ruang, KOH dikeluarkan dari toples dan dititrasi dengan HCl 0,1 N dengan sebelumnya diberi indikator penolptalin. Titrasi selesai setelah warna pink berubah menjadi tidak berwarna. HCl yang dihabiskan untuk titrasi dicatat. selanjutnya larutan hasil titrasi diatas diberi metil orange dan larutan akan berubah menjadi merah. Larutan kemudian dititrasi kembali dengan HCl sampai warna merah berubah menjadi pink. HCl yang digunakan dicatat. Pada kontrol juga dilakukan dengan hal yang sama.

Hasil perhitungan respirasi tanah dapat dilihat pada persamaan seperti berikut:

$$r = \frac{(a - b) \times t \times 1,2 \times 100}{n}$$

Keterangan:

r = jumlah CO₂ yang dihasilkan (C-CO₂)

a = HCl untuk toples dengan contoh tanah (ml)

b = HCl untuk toples tanpa contoh tanah (blanko) (ml)

t = normalitas HCl (N)

n = jumlah hari inkubasi (hari)

100 = 100 g contoh tanah (g)

Nilai 1,2 = dari perhitungan sebagai berikut :

1 ml HCl 0,1 N = 1 × 0,1 = 0,1 me HCl

0,1 me HCl setara 0,1 me CO₂

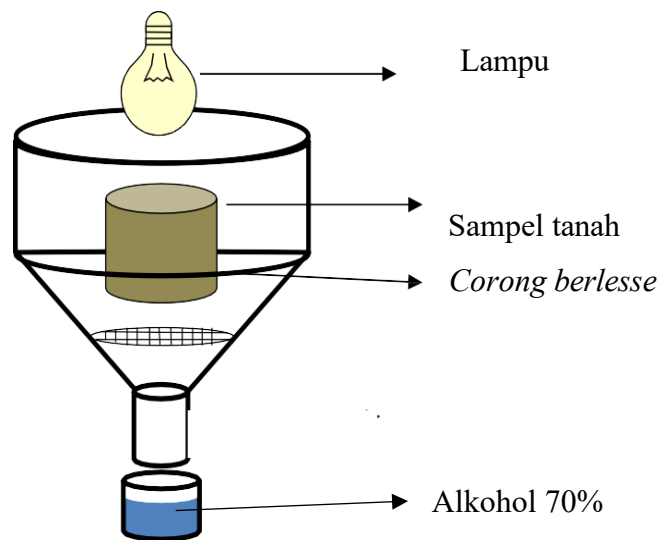
0,1 × 44 mg CO₂ = 4,4 mg CO₂ (berat molekul CO₂ = 44)

C / CO₂ = (12 / 44) × 4,4 mg

= 1,2 mg C-CO₂

3.5.1.3 Mesofauna Tanah

Penentuan populasi dan keragaman mesofauna tanah dilakukan dengan metode ekstraksi tanah dengan menggunakan alat berupa corong *Berlesse-Tullgren*. Perangkat *berlesse-tullgren* merupakan suatu alat yang digunakan untuk perangkap organisme tanah terutama Artropoda pada suatu sampel tanah dengan menyinari sampel tanah di bawah lampu 25 watt selama 48 jam. Bola lampu harus diposisikan tepat diatas tanah, tetapi diusahakan tidak menyentuhnya, sehingga organisme tanah akan menjauh dari suhu yang lebih tinggi dan jatuh ke bagian bawah *berlesse* yaitu botol yang berisi alkohol. Sampel tanah yang berasal dari lahan penelitian diambil menggunakan ring sampel dengan ukuran diameter 6,5 cm dan tinggi 8 cm. Sampel tanah dalam ring sampel kemudian diletakkan di aparatus *berlese-tullgren* yang dibagian bawahnya diletakkan botol film berisi alkohol 70% sebagai penampung mesofauna yang ada (Gambar 11). Fauna tanah yang telah tertampung pada botol penampung kemudian dipisahkan menggunakan mikroskop stereo untuk diidentifikasi serta dihitung jumlah populasinya (Borror *et al.*, 1992).



Gambar 11. Skema pelaksanaan ekstraksi mesofauna tanah

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Mahendra *et al.*, 2017), total populasi mesofauna dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Total populasi mesofauna} = \frac{\text{Jumlah mesofauna tanah (individu)}}{\text{Volume ring sampel (dm}^{-3}\text{)}}$$

Analisis indeks keragaman mesofauna menggunakan perhitungan indeks keanekaragaman jenis (*species diversity*) *Shannon-Wiener* sebagai berikut :

$$H' = - \sum [(n_i / N) \times \ln (n_i / N)]$$

Keterangan :

H' = indeks keanekaragaman *Shannon-Wiener*

N = total individu mesofauna untuk semua spesies

n_i = jumlah mesofauna untuk spesies ke i

Tabel 2. Kriteria Indeks Keanekaragaman *Shannon-Wiener* (Odum, 1983).

Indeks Keanekaragaman	Kriteria Keanekaragaman
$H' \leq 2$	Rendah
$2 \leq H' \leq 3$	Sedang
$H' \geq 3$	Tinggi

Dominansi dihitung dengan menggunakan rumus indeks dominansi dari Simpson (Odum, 1993):

$$D = - \sum [(n_i / N)^2]$$

Keterangan :

D = indeks dominansi Simpson

N = total individu mesofauna untuk semua spesies

n_i = jumlah mesofauna untuk spesies ke i

Dominansi berkisar antara 0 sampai 1, dimana semakin kecil nilai indeks dominansi maka menunjukkan bahwa tidak ada spesies yang mendominasi sebaliknya semakin besar dominansi maka menunjukkan ada spesies tertentu (Odum, 1993).

3.5.2 Variabel Sifat-Sifat Tanah

Variabel sifat-sifat pada penelitian yang digunakan untuk mengetahui korelasi dengan variabel ekosistem tanah adalah :

3.5.2.1 C-organik (Metode *Walkley and Black*)

Kadar C-organik tanah dapat diketahui dengan menganalisis c-organik dilakukan berdasarkan bahan organik yang mudah teroksidasi (Walkley and Black, 1934 dalam Balai Penelitian Tanah, 2009) dengan memberikan $K_2Cr_2O_7$ 1 N dan H_2SO_4 pekat lalu diencerkan dengan aquades ditambahkan asam fosfat pekat, NaF 4% dan indikator difenil amin, kemudian dititrasi dengan ammonium sulfat 0,5 N. %

C-organik dapat diketahui dengan rumus perhitungan:

$$\text{C-organik} = \frac{\text{ml } K_2Cr_2O_7 \times (1 - \frac{V_B}{V_S}) \times 0,3886\%}{\text{Berat sampel tanah}}$$

Keterangan:

V_b = ml titrasi blanko

V_s = ml titrasi sampel

3.5.2.2 pH tanah (Metode Elektromagnetik)

Pengukuran pH tanah dilakukan dengan menggunakan alat pH meter. Perbandingan tanah dan aquades yang digunakan dalam pengukuran pH adalah 1: 2,5. Tanah yang

digunakan dalam pengukuran pH yaitu tanah kering udara lolos ayakan 2 mm (Balai Penelitian Tanah, 2009).

3.5.2.3. Kadar Air Tanah (%) (Metode Gravimetri)

Kadar air tanah diperoleh dengan cara tanah ditimbang sebanyak 10 g kemudian diletakkan ke dalam alumunium foil yang sudah ditimbang dan kemudian ditutup. Lalu sampel tanah tersebut di oven selama 24 jam pada suhu 105°C. Setelah di oven, timbang berat tanah beserta alumunium foil dan dicatat. % kadar air tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{ Kadar air} = \frac{\text{Berat tanah basah} - \text{Berat tanah kering}}{\text{Berat tanah kering}} \times 100\%$$

3.5.2.4 Suhu Tanah (°C) (Termometer Tanah)

Pengukuran suhu tanah dilakukan dengan menggunakan termometer. Cara menggunakan termometer yaitu dengan menancapkan termometer tersebut ke dalam tanah, ditunggu sebentar dan suhu tanah akan terlihat pada garis termometer.

3.5.3 Variabel Pertumbuhan Tanaman Nanas

Variabel pertumbuhan tanaman nanas dilakukan dengan menggunakan metode *crop destruction* pada umur 90 HST. *Crop destruction* dilakukan dengan mengambil 5 contoh tanaman pada setiap petak perlakuan kemudian dilakukan pengamatan meliputi biomassa akar, biomassa batang dan biomassa daun (Fajarindo, 2023).

3.6 Analisis Data

Data yang diperoleh diuji homogenitas ragam dengan uji Bartlett dan aditifitasnya dengan uji Tukey, kemudian dilakukan analisis ragam. Jika terdapat perbedaan yang signifikan, dilanjutkan dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada 5%. Uji korelasi dilakukan untuk mengetahui hubungan antar variabel eko: tanah dan sifat-sifat tanah dilakukan dengan menggunakan Software SmartStat XL versi 3.5.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Adapun simpulan pada penelitian ini meliputi C-mik tanah, emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) dan jumlah mesofauna, yaitu:

1. C-mik tanah pada olah tanah 30 cm + cacah serasah kasar lebih tinggi dibandingkan olah tanah 40 cm + cacah serasah halus pada pengamatan setelah aplikasi kompos sebelum tanam (ST).
2. C-mik tanah pada aplikasi kompos C₂ dan C₄ lebih tinggi dibandingkan kompos C₁ pada pengamatan 14 HST. Jumlah mesofauna tanah pada aplikasi kompos C₃ dan C₄ lebih tinggi dibandingkan kompos C₂ pada pengamatan setelah aplikasi kompos sebelum tanam (ST).
3. C-mik tanah pada olah tanah T₁ aplikasi kompos C₁ dan C₃ lebih tinggi dibandingkan kompos C₂ dan C₄, sedangkan pada olah tanah T₂ aplikasi kompos C₃ dan C₂ lebih tinggi dibandingkan kompos C₁ dan C₄ pada pengamatan 30 HST. Selanjutnya, C-mik tanah pada olah tanah T₁ aplikasi kompos C₃ lebih tinggi dibandingkan kompos lainnya, sedangkan pada olah tanah T₂ aplikasi kompos C₂ lebih tinggi dibandingkan kompos lainnya pada pengamatan 90 HST. Kemudian, emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) pada olah tanah T₂ aplikasi kompos C₃ lebih rendah dibandingkan kompos lainnya pada pengamatan 30 HST. Selanjutnya, emisi CO₂ tanah secara biologis (respirasi tanah) pada olah tanah T₁ aplikasi kompos C₄ lebih tinggi dibandingkan kompos lainnya waktu pengamatan 90 HST. Jumlah mesofauna pada olah tanah T₂ aplikasi kompos C₁ lebih tinggi dibandingkan kompos lainnya waktu pengamatan 14 HST, sedangkan pada olah tanah T₁ aplikasi kompos C₂ dan C₃ lebih tinggi dibandingkan kompos C₁ dan C₄ waktu pengamatan 90 HST.

4. Jumlah akar serabut pada olah tanah 40 cm + cacah serasah halus lebih banyak dibandingkan olah tanah 30 cm + cacah serasah kasar pada pengamatan tanaman nanas umur 90 HST.
5. Terdapat korelasi positif antara kadar air tanah dengan respirasi tanah pada pengamatan 14 HST dan 60 HST. Terdapat korelasi negatif antara suhu tanah dengan respirasi tanah pada pengamatan 14 HST dan 60 HST, antara pH tanah dengan respirasi tanah pada pengamatan 30 HST dan 60 HST, antara kadar air tanah dengan jumlah mesofauna tanah pada pengamatan 90 HST.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang dosis penambahan amelioran berupa biochar, vermikompos dan konsorsium mikroba yang tepat dalam kompos terhadap perbaikan ekosistem tanah, mengurangi emisi CO₂ tanah secara biologi (respirasi tanah) dan meningkatkan produktivitas tanaman nanas.

DAFTAR PUSTAKA

- Adeduntan, S.A. dan O.O. Owokotomo. 2018. Effect of Oil Spillage on Abundance and Diversity of Soil Mesofauna in Bodo City, Niger Delta, Nigeria. *Tropical Plant Research* 5(2):260-266.
<https://doi.org/10.22271/tpr.2018.v5.i2.033>.
- Adriany, T., A. Pramono, dan P. Setyanto. 2018. Pemberian Amelioran Pupuk Kandang Ayam pada Penggunaan Lahan Gambut yang Berbeda terhadap Emisi CO₂. *Jurnal Ecolab* 10(2): 49-57.
<https://doi.org/10.20886/jklh.2018.10.2.49-57>.
- Adwiyani, P., M. Melati, dan T. Sunarti. 2022. Respon Morfologi dan Fisiologi Lima Varietas Padi pada Pemberian Pupuk Organik diperkaya Mikroba. *Indonesian Journal of Agronomy* 50(1): 26-32.
<https://doi.org/10.24831/jai.v50i1.39426>.
- Afifah, N., S. Auvaria, S. Nengse, T. Utama, dan Y. Yusrianti. 2021. Studi Komparasi Metode Pengomposan Secara Windrow, Bata Berongga dan Vermikomposting. *Jurnal Kesehatan Lingkungan* 19(1): 121-128.
<https://doi.org/10.31964/jkl.v19i1.468>.
- Agegnehu, G., M. I. Bird, P. N. Nelson, and A. M. Bass. 2015. The Ameliorating Effects of Biochar and Compost on Soil Quality and Plant Growth on a Ferralsol. *Soil Research* 53: 1-12. <https://doi.org/10.1071/SR14118>.
- Agsari, D., M. Utomo, K. Hidayat, dan A. Niswati. 2020. Respon Serapan Hara Makro-Mikro dan Produksi Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) terhadap Pemupukan Nitrogen dan Praktik Olah Tanah Jangka Panjang. *Journal of Tropical Upland Resources* 2(1): 46-59.
<https://doi.org/10.23960/jtur.vol2no1.2020.78>.
- Ahmad, F., R.C. Sondakh, E. Budiarto. 2021. Aplikasi Microorganisme Lokal Akar Bambu terhadap Kualitas Tanaman Jagung Tongkol. *Jago Tolis : Jurnal Agrokompleks Tolis* 1(3): 66-70.
- Alfei, S., dan O. G. Pandoli. 2024. Bamboo-Based Biochar: A Still Too Little-Studied Black Gold and Its Current Applications. *J Xenobiot.* 20 14(1):416-451.

- Al-Musyafa, M.N., Afandi, dan H. Novpriansyah. 2016. Kajian Sifat Fisik Tanah Pada Lahan Pertanaman Nanas (*Ananas comosus* L.) Produksi Tinggi dan Rendah di PT. Great Giant Pineapple Lampung Tengah. *J. Agrotek Tropika*. 4(1): 66 – 69.
- Alskaf, K., S.J. Mooney, D.L. Sparkes, P. Wilson, and S. Sjogersten. 2021. Short-Term Impacts of Different Tillage Practices and Plant Residue Retention on Soil Physical Properties and Greenhouse Gas Emissions. *Soil and Tillage Research*. 206.104803. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104803>.
- Ananda, R., T. Sabrina, Sarifudin. 2017. Dinamika Populasi Mesofauna Tanah. Akibat Pemberian Beberapa Jenis dan Cara Aplikasi Bahan Organik pada Piringan Kelapa Sawit. *Jurnal Agroteknologi FP USU* 5(1):178-184.
- Anas, I. 1989. *Biologi Tanah dalam Praktik*. Bogor. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Pusat antar Universitas Bioteknologi Institut Pertanian Bogor.
- Antonius, S., M. Rahmansyah, dan D. Agustiyani 2015. Inokulan Mikroba sebagai Pengkaya Kompos pada Budidaya Sayuran. *Berita Biologi* 14: 223-234.
- Arifin, Z., M. Ma'shum, L.E. Susilowati, dan Bustan. 2022. Aplikasi Biochar dalam Mempengaruhi Aktivitas Mikrobial Tanah pada Pertanaman Jagung yang Menerapkan Pola Pemupukan Terpadu. Prosiding Saintek LPPM Universitas Mataram 4: 207-217.
- Aripfandi, Y., Dermiyati, A. Niswati, M.A.S. Arif. 2024. Pengaruh Pupuk Organik Cair dan Kompos terhadap Populasi dan Keragaman Mesofauna Tanah pada Pertumbuhan Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.). *Jurnal Agrotek Tropika* 12(2): 410–420.
- Auliya, K., I. Sasli, dan W. Wasian, W. 2024. Respon Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Mentimun Jepang terhadap Pemberian Bokashi Limbah Kulit Nanas dan Pupuk NPK di Tanah Podsolik Merah Kuning. *Jurnal Sains Pertanian Equator* 13(1): 98. <https://doi.org/10.26418/jspe.v13i1.70653>.
- Bachtiar, B. dan A.A. Ahmad. 2019. Analisis Kandungan Hara Kompos Johar *Cassia siamea* dengan Penambahan Aktivator Promi. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar* 4(1): 68-76.
- Barus, J., D. Meithasari, J. Lumbanraja, H. Sudarsono, K. Hidayat, dan Dermiyati. 2020. Soil Mesofauna Amount and Diversity by Returning Fresh and Compost of Crops Biomass Waste in Ultisols In-Situ. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 22(1). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220113>.

- Bawamenewi, T.A., F.H. Gea, dan S. Waruwu. 2025. Penggunaan Biochar untuk Meningkatkan Kualitas Tanah pada Sistem Pertanian Berkelanjutan. *Hidroponik : Jurnal Ilmu Pertanian dan Teknologi dalam Ilmu Tanaman* 2: 179-187. DOI:[10.62951/hidroponik.v2i1.257](https://doi.org/10.62951/hidroponik.v2i1.257).
- Borrer, D.J., C.A. Triplehorn, and N.F. Johnson. 1992. *Pengenalan Pelajaran Serangga Edisi Keenam*. Diterjemahkan oleh: Partosoedjono, S. dan M.D. Brotowidjoyo. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Bougeteau, S. S., S. Houot, B. Karimi, O. Mathieu, V. Mercier, D. Montenach, T. Morvan, V. Sapin-Didier, F. Watteau, V. Nowak, S. Dequiedt, dan P.A. Maron. 2019. Microbial Communities from Different Soil Types Respond Differently to Organic Waste Input. *Applied Soil Ecology* 143: 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.05.026>.
- Brenzinger, K., S.M. Drost, G. Korthals, dan P.L.E. Bodelier. 2018. Organic Residue Amendments to Modulate Greenhouse Gas Emissions From Agricultural Soils. *Front Microbiol* 7(9):3035. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.03035>.
- Cahyono P, S. Loekito, D. Wiharso, Afandi, A. Rahmat, N. Nishimura, dan M. Senge. 2020. Effects of Compost on Soil Properties and Yield of Pineapple (*Ananas comusus* L. Merr.) on Red Acid Soil, Lampung, Indonesia. *Int J Geomate*. 19 (76): 33–39.
- Cahyono P., S. Loekito, D. Wiharso, Afandi, A. Rahmat, N. Nishimura, N. Keigo, dan M. Senge. 2019. Influence of Liming on Soil Chemical Properties and Plant Growth of Pineapple (*Ananas comusus* L.Merr.) on Red Acid Soil, Lampung, Indonesia. *Communications In Soil Science and Plant Analysis*. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1671441>.
- Carlesso, L. 2019. *Functional Interactions Between Management of Arable Field Margins and Soil Mesofauna* (Doctoral Dissertation, University of Nottingham).
- Cassán, F., A. Coniglio, G. López, R. Molina, S. Nievas, C. Carlan, F. Donadio, D. Torres, S. Rosas, F. Pedrosa, E. Souza, M. Zorita, L. Bashan, dan V. Mora. 2020. Everything You Must Know about Azospirillum and Its Impact on Agriculture and Beyond. *Biology dan Fertility of Soils* 56:461–479.
- Chadirin, Y., S. Saptomo, Rudiyanto, dan K. Osawa. 2016. Environmental Biophysics dan CO₂ Emission in Bare Peatland for Sustainable Biomass Production. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* 21(2): 146-151. <https://doi.org/10.18343/jipi.21.2.146>.
- Chairani, S., M. Idkham, dan D. Wahyuliana. 2015. *Analisis Olah Tanah Dengan Menggunakan Traktor Roda Empat dan Pemberian Sekam Padi terhadap Perubahan Sifat Fisika dan Mekanika Tanah*. Prosiding Seminar Nasional Biotik.

- Chaturverdi, S., S.V. Singh, V.C. Dhyani, K. Govindaraju, R. Vinu, S. Mandal. 2021. Characterization, Bioenergy Value, and Thermal Stability of Biochars Derived from Diverse Agriculture and Forestry Lignocellulosic Wastes. *Biomass Conv. Bioref* 13: 879–892.
- Chaudhuri, P.S., T.K. Paul, A. Dey, M. Datta, dan S.K. Dey. 2016. Effects of Rubber Leaf Litter Vermicompost on Eartworm Population and Yield of Pineapple (*Ananas comosus*) in West Tripura, India. *International Journal Recycle Organisation Waste Agriculture CrossMark Original Research* 5: 93-103.
- Chusna, N. 2021. Studi Kualitas Kompos dengan Pemanfaatan Air Lindi Tempat Pemrosesan Akhir Sampah. *Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas*. 18(2): 63-67.
<https://doi.org/10.25077/dampak.18.2.63-67.2021>
- Citraesmini, M.P., dan T. Bachtiar. 2016. Dinamika Fosfat pada Aplikasi Kompos Jerami-Biochar dan Pemupukan Fosfat pada Tanah Sawah. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi* 12(2): 1907-0322.
- Cleanomic. 2022. *The Future Is Circular: Langkah Nyata Inisiatif Ekonomi Sirkular di Indonesia*. Jakarta. Kementrian PPN/Bappenas.
- Dahmayanti, P., W.M. Febriani, dan A. Lekat. 2018. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Pemberian Macam Bahan Organik terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Jahe Gajah (*Zingiber Officinale* Rosc). *Journal of Applied Agricultural Science and Technology* 2(1): 20-26.
- Ding, Z., A.M.S. Kheir, O.A.M. Ali, E.M. Hafez, E.A. Elshamey, Z. Zhou, B. Wang, X. Lin, Y. Ge, A.E. Fahmy, dan M.F. Seleiman. 2021. A Vermicompost dan Deep Tillage System to Improve Saline-Sodic Soil Quality and Wheat Productivity. *Journal Environmental Management* 277: 111388. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111388>.
- Diningtyas, A., I. Suarna, dan S. Lindawati. 2019. Evaluation of Total Bacteria and Phosphate Solubilized Bacteria in Rhizosfirs of *Stylosanthes guianensis*, *Gliricidia sepium*, *Bracharia decumbens*, and *Pennisetum purpureum* at Upland in Rainy Season. *Pastura* 8(1): 54.
<https://doi.org/10.24843/pastura.2018.v08.i01.p12>.
- Dume, B., A. Hanc, P. Svehla, P. Michal. 2021. Carbon Dioxide and Methane Emissions during the Composting and Vermicomposting of Sewage Sludge under the Effect of Different Proportions of Straw Pellets. *Atmosphere* 12(11):1380. <https://doi.org/10.3390/atmos12111380>.
- Elita, N., R. Erlinda, Y. Yefriwati, D. Sari, dan A. Illahi. 2024. Peningkatan Kualitas Pupuk Hayati Diperkaya dengan Bakteri Pelarut Kalium, Fosfor dan Penambat Nitrogen Indigenus dari Berbagai Rizosfer Tanaman Padi terhadap Kandungan Hara dan Jumlah Populasi Mikroba. *Agroteknika* 7(4): 655-671. <https://doi.org/10.55043/agroteknika.v7i4.418>.

- Endriani. 2010. Sifat Fisika dan Kadar Air Tanah Akibat Penerapan Olah Tanah Konservasi. *Jurnal Hidrolitan* 1(1) : 26 – 34.
- Erniyani, K., S. Wahyuni, Y.M.S.W. Puu. 2020. Struktur Komunitas Mesofauna Tanah Perombak Bahan Organik pada Vegetasi Kopi dan Kakao. *Agrica* 3(1): 1-8.
- Eviati, Sulaeman, L. Herawaty, L. Anggria, Usman, H.E. Tantika, R. Prihartini, dan P. Wuningrum. 2023. *Petunjuk Teknis Edisi 3 Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, Dan Pupuk*. Bogor. Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 239 hlm.
- Fahrurrozi, F. dan U. Yakop. 2023. Respon Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.) di Musim Hujan terhadap Perlakuan Pupuk Organik dan Phonska Plus. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agrokomplek* 2(3): 342-348. <https://doi.org/10.29303/jima.v2i3.3571>.
- Fajarindo, F. 2023. Pengaruh Penambahan Faba dan Lignit dalam Kompos terhadap Sifat Kimia Dan Pertumbuhan Nanas (*Ananas comosus*) pada Ultisol. Tesis Institut Pertanian Bogor. 49 hlm.
- Farida, A., S. Saptomo, Y. Chadirin, B. Setiawan, dan K. Osawa. 2020. Pendugaan Emisi CO₂ dari Lahan Gambut dengan Menggunakan Model Artificial Neural Network (ANN). *Jurnal Keteknik Pertanian* 7(2): 121-128. <https://doi.org/10.19028/jtep.07.2.121-128>.
- Farooqi, Z., A. Qadir, S. Khalid, G. Murtaza, M. Ashraf, S. Rahman, dan M. Xu. 2023. Greenhouse Gas Emissions, Carbon Stocks and Productivity Following Organic Amendments – Comparison of Impacts in Non-Saline and Salt-Affected Soils. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2980834/v1>.
- Febriana, D. dan D. Susilastuti. 2024. Pengaruh Keragaman Jenis Organisme terhadap Kesuburan Tanah. *Agroscience* 14(1): 1-11.
- Filardi, A., D. Djuhari, dan N. Nurhidayati. 2021. Pengaruh Metode dan Dosis Aplikasi Vermikompos terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculentum*) Hidrokanik. *Folium Jurnal Ilmu Pertanian*. 5(1): 1. <https://doi.org/10.33474/folium.v5i1.1035>.
- Firrizqi, Y. 2024. Pengaruh Pemberian Pupuk Organik Cair dan Kompos terhadap Respirasi dan Biomassa Carbon Mikroorganisme (C-Mik) Tanah selama Pertumbuhan Tanaman Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.). *Jurnal Agrotek Tropika*. 12(3). <https://doi.org/10.23960/jat.v12i3.9415>.
- Fitria, U., Zuraida, Ilyas. 2018. Pengaruh Pemberian Vermikompos Terhadap Perubahan Beberapa Sifat Kimia Ultisol. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian Unsyiah*. 3(4):885-896.

- Fodzilah, N.I.M., M.M. Nor, F. Kayat, T.H.S.T. Bakar, S. Zakaria, N.M. Sidik, R.M. Redwan. 2021. Chemical Analysis of Compost using Pineapple Leaves and Cow Dung as Bio-activator. *IOP Conf. Series: Earth dan Environmental Science* 756 012080. DOI 10.1088/1755-1315/756/1/012080.
- Frimpong, K.A., E. Amoakwah, B.A. Osei, dan E. Arthur. 2016. Changes in Soil Chemical Properties and Lettuce Yield Response Following Incorporation of Biochar and Cow Dung to Highly Weathered Acidic Soils. *Journal of Organic Agriculture dan Environment* 4(1): 28-39.
- Gonzalez, E. M.F.R. Diaz, L.D. Salas, dan M.P. Castillo. 2019. Pre-Composting and Vermicomposting of Pineapple (*Ananas comosus*) and Vegetable Waste. *J. Applied Sciens* 9: 3564 <https://doi.org/10.3390/app91735>.
- Gruss, I., J.P. Twardowski, A. Latawiec, A. Medyńska-Juraszek, dan J. Królczyk, 2019. Risk assessment of low-temperature biochar used as soil amendment on soil mesofauna. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 18230-18239.
- Hafif, B., 2020. Kerusakan Tanah Pada Lahan Perkebunan dan Strategi Pencegahan Serta Penanggulangannya. *J Perspektif, Review Penelitian Tanaman Industri* 19(2): 105-121.
- Hagemann, N., C. Kammann, H. Schmidt, A. Kappler, dan S. Behrens. 2017. Nitrate Capture and Slow Release in Biochar Amended Compost dan Soil. *Plos One*. 12(2): e0171214. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171214>.
- Harahap A.I.P., M. Utomo, S. Yusnaini S. dan S. Arif. 2016. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Pemupukan Nitrogen terhadap Keanekaragaman dan Populasi Mesofauna Pada Serasah Tanaman Padi Gogo (*Oryza sativa* L.) Musim Tanam Ke-46. *Journal Agrotek Tropika*. 4(1): 86-92.
- Hartatik, W., Husnain, dan L.R. Widowati. 2015. Peranan Pupuk Organik dalam Peningkatan Produktivitas Tanah dan Tanaman. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 9(2): 107-120.
- Hartono, R., dan Wibowo, S. 2018. *Teknik Olah Tanah*. Pusat Pendidikan Pertanian. 119 hlm.
- Havlin, J.L., S.L. Tisdale, W.L. Nelson, J.D. Beaton. *Soil Fertility and Fertilizers*. 2017. India. Pearson. 536 pp.
- Hazra, F., D. Syahiddin, dan R. Widyastuti. 2021. Peran Kompos dan Mikoriza pada Pertumbuhan Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum*) di Tanah Berpasir. *Journal of Tropical Agrifood*. 113-122. <https://doi.org/10.35941/jatl.4.2.2022.7003.113-122>.

- Herdiyanto, D. dan A. Setiawan. 2015. Upaya Peningkatan Kualitas Tanah melalui Sosialisasi Pupuk Hayati, Pupuk Organik, dan Olah Tanah Konservasi di Desa Sukamanah dan Desa Nanggerang Kecamatan Cigalontang Kabupaten Tasikmalaya. *Jurnal Aplikasi Ipteks untuk Masyarakat* 4(1): 47-53.
- Herlambang, S. 2014. *Pemanfaatan Limbah Organik Segar dan Limbah Pengalengan Nenas sebagai Bahan Pembenah Tanah untuk Meningkatkan Kdanungan C Pada Perkebunan Nenas*. Disertasi Universitas Gajah Mada. Yogyakarta. 140 hlm.
- Herlambang, S., A. Maas, S.N.H. Utami, J. Widada. 2019. The Dynamics of C dan N by Combination of Composted Fresh Organic Waste as Soil Amendment in the Soil Thickness at Pineapple Plantation, Lampung Indonesia. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*. 9(4): 1352-1356.
- Herlinda, S., W. Waluyo, S.P. Estuningsih, dan C. Irsan. 2017. Perbandingan Keanekaragaman Spesies dan Kelimpahan Arthropoda Predator Penghuni Tanah di Sawah Lebak yang Diaplikasi dan Tanpa Aplikasi Insektisida. *Jurnal Entomologi Indonesia* 5(2): 96.
- Hermawansyah, D., Kasam, F.M. Iresha, A. Rahmat. 2021. Analisis Parameter Fisik Kompos Menggunakan Metode Vermikompos pada Bahan Baku Daun Kering. *Open Science and Technology* 1(1): 29-36.
- Hernandez-Mena, L.E., A.A.B. Pecora, dan A.L. Beraldo. 2014. Slow Pyrolysis of Bamboo Biomass: Analysis of Biochar Properties. *Chemical Engineering Transactions* 37: 115-120 DOI: 10.3303/CET1437020.
- Hidayat, F., R. Farrasati, R dan W. Winarna. 2021. Kajian Kerapatan dan Keragaman Organisme Tanah Gambut di Bawah Tegakan Tanaman Kelapa Sawit Menghasilkan. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit* 29(2): 115-126. <https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v29i2.146>.
- Hidayat, H.S.I. dan B. Guritno. 2023. Pengaruh Pupuk Nitrogen dan Kalium Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kacang Panjang (*Vigna sinensis* L.). *Produksi Tanaman*. 011(04): 248-257. <https://doi.org/10.21776/ub.protan.2023.011.04.05>.
- Hossain, M.B., M.M. Rahman, J.C. Biswas, M.M.U. Miah, S. Akhterr, M. Maniruzzaman, A.K. Choudhury, F. Ahmed, M.H.K. Shiragi, dan N. Kalra. 2017. Carbon Mineralization and Carbon Dioxide Emission from Organic Matter Added Soil under Different Temperature Regimes. *International Journal Recycl Organitation Waste Agriculture* 6:311–319. DOI:10.1007/s40093-017-0179-1.
- Huang K., J. Zhang J., G. Tang, D. Bao, T. Wang, D. Kong. 2022. Impacts dan Mechanisms of Biochar on Soil Microorganisms. *Plant Soil Environ*. 69(2):45-54. <https://doi.org/10.17221/348/2022-PSE>.

- Husamah, H., F. Rohman, dan H. Sutomo. 2016. Struktur Komunitas Collembola pada Tiga Tipe Habitat Sepanjang Daerah Aliran Sungai Brantas Hulu Kota Batu. *Bioedukasi Jurnal Pendidikan Biologi*. 8(2): 45. <https://doi.org/10.20961/bioedukasi-uns.v9i1.3886>.
- Iqbal, Z., M. Ahmad, M.A. Raza, T. Hilger, F. Rasche. 2024. Phosphate-Solubilizing *Bacillus* sp. Modulate Soil Exoenzyme Activities and Improve Wheat Growth. *Microbial Ecology* 87:31 <https://doi.org/10.1007/s00248-023-02340-5>.
- Jannah, M. dan D. Salbiah. 2020. Karakteristik Symphyliid pada Tanaman Nanas (*Ananas comosus* (L.) Merr) di Desa Kalu Nenas Kecamatan Tambang Kabupaten Kampar Provinsi Riau. *Jurnal Agroteknologi* 10(2): 49-57.
- Jasridah, J., A. Rusdy, dan H. Hasnah. 2021. Komparasi Keanekaragaman Arthropoda Permukaan Tanah pada Komoditas Cabai Merah, Cabai Rawit dan Tomat. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*. 6(3): 347-355. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v6i3.17437>.
- Jenkinson, D.S. dan D.S. Powelson. 1976. The Effect of Biocidal treatments on Metabolism in soil V. Fumigation with chloroform. *Soil. Biol. Biochem.* 8: 209-213.
- Jiang, Y., X. Wang, Y. Zhao, C. Zhang, Z. Jin, S. Shan, S. L. Ping. 2021. Effects of biochar application on enzyme activities in tea garden soil. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 9. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.728530>
- Jonard, F. M. Mahmoudzadeh, C. Roisin, L. Weihermuller, F. Danre, J. Minet, H. Vereecken, dan S. Lambot. 2013. Characterization of Tillage Effects on the Spatial Variation of Soil Properties using Ground-Penetrating Radar and Electromagnetic Induction. *Geoderma* 207-208: 310-322.
- Jumadi O., M. Junda, W.M. Caronge, dan Syafruddin. 2021. *Trichoderma dan Pemanfaatan*. Penerbit Jurusan Biologi FMIPA UNM : Makassar. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi* 12(2): 1907-0322.
- Kamaruddin, N., S. Adam, dan N. Kassim. 2023. The Effects of Different Pineapple Wastes on Soil Chemical Properties and Growth dan Yield of Okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *IOP Conference Series: Earth dan Environmental Science*. 1182. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1182/1/012036>.
- Kaya, E. dan A. Buton. 2020. Pengaruh Kompos Ela Sagu dengan Mikroorganisme Antagonis terhadap Kemasaman, P Tersedia dan N-Total Tanah pada Ultisols. *Jurnal Budidaya Pertanian*. 16(2): 118-123. <https://doi.org/10.30598/jbdp.2020.16.2.118>
- Kementrian Pertanian. 2020. Buku Pedoman Budidaya Nenas. Jakarta. Kementrian Pertanian. 39 hlm

- Khasanah, L. dan A. Budiono. 2023. Pengaruh Penambahan FABA terhadap Sifat Fisik dan Derajat Keasaman (pH) Kompos. *Distilat Jurnal Teknologi Separasi* 8(3): 460-468. <https://doi.org/10.33795/distilat.v8i3.493>.
- Khoiriyah, A.N., C.Prayogo, dan Widiyanto. 2016. Kajian Residu Biochar Sekam Padi, Kayu dan Tempurung Kelapa terhadap Ketersediaan Air pada Tanah Lempung Berliat. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* 3(1) : 253-260.
- Koleva, L., M. Yodanova, dan G. Dimitrov. 2017. Collembola Communities in Different Compost Types as Bioindicator of Substrate Quality. *The Special Issue of 2nd International Agriculture Congress* 16–18 pp.
- Kurnia, V., S. Sumiyati, dan G. Samudro. 2017. Pengaruh Kadar Air terhadap Hasil Pengomposan Sampah Organik dengan Metode Open Windrow. *Jurnal Teknik Mesin*. 6(2): 58. <https://doi.org/10.22441/jtm.v6i2.1191>.
- Kusumastuti, A., W. Indrawati, Supriyanto, A. Kurniawan. 2022. Keanekaragaman Mesofauna Tanah dan Aktivitas Mikroorganisme Tanah pada Vegetasi Nilam di Berbagai Dosis Biochar dan Pupuk Majemuk NPK. *Agriprima* 6(2): 145-162.
- Lal, R. .2015. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability*. 7 pp. 5875–5895. DOI: 10.3390/su7055875.
- Lesthyana, F. 2023. Pengaruh C-organik Tanah terhadap Keanekaragaman Mesofauna di Areal Perkebunan Karet (*Hevea brasiliensis*) Desa Kemuja Bangka. *National Multidisciplinary Sciences* 2(3): 129-140. <https://doi.org/10.32528/nms.v2i3.276>.
- Li, M., Y. Wang, M. Liu, Q. Liu, Z. Xie, Z. Li, dan Y. Chen. 2019. Three-Year Field Observation of Biochar-Mediated Changes in Soil Organic Carbon and Microbial Activity. *Journal of Environmental Quality* 48(3): 717-726. <https://doi.org/10.2134/jeq2018.10.0354>.
- Liu, C., Y. Liu, C. Fan, dan S. Kuang. 2013. The Effects of Composted Pineapple Residue Return on Soil Properties and The Growth and Yield of Pineapple. *Journal of Soil Science dan Plant Nutrition* 13: 433-444. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162013005000034>
- Lubna, Sembiring. 2013. Emisi CO₂ dan Penurunan Karbon Organik pada Campuran Tanah dan Kompos (Skala Laboratorium). *Jurnal Teknik Lingkungan* 19(1): 23-33.
- Mahendra, F., M. Riniarti, A. Niswati. 2017. Populasi Dan Keanekaragaman Mesofauna Serasah Dan Tanah Akibat Perubahan Tutupan Lahan Hutan di Resort Pemerihan Taman Nasional Bukit Barisan Selatan. *EnviroScientee* 13(2): 128-138. DOI: <http://dx.doi.org/10.20527/es.v13i2.3914>.

- Maier, M., T.K.D. Weber, J. Fiedler, R. Fuß, S. Glatzel, V. Huth, S. Jordan, G. Jurasinski, L. Kutzbach, K. Schäfer, D. Weymann, U. Hagemann. 2022. Introduction of a Guideline for Measurements of Greenhouse Gas Fluxes from Soils using Non-Steady-State Chambers. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 185(4): 447-461. <https://doi.org/10.1002/jpln.202200199>.
- Makhnykina, A.V., A.S. Prokushkin, O.V. Menyailo, S.V. Verkhovets, I.I. Tychkov, A.V. Urban, A.V. Rubstov, N.N. Koshurnikova, dan E.A. Vaganov. 2020. The Impact of Climatic Factors on CO₂ Emissions from Soils of Middle-Taiga Forests in Central Siberia: Emission as a Function of Soil Temperature dan Moisture. *Russian Journal of Ecology* 51: 46–56. <https://doi.org/10.1134/S1067413620010063>.
- Mangungsong, A., Soemarsono dan F. Zudri. 2019. Pemanfaatan Mikroba Tanah dalam Pembuatan Pupuk Organik serta Peranannya terhadap Tanah Aluvial dan Pertumbuhan Bibit Tanaman Kakao. *J. Agron. Indonesia* 47(3): 318-325. DOI: <https://dx.doi.org/10.24831/jai.v47i3.24721>.
- Mariadi dan Surata. 2023. Serangan Alih Fungsi Lahan Pertanian Terhadap Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan di Kecamatan Buleleng, Kabupaten Buleleng. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Sains dan Humaniora* 7(1): 143-149. <https://doi.org/10.23887/jppsh.v7i1.59211>.
- Marselianti. 2023. Simpanan Karbon Tanah dan Emisi Karbon Dioksida Tanah pada Penggunaan Lahan Hutan dan Pertanian di Wilayah Daerah Aliran Sungai Tanralili. Tesis Universitas Hasanuddin. Makassar. 58 hlm.
- Matheus, R. dan A.K. Djaelani. 2021. Pemanfaatan Pupuk Organik Cair Biourin yang Diperkaya Mikroba Indigenous terhadap Tanah dan Hasil Bawang Merah di Lahan Kering. *Jurnal Pertanian Terpadu* 9(2). <https://doi.org/10.36084/jpt.v9i2.344>.
- Maula, S., S. Siswanto, H.F. Aditya, S. Yusnaini, dan W.S. Ramadhani. 2024. Pemanfaatan Kompos dalam Peningkatan Bahan Organik Tanah pada Perkebunan Nanas PT. Great Giant Food. *Jurnal Agrotek Tropika* 9(1): 154. <https://doi.org/10.23960/jat.v12i1.7948>.
- Mensah, K.A. dan A.K. Frimpong. 2018. Biochar dan Compost Applications Improve Soil Properties, Growth, dan Yield of Maize Grown in Acidic Rainforest and Coastal Savannah Soils in Ghana. *International Journal of Agronomy* 1-8.
- Moghim, O.H., N. Bidhendi, G. Daryabeigi, A.M. Rabiee. 2023. Effect of Forest-Based Biochar on Maturity Indices and Bio-Availability of Heavy Metals During the Composting Process of Organic Fraction of Municipal Solid Waste (OFMSW). *Scientific Reports* 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42835-2>.

- Moitinho, M.R., M.P. Padovan, A.R. Panosso, D.D.B. Teixeira, D.D.B., A.S. Ferraudo. 2015. On The Spatial and Temporal Dependence of CO₂ Emission on Soil Properties in Sugarcane (*Saccharum* spp.) Production. *Soil and Tillage Research* 148: 127-132. DOI: 10.1016/j.still.2014.12.003.
- Muliana, S. Anwar, A. Hartono, A.D. Susila., S. Sabiham. 2018. Pengelolaan dan Pemupukan Fosfor dan Kalium pada Pertanian Intensif Bawang Merah di Empat Desa di Brebes. *J. Hort. Indonesia* 9(1):27-37.
- Mulyadi, T., M. Nurcholis, dan Partoyo. 2021. Beberapa Sifat Kimia Tanah Sawah atas Penggunaan Pupuk Organik dengan Kurun Waktu Berbeda di Sayegan, Sleman. *Jurnal Tanah dan Air (Soil and Water Journal)* 17(2): 74-91. DOI: 10.31315/jta.v17i2.4237.
- Muzammil, M.H., Sudarti, Yushardi. 2023. Potensi Pemanfaatan Limbah Kotoran Ternak Sapi sebagai Pupuk Kompos Ramah Lingkungan. *Jurnal Pendidikan, Sains, dan Teknologi (JPST)* 2(4): 992-996.
- Nasir, L.O. 2020. Suhu Tanah dan Salinitas Lahan cabai Rawit yang Diamandemen Biochar. *Jurnal Berkala Penelitian Agronomi* 8(1): 56-62.
- Nasution, H., Y. Yusfaneti, dan A. Saad. 2022. Konversi Hutan menjadi Tanaman Hortikultura Durian, Manggis dan Duku terhadap Perubahan beberapa Sifat Fisik Entisol di Desa Talang Duku Kecamatan Taman Rajo Kabupaten Muaro Jambi. *Jurnal Agroecotania Publikasi Nasional Ilmu Budidaya Pertanian* 5(2): 57-66. <https://doi.org/10.22437/agroecotania.v5i2.23040>.
- Niswati, A., I. Marinti, S. Yusnaini, S. Arif. 2019. Pemupukan Nitrogen Jangka Panjang Meningkatkan Biomassa Karbon Mikroorganisme Tanah (C-mik) pada Pertanaman Kedelai (*Glycine max*) Musim ke-29. Semirata BKS PTN wilayah Barat Tahun 2019.
- Nugroho, A., A. Niswati, H. Novpriansyah, dan M. Arif. 2021. Pengaruh Asam Humat dan Pemupukan P terhadap Populasi dan Keanekaragaman Mesofauna Tanah pada Pertanaman Jagung di Tanah Ultisol. *Jurnal Agrotek Tropika* 9(3): 433. <https://doi.org/10.23960/jat.v9i3.5300>.
- Nurida, N. 2021. Dosis dan Efek Residu Biochar Kulit Buah Kakao dalam Peningkatan Sifat Tanah dan Produktivitas Jagung di Lahan Kering Masam Lampung Timur. *Jurnal Tanah Dan Iklim* 45(2):145. <https://doi.org/10.21082/jti.v45n2.2021.145-154>
- Oktaviani, R., K. Rahayu, dan N. Suhartatik. 2017. Pemanfaatan Limbah Nanas (*Ananas comosus* L. merr) pada Pembuatan Kecap Ikan Lele (*Clarias* sp) dengan Variasi Lama Fermentasi. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan* 1(2): 134-143.

- Omkas, F.N., I. Rahim, Harsani. 2020. Keanekaragaman Mesofauna Dan Makrofauna Tanah Di Bawah Tegakan Lada Yang Diberikan Tabung Hara Biochar Dan Jamur Mikoriza. *Prosiding Seminar Nasional Sinergitas Multidisiplin Ilmu Pengetahuan dan Teknologi* 3(1): 167-172
- Panjaitan, E., D. Indradewa, E. Martono, dan J. Sartohadi. 2015. Sebuah Dilema Pertanian Organik Terkait Emisi Metan. *Jurnal Manusia dan Lingkungan* 22(1): 66. <https://doi.org/10.22146/jml.18726>.
- Pardo, M.E.S., M.E.S. Casselis, R.M. Escobedo, dan E.J. Garcia. 2014. Chemical Characterisation of the Industrial Residues of the Pineapple (*Ananas comosus*). *Journal of agricultural Chemistry dan Environment* 3: 53-56.
- Pauza, N., A. Niswati, Dermiyati, dan S. Yusnaini. 2016. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Aplikasi Mulsa Bagas terhadap Biomassa Karbon Mikroorganisme Tanah (C-mik) pada Lahan Pertanaman Tebu (*Saccharum officinarum* L.) Tahun ke-5. *Jurnal Agrotek Tropika* 4(2). <https://doi.org/10.23960/jat.v4i2.1866>.
- Pebrianti, H., N. Maryana, dan I. Winasa. 2016. Keanekaragaman Parasitoid dan Artropoda Predator pada Pertanaman Kelapa Sawit dan Padi Sawah di Cindali, Kabupaten Bogor. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika* 16(2): 138-146. <https://doi.org/10.23960/j.hppt.216138-146>.
- Peron, R., D. Tomazelli, E. Kraft, T. Baldissera, D. Baretta, C. Pinto, D. Goss-Souza, L. Filho, O. Klauberg-Filho. 2023. Grassland Management Intensification Affects the Soil Fauna in a Subtropical Highldand. *Annals of Applied Biology* 183(1): 53-66. <https://doi.org/10.1111/aab.12833>.
- Pooja, M. Rana, M., O. Mehla, R. Singh, dan S.K. Verma. 2022. Vermicompost Effect on Soil and Field Crops: A Review. *The Pharma Innovation International Jurnal* 11(11): 2565-2569. <https://doi.org/10.22271/tpi.2022.v11.i11ae.17113>.
- Pranoto, S.H., H. Yatim, S.D. Hi Ahmad. 2021. Pengaruh Pemberian Kompos Kotoran Hewan terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung (*Zea mays* L.). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Fakultas Pertanian (JIMFP)* 1(3): 82-87. <https://doi.org/10.52045/jimfp.v1i3.196>.
- Pratiwi, E., T. Satwika, dan F. Agus. 2020. Keanekaragaman Mikrob Tanah Gambut di Bawah Hutan dan di Bawah Perkebunan Sawit di Provinsi Jambi. *Jurnal Tanah dan Iklim* 42(1): 69. <https://doi.org/10.21082/jti.v42n1.2018.69-78>.
- Prayudyaningsih, R. dan R. Sari. 2016. Aplikasi Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) dan Kompos untuk Meningkatkan Pertumbuhan Semai Jati (*Tectona grandis* Linn.f.) pada Media Tanah Bekas Tambang Kapur. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea* 5(1):37-46.

- Prihutami, M. 2019. Fluks CO₂ di Lahan Kelapa Sawit dan Hubungannya dengan Faktor Lingkungan Pada Siang Hari. *Jurnal Ilmu Pertanian Tirtayasa*. 1(1): 57-67. <https://doi.org/10.33512/jipt.v1i1.6856>.
- Purbalisa, W., I. Zulaehah, D. Paputri, S. Wahyuni. 2020. Dinamika Karbon dan Mikroba dalam Tanah pada Perlakuan Biochar Kompos Plus. *Jurnal Presipitasi* 17(2):138-143.
- Puspitasari, A. dan S. Winarsih, S. 2023. Peningkatan Kualitas Fisik dan Kimia Lahan Marjinal Tebu Melalui Penggunaan Kompos, Pelembab Sintetis dan Mikoriza. *Indonesian Sugar Research Journal* 3(1): 33-45. <https://doi.org/10.54256/isrj.v3i1.95>.
- Putra, G. W., Ramona, Y., & Proborini, M. W. (2020). Eksplorasi Dan Identifikasi Mikroba Pada Rhizosfer Tanaman Stroberi (*Fragaria x ananassa* Dutch.) Di Kawasan Pancasari Bedugul. *Metamorfosa: Journal of Biological Sciences* 7(2), 62. <https://doi.org/10.24843/metamorfosa.2020.v07.i02.p09>.
- Rafika, A., Zuraida, Muyassir. 2022. Aplikasi Kompos Terhadap Sifat Kimia Tanah dan Kandungan Hara Tanaman Jagung pada Lahan Kering Inceptisol Krueng Raya, Aceh Besar. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian* 7(2): 665-671.
- Rahmawati, M., L. Endang, dan Z. Arifin. 2024. Pengaruh Aplikasi Pupuk Kompos dan Biochar terhadap Populasi bakteri di Rizosfer dan Pertumbuhan Tanaman Padi Gogo (*Oryza sativa* L.). *Journal of Soil Quality and Management (JSQM)* 3(1): 43-54.
- Ramadhani W.S., E. Handayanto, Y. Nuraini, D.P. Widiarini, A. Rahmat, dan H. Yanfika. 2022. Pemanfaatan Limbah Cair Nanas dan Kompos Kotoran Sapi dalam Meningkatkan Kesuburan Tanah, Lampung Tengah. *J Agrotek Trop* 10(2): 315–320.
- Ramadhani, W.S., dan Nuraini, Y. 2018. The Use of Pineapple Liquid Waste and Cow Dung Compost to Improve Availability of Soil N, P, and K dan Growth of Pineapple Plant in an Ultisol Of Central Lampung. *Journal Degraded dan Mining Ldan Management* 6(1): 1457-1465.
- Ramadhani, W.S., E. Handayanto, Y. Nuraini, dan A. Rahmat. 2020. Aplikasi Limbah Cair Nanas dan Kompos Kotoran Sapi Meningkatkan Populasi Mikroorganisme Pelarut Fosfat di Ultisol, Lampung Tengah. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung* 9(2): 78-84.
- Rani, I., Dermiyati, R. Suharjo, A. Niswati, dan D. Pangaribuan. 2022. Soil Organisms Activities in Red Onion Cultivation with Application of Plant Extract Suspension dan Compost. *Journal of Tropical Soils* 27(2): 89-98. <https://doi.org/10.5400/jts.2022.v27i2.89-98>.

- Ravindran, B., J.W.C. Wong, A. Selvam dan G. Sekaran. 2016. Influence of Microbial Diversity and Plant Growth Hormones in Compost and Vermicompost from Fermented Tannery Waste. *Bioresource Technology* 217: 200-204. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.032>.
- Research and Development GGF. 2021. *Buku Saku Budidaya Nanas*. Great Giant Food Lampung. 84 hlm.
- Riyani, D., E. Gusmayanti, dan M. Pramulya. 2021. Dampak Pemberian Pupuk Hayati dan NPK terhadap Emisi CO₂ pada Perkebunan Kelapa Sawit di Lahan Gambut. *Jurnal Ilmu Lingkungan* 19(2): 219-226. <https://doi.org/10.14710/jil.19.2.219-226>.
- Robby, M.C., R.L. Scott, J.A. Biederman, W.K. Smith, dan D.J.P. Moore. 2022. Response of Soil Carbon Dioxide Efflux to Temporal Repackaging of Rainfall into Fewer, Larger Events in a Semiarid Grassland. *Frontiers in Environmental Science*. 10: 1-12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.940943>.
- Roshintha, R.R. dan S. Mangkoedihardjo, 2016. Analisis Kecukupan Ruang Terbuka Hijau sebagai Penyerap Emisi Gas Karbon Dioksida (CO₂) pada Kawasan Kampus ITS Sukolilo, Surabaya. *Jurnal Teknik ITS* (5)2: 132-137.
- Sahoo, K., B. Sahoo, A.K. Choudhury, N.Y. Sofi, R. Kumar, A.S. 2015. Childhood Obesity: Causes and Consequences. *J. Family Med Prim Care* 4(2):187-192.
- Saidy, A. R. 2018. *Bahan Organik Tanah: Klasifikasi, Fungsi dan Metode Studi*. Lambung Mangkurat University Press. Banjarmasin. 128 hlm.
- Sakiah, S. 2024. Pemanfaatan *Trichoderma* sp. dan *Aspergillus* sp. dalam Pengomposan Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Tabela Jurnal Pertanian Berkelanjutan* 2(1): 37-43. <https://doi.org/10.56211/tabela.v2i1.459>.
- Salam, A.K. 2020. *Ilmu Tanah*. Bandar Lampung. Global Madani Press. 393 hlm.
- Santi, R., G. Gusmaini, dan M. Sarwendah. 2020. Identifikasi dan Toleransi Kemasaman Mesofauna Indigenous Tanaman Lada untuk Pertumbuhan Bibit Lada (*Piper nigrum* L.). *Agrosainstek Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian* 4(2): 85-94. <https://doi.org/10.33019/agrosainstek.v4i2.122>.
- Sari, R., Maryam dan R.A. Yusman. 2023. Penentuan C-organik pada Tanah untuk Meningkatkan Produktivitas Tanaman dan keberlanjutan Umur Tanaman dengan Metoda Spektrofotometri UV VIS. *Jurnal Teknologi Pertanian* 12(1):11-19.

- Sarma, B., M. Farooq, N. Gogoi, B. Borkotoki, R. Kataki, dan A. Garg. 2018. Soil Organic Carbon Dynamics in Wheat - Green Gram Crop Rotation Amended with Vermicompost dan Biochar in Combination with Inorganic Fertilizers: Acomparative Study. *Journal of Cleaner Production* 201: 471-480. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.004>.
- Sazali, M. 2015. Identifikasi Fauna Tanah Pada Areal Pascapenambangan Tanah Urugan sebagai Reklamasi Lahan Pertanian di Desa Lendang Nangka Provinsi Nusa Tenggara Barat. *BIOTA: Jurnal Tadris IPA Biologi FITK IAIN Mataram* 8(2): 118-128. <https://doi.org/10.20414/jb.v8i2.64>.
- Schjønning, P., I. Thomsen, S. Petersen, K. Kristensen, dan B. Christensen. 2011. Relating Soil Microbial Activity to Water Content and Tillage-Induced Differences n Soil Structure. *Geoderma* 163: 256-264. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2011.04.022>.
- Schneider, F., A. Don, I. Hennings, O. Schmittman, S. Seidel. 2017. The Effect of Deep Tillage on Crop Yield – What do We Really Know? Soil and Tillage Research 174:193-204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2017.07.005>.
- Sembiring, P.W., Haryati, dan R. Sipayung R. 2015. Pengaruh Pemberian Asam Humat dan Kompos Tdanan Kosong Kelapa Sawit terhadap Pertumbuhan dan Produksi Bawang Sabrang (*Eleuthrtine americana* Merr.). *Jurnal Online Agroteknologi* 3(3): 976–983.
- Shinde R., S.K. Naik, dan P.K. Sarkar. 2020. Recycling of Organic Waste Through Vermicomposting. *Agriculture Observer* 1(6): 14-20.
- Sholih, M., D. Buchori, I. Harahap, dan A. Rizali. 2019. Pengaruh Tipe Penggunaan Lahan dalam Membentuk Komunitas Semut dan Layanan Ekosistem yang diberikan. *Jurnal Entomologi Indonesia* 16(2): 83. <https://doi.org/10.5994/jei.16.2.83>.
- Simarmata, T. 2012. *Ekologi Biota Tanah*. Bandung. Prima Press. 120 hlm.
- Siringoringo, H. 2014. Peranan Penting Pengelolaan Penyerapan Karbon dalam Tanah. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan* 11(2): 175-192.
- Sitorus, L.E. dan E. Sembiring. 2012. Pengaruh Aplikasi Kompos terhadap Emisi CO₂ dan karbon Organik Tanah. *Jurnal Teknik Lingkungan* 18(2):124-134.
- Sobari, E. dan S. Zahra. 2020. Pembuatan Kompos dari Limbah Padat Penyulingan Nilam dengan Metode Fermentasi. *Jurnal Ilmiah Ilmu dan Teknologi Rekayasa* 2(2). <https://doi.org/10.31962/jiitr.v2i2.46>.
- Soniari, N.N., N.W.S. Sutari. 2023. Organic Hydroponics Based on Liquid Organic Fertilizer. *Agrotrop* 13(2): 247-255.

- Sriharti dan T. Salim. 2008. Pemanfaatan Limbah Saribuah Jambu Biji (*Psidium guajava* L.) untuk Pembuatan Kompos dengan Menggunakan Berbagai Bahan Aktivator. *Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008 Bidang Teknik Kimia dan Tekstil* 60-64.
- Suheriyanto, D. 2013. Keanekaragaman Fauna Tanah di Taman Nasional Bromo Tengger Semeru sebagai Bioindikator Tanah Bersulfur Tinggi. *Sainstis* 1(2): 29–38.
- Sulistiyorini, E., A. Laila, A., dan A. Jiedny. 2023. Identifikasi Arthropoda pada Lahan Daun Bawang. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan* 25(1): 1-6. <https://doi.org/10.29244/jitl.25.1.1-6>.
- Sumbul, A., R.A. Ansari, R. Rizvi, dan I. Mahmood. 2020. Azotobacter: A Potential Bio-Fertilizer for Soil and Plant Health Management. *Saudi J Biol Sci.* 27(12): 3634–3640. doi: 10.1016/j.sjbs.2020.08.004.
- Sun, C.X, X. Chen, M.M. Cao, M.Q. Li, Y.L. Zhang. 2017. Growth and Metabolic Responses of Maize Roots to Straw Biochar Application at Different Rates. *Plant dan Soil* 416: 487–502. DOI 10.1007/s11104-017-3229-6.
- Surahman, E., R. Maulidah, E. Sujarwanto, dan I. Mahmudah, I. 2022. *Membuat Kompos Berbahan Dedaunan Kering*. Madiun. Bayfa Cendekia Indonesia. 29 hlm.
- Surjaningsih, D. 2023. Pengaruh Pemberian Biochar dan Kompos Terhadap Pertumbuhan Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa* L.) Pada Tanah Vertisol: *Journal of Applied Plant Technology* 2(1):21-29.
- Suryaman, M., F. Kurniati, F., dan H. Khaerunisa. 2022. Pertumbuhan Kedelai pada Kondisi Cekaman Salinitas dengan Pemberian Ekstrak Kulit Buah Nanas (*Ananas comosus* l). *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan* 22(2): 186-194. <https://doi.org/10.25181/jppt.v22i2.2148>
- Susanti, I., M. Utomo, H. Buchari .2014. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Pemupukan N Jangka Panjang terhadap Biomassa Karbon Mikroorganisme (C-mik) di Rizosfer dan Non-Rizosfer pada Pertanaman Jagung (*Zea mays* L.). *J. Agrotek Tropika* 2(2):317-320.
- Susanto, S. dan Rahayu, A. 2022. Komunitas Makrofauna Tanah pada Lahan Bekas TPA Gunung Tugel Kabupaten Banyumas. *Sainteks* 18(2):169. <https://doi.org/10.30595/sainteks.v18i2.1273>.
- Susilawati, M., E. Budhisurya., R.C.W. Anggoro. dan B.H. Simanjuntak. 2013. Analisis Kesuburan Tanah dengan Indikator Mikroorganisme tanah Pada Berbagai Sistem Penggunaan Lahan di Plateuu Dieng. *J. Agric* 25(1): 64-72.

- Sutanto, A. dan D. Lubis. 2018. Zerro Waste Management PT Great Giant Pineapple (GGP) Lampung Indonesia. *Prosiding Konferensi Nasional Ke-5 Asosiasi Program Pascasarjana Perguruan Tinggi Muhammadiyah (APPPTM)* ISBN: 978-602-19568-5-4.
- Suud, H., M. Syuaib, dan I. Astika. 2015. Model Development for Estimating Soil Nutrient Levels using Soil Electrical Conductivity Measurement. *Jurnal Keteknikaan Pertanian* 3(2): 1-8.
- Tabroni, T., S. Yusnaini, A. Niswati, dan M. Utomo. 2018. Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Aplikasi Herbisida terhadap Biomassa Karbon Mikroorganisme Tanah (C-mik) pada Pertanaman Ubi Kayu (*Manihot esculenta* Crantz.) Tahun ke-2 di Tanah Ultisol Gedung Meneng Bandar Lampung. *Jurnal Agrotek Tropika* 6(2):127-132. <https://doi.org/10.23960/jat.v6i2.2605>.
- Trupiano, D., C. Coccozza, S. Baronti, C. Amendol, P.F. Vaccari, G. Lustrato, S. Lunardo, F. Fantasma, R. Tognetti, R., dan S.G. Scippa. 2017. The Effects of Biochar and Its Combination with Compost on Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Growth, Soil Properties and Soil Microbial Activity and Abundance. *International Journal of Agronomy* 1-12.
- Utomo M., Sudarsono, B. Rusman, T. Sabrina, J. Lumbanraja dan Wawan. 2016. Ilmu Tanah Dasar-Dasar dan Pengelolaan. Kencana. Jakarta. 434 hlm.
- Wahjono, T.E., Yuliani, Y., Hadiyanto. 2024. Beauveria Bassiana; Insect Pathogen and Biopesticide Producer as an Effective and Environmentally Friendly Alternative for Biological Control. *Jurnal Ilmiah Agrenica* 24(1): 97-112. <https://doi.org/10.36728/afp.v24i1.2885>.
- Walida, H., F.S. Harahap, M. Hasibuan, dan F. Yanti. 2019. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Penghasil IAA dan Pelarut Fosfat dari Rhizosfer Tanaman Kelapa Sawit. *BioLink : Jurnal Biologi Lingkungan, Industri dan Kesehatan* 6(1): 1-7.
- Wang, J., D. Shi, Y. Li, A. Chen, S. Feng, dan C. Liu. 2023. A Study on Infiltration Characteristics and One-Dimensional Algebraic Model Simulation in Reclaimed Soil with Biochar. *Water* 15(16): 2985. <https://doi.org/10.3390/w15162985>.
- Wang, X., F. Zhao, G. Zhang, Y. Zhang, dan L. Yang. 2017. Vermicompost Improves Tomato Yield dan Quality and The Biochemical Properties of Soils with Different Tomato Planting History in a Greenhouse Study. *Frontiers in Plant Science* 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.0197>.
- Warino, J., R. Widyastuti, Y. Suhardjono, dan B. Nugroho. 2017. Keanekaragaman dan Kelimpahan Collembola pada Perkebunan Kelapa Sawit di Kecamatan Bajubang, Jambi. *Jurnal Entomologi Indonesia* 14(2): 51-57. <https://doi.org/10.5994/jei.14.2.51>.

- Widodo E.A., A. Niswati, S. Yusnaini, dan H. Buchori. 2016. Pengaruh Pengolahan Tanah dan Pemberian Mulsa Bagas Terhadap Biomassa Karbon Mikroorganisme Tanah (C-Mik) Pada Lahan Pertanaman Tebu PT GMP Tahun Ketiga. *J. Agrotek Tropika* 4(3): 228-232.
- Widyati, E. 2020. Memahami Komunikasi Tumbuhan-Tanah dalam Areal Rhizosfir untuk Optimasi Pengelolaan Lahan. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 11(1): 33-42.
- Winarna, W. dan H. Santoso. 2020. Karakteristik Emisi CO₂ Tanah Gambut di Bawah Tegakan Kelapa Sawit. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit* 28(1): 41-50. <https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v28i1.103>.
- Wu, Y., Q. Li, Y. Zheng, X. Xiong, Y. Chen, M. Shaaban, M. dan R. Hu. 2023. Optimizing Biochar Addition for Vermicomposting: A Comprehensive Evaluation of Earthworms' Activity, N₂O Emissions and Compost Quality. *Biochar* 5:4 <https://doi.org/10.1007/s42773-022-00203-9>.
- Xu, S., K. Li, G. Li, Z. Hu, J. Zhang, B. Iqbal, dan D. Du. 2022. Canada Goldenrod Invasion Regulates The Effects of Soil Moisture on Soil Respiration. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19 (23): 15446. <https://doi.org/10.3390/ijerph192315446>.
- Yan, Q., F. Dong, J. Li, Z. Duan, F. Yang, X. Li, dan F. Li. 2019. Effects of Maize Straw-Derived Biochar Application on Soil Temperature, Water Conditions and Growth of Winter Wheat. *European Journal of Soil Science*. 70(6):1280-1289. <https://doi.org/10.1111/ejss.12863>.
- Yovo, W., S. Parent, N. Ziadi, dan L. Parent. 2023. CO₂ Emissions in Layered Cranberry Soils under Simulated Warmin. *Soil Systems* 7(1): 3. <https://doi.org/10.3390/soilsystems7010003>.
- Yuliana, D., S. Yusnaini, K. Hendarto, dan A. Niswati. 2019. Pengaruh Pupuk Hayati dan Konsentrasi Pupuk Pelengkap Alkalis terhadap Respirasi Tanah pada Pertanaman Bawang Putih (*Allium sativum* L.) Ketinggian 600 mdpl di Kabupaten Tanggamus. *Jurnal Agrotek Tropika* 7(3): 413. <https://doi.org/10.23960/jat.v7i3.3544>.
- Zaman, M. M., T. Chowdhury, K. Nahar dan M.A.H. Chowdhury. 2017. Effect of Cow Dung as Organic Manure on The Growth, Leaf Biomass Yield of *Stevia rebaudiana* and Post Harvest Soil Fertility. *Journal of the Bangladesh Agricultural University* 15(2): 206 211.
- Zhang, P., D. Zheng, R. Velde, J. Wen, Y. Ma, Y. Zeng, X. Wang, Z. Wang, J. Chen, Z. Su. 2022. A Dataset of 10-year Regional-Scale Soil Moisture and Soil Temperature Measurements at Multiple Depths on The Tibetan Plateau. *Earth System Science Data* 14: 5513-5542. <https://doi.org/10.5194/essd-14-5513-2022>.

- Zulkarnain, M. Prasetya, dan B. Soemarno. 2013. Pengaruh Kompos, Pupuk Kandang, dan Custom-Bio terhadap Sifat Tanah, Pertumbuhan dan Hasil Tebu (*Saccharum officinarum* L.) pada Entisol di Kebun Ngrangkah Pawon, Kediri. *Indonesia Green Technologi Journal* 2(1): 45-52.
- Zziwa, A., K.R. Kambugu., A. Komakech, N. Kiggundu, G.J. Miito, F. Kyazze, 2017. Socioeconomic Characterization and The Agronomic Practices that Affect The Use of Pineapple Waste to Enhance Soil Fertility in Kayunga District. Uganda. *Agr. Eng. Int. CIGR J.* 19, 12–21.