

**ANALISIS POPULASI MIKROORGANISME DI TANAH SIDOSARI
LAMPUNG SELATAN 25 TAHUN PASCAPERLAKUAN LIMBAH
INDUSTRI BERLOGAM BERAT DENGAN PENERAPAN *BIOCHAR***

(Skripsi)

Oleh

Erninda Octalyani
1714121005



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

ANALISIS POPULASI MIKROORGANISME DI TANAH SIDOSARI LAMPUNG SELATAN 25 TAHUN PASCAPERLAKUAN LIMBAH INDUSTRI BERLOGAM BERAT DENGAN PENERAPAN *BIOCHAR*

Oleh

ERNINDA OCTALYANI

Limbah industri banyak macamnya, tergantung bahan baku dan proses yang digunakan masing-masing industri. Salah satu masalah yang paling mengganggu dari limbah industri adalah kandungan logam berat yang berlebih. Kandungan logam berat yang berlebih akan mengganggu dan menurunkan kadar populasi mikroorganisme yang ada di dalam tanah. Kelebihan kandungan logam berat seperti Cu dan Zn tanah diduga dapat diatasi dengan cara penerapan *biochar*. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari populasi mikroorganisme pada tanah Sidosari Lampung Selatan 25 tahun pascaperlakuan limbah industri berlogam berat dan mempelajari pengaruh *biochar* terhadap populasi mikroorganisme tanah pada tanah tercemar logam berat.

Penelitian ini dilakukan dari Mei – Oktober 2021. Contoh tanah diambil dari petak percobaan yang terletak di Desa Sidosari, Kecamatan Natar, Lampung Selatan, yang telah dibuat pada Juli 1998. Analisis populasi mikroorganisme dilaksanakan di Laboratorium Ilmu Tanah dan Laboratorium Bioteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Percobaan disusun secara faktorial dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) menggunakan dua faktor dan 3 kali ulangan. Faktor pertama adalah jenis tanah tiga buah yaitu tanah dengan perlakuan limbah industri, tanpa kompos, dan tanpa kapur yaitu $S_0 =$ limbah industri 0 Mg ha^{-1} , tanpa kompos, dan tanpa kapur, $S_1 =$ limbah industri 15 Mg ha^{-1} , tanpa kompos, dan tanpa kapur; $S_2 =$ limbah industri 60 Mg ha^{-1} , tanpa *biochar*, dan tanpa kapur. Faktor yang kedua yaitu *biochar*, $B_0 =$ *biochar* 0 Mg ha^{-1} , $B_1 =$ *biochar* 5 Mg ha^{-1} , dan $B_2 =$ *biochar* 10 Mg ha^{-1} .

Hasil penelitian menunjukkan bahwa fungi yang terdapat dalam tanah penelitian adalah *Aspergillus* sp. dan bakteri yang terdapat dalam tanah penelitian adalah *Pseudomonas* sp. Fungi tanah meningkat dengan meningkatnya logam berat yang berasal dari limbah industri dan pemberian dosis *biochar*. Sedangkan bakteri menurun dengan meningkatnya logam berat berat yang berasal dari limbah industri dan pemberian dosis *bochar*.

Kata Kunci : *Biochar*, Mikroorganisme, Bakteri, Fungi, Tembaga dan Seng

**ANALISIS POPULASI MIKROORGANISME DI TANAH SIDOSARI
LAMPUNG SELATAN 25 TAHUN PASCAPERLAKUAN LIMBAH
INDUSTRI BERLOGAM BERAT DENGAN PENERAPAN *BIOCHAR***

(Skripsi)

Oleh

ERNINDA OCTALYANI

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **ANALISIS POPULASI MIKROORGANISME
DI TANAH SIDOSARI LAMPUNG SELATAN
25 TAHUN PASCAPERLAKUAN LIMBAH
INDUSTRI BERLOGAM BERAT DENGAN
PENERAPAN *BIOCHAR***

Nama Mahasiswa : **Erninda Octalyani**

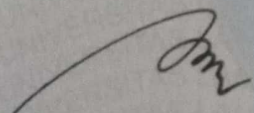
Nomor Pokok Mahasiswa : **1714121005**

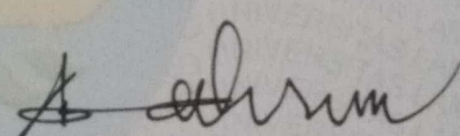
Program Studi : **Agroteknologi**

Fakultas : **Pertanian**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Prof. Dr. Ir. Sri Yusnaini, M.Si.
NIP 19630508 198811 2 001


Prof. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc., Ph.D.
NIP 19601109 198503 1 001

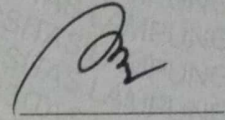
2. Ketua Jurusan Agroteknologi


Prof. Dr. Ir. Sri Yusnaini, M.Si.
NIP 19630508 198811 2 001

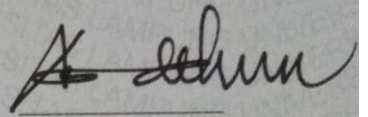
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

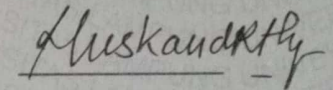
Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Sri Yusnaini, M.Si.



Pembimbing II : Prof. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc., Ph.D.



Pembahas : Dr. Ir. Suskandini Ratih Dirmawati., M.P.



2. Dekan Fakultas Pertanian



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

NIP. 195110201986031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 22 September 2023

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **ANALISIS POPULASI MIKROORGANISME DI TANAH SIDOSARI LAMPUNG SELATAN 25 TAHUN PASCAPERLAKUAN LIMBAH INDUSTRI BERLOGAM BERAT DENGAN PENERAPAN *BIOCHAR*** merupakan hasil karya saya sendiri dengan bimbingan Prof. Dr. Ir. Sri Yusnaini, M. Si., Prof. Ir. Abdul Kadir Salam, M.Sc., Ph. D., dan Dr. Ir. Suskandini Ratih Darmawati., M. P. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah-kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Jika di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung,
Pembuat Pernyataan

2023



Erninda Octalyani
NPM 1714121005

RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Tulang Bawang pada 17 Oktober 1998 sebagai anak kedua dari dua bersaudara, dari pasangan Alm. Bapak M. Nandon dan Ibu Tumiyem. Penulis menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 01 Daya Asri pada tahun 2011, Sekolah Menengah Pertama Negeri 01 Tumijajar pada tahun 2014, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 01 Tumijajar pada tahun 2017. Pada tahun 2017, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Lampung melalui jalur masuk Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan mendapat beasiswa Bidikmisi.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah mengikuti unit kegiatan mahasiswa di antaranya PERMA AGT (Persatuan Mahasiswa Agroteknologi) sebagai anggota bidang Penelitian dan Pengembangan (2018/2019), LS-MATA (Lembaga Studi Mahasiswa Pertanian) sebagai anggota bidang Lingkungan Hidup dan Iptek (2018-2019) dan Sekretaris bidang Penelitian dan Perkembangan Pertanian (2020-2021), Forkom Bm Unila (Forum Komunikasi Bidikmisi Universitas Lampung) sebagai anggota bidang PPSDM (Pengembangan dan Pembinaan Sumber Daya Mahasiswa) (2019-2020) dan Kepala bidang PPSDM (Pengembangan dan Pembinaan Sumber Daya Mahasiswa) (2020-2021). Penulis juga pernah mengikuti unit kegiatan mahasiswa eksternal yaitu PDN Wilayah 2 (Permadani Diksi Nasional Wilayah 2) sebagai anggota PSDA (Pengembangan Sumber Daya Anggota) (2021-2022).

Pada tahun 2020, penulis melakukan PU (Praktik Umum) di PT Kelapa Sawit, Mesuji selama 40 hari kerja efektif. Penulis melakukan KKN (Kuliah Kerja

Nyata) di Desa Daya Asri, Kecamatan Tumijajar Kabupaten Tulang Bawang Barat pada tahun 2021 selama 40 hari.

*“Apapun yang menjadi takdirmu, akan mencari jalannya
menemukanmu”*

(Ali Bin Abi Thalib)

*“Allah tidak akan membebani seseorang melainkan dengan
kesanggupannya”*

(Q.S Al Baqarah : 286)

*“Ketahuilah bahwa rasa syukur merupakan tingkat tertinggi dan ini
lebih tinggi daripada kesabaran, ketakutan dan keterpisahan dari
dunia”*

(Imam Al Ghazali)

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat, hidayah serta kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini yang berjudul “*Analisis Populasi Mikroorganisme di Tanah Sidosari Lampung Selatan 25 Tahun Pascaperlakuan Limbah Industri Berlogam Berat dengan Penerapan Biochar*”. Sholawat serta salam semoga selalu tercurah kepada junjungan besar Nabi Muhammad SAW yang telah memberi teladan hidup yang baik kepada kita dan yang akan kita nantikan safaatnya di yaumul akhir kelak.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan serta arahan dari banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis akan menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M. Si. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Sri Yusnaini, M.Si. selaku Ketua Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Lampung dan pembimbing pertama atas ilmu, bimbingan, motivasi, dan nasihat yang telah diberikan kepada penulis dari awal proses penelitian hingga menyelesaikan penulisan skripsi.
3. Bapak Prof. Ir. Abdul Kadir Salam, M. Sc., Ph. D., selaku pembimbing kedua atas ilmu, bimbingan, motivasi, dan nasihat yang telah diberikan kepada penulis dari awal proses penelitian hingga menyelesaikan penulisan skripsi.

4. Ibu Almh. Prof. Dr. Ir. Ainin Niswati, M. S. M. Agr. Sc. selaku pembahas, atas bimbingan, ilmu, dan nasihat yang diberikan kepada penulis.
5. Ibu Dr. Ir. Suskandini Ratih Darmawati., M. P., selaku pembahas, atas bimbingan, ilmu, dan nasihat yang diberikan kepada penulis.
6. Seluruh dosen Jurusan Agroteknologi dan Fakultas Pertanian yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan selama penulis menempuh pendidikan di Universitas Lampung.
7. Kedua orang tuaku tercinta, Alm. Bapak M. Nandon dan Ibu Tumiyem yang telah memberikan penulis segala cinta, kasih sayang, perhatian, pengorbanan, semangat, motivasi, dan doa di sepanjang hidup penulis.
8. Keluarga tercinta Mbak Nurbaiti, Mas Soni Eko Wahyudi, Adik Diaz Aidzan Mahardika, yang selalu memberikan semangat perhatian dan doa yang tulus kepada penulis.
9. Untuk Aldi Pradoni yang telah memberikan dukungan, motivasi dan semangat kepada penulis.
10. Teman-teman terbaikku Millennia Yessy Desviolla, Nur Baitullah Juniar, Antika Sari, Yosefhine Indah Apriliyani, Fika Wulandini yang telah memberikan semangat, perhatian, motivasi, dukungan serta tenaga, sehingga penelitian dan penulisan skripsi dapat berjalan dengan lancar dan selesai hingga akhir.
11. Teman-teman seperjuangan Aidila Andhaya, Nadiatus Sholiha, dan Aditya Dwi Pratama, atas kerjasama, semangat, dukungan, dan pengertian sehingga penelitian dan penulisan ini berjalan dengan lancar.
12. Mbak Icha Deska Rani, S. P., M. P., selaku pengurus Laboratorium Biologi Tanah yang telah memberikan semangat, motivasi, arahan dan dukungan kepada penulis sehingga penelitian dapat berjalan dengan lancar.
13. Seluruh teman Agroteknologi 2017 yang telah memberikan dukungan selama penulis menempuh pendidikan di Universitas Lampung.
14. Keluarga Besar Forum Komunikasi Bidikmisi/KIP-K Universitas Lampung (Forkom Bm/KIP-K Unila) atas bantuan dan motivasi yang telah diberikan kepada penulis selama penulisan skripsi.

15. Kelurga Besar UKMF LS-MATA atas dukungan dan motivasi yang telah diberikan kepada penulis selama penulisan skripsi.

Semoga bantuan yang telah diberikan kepada penulis mendapatkan balasan dari Allah SWT, dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Aamiin Yaa Rabbal Alaamiin.

Bandar Lampung,

2023

Penulis

Erninda Octalyani

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xix
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Kerangka Pemikiran	4
1.5 Hipotesis.....	7
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Populasi Mikroorganisme Tanah	8
2.2 Pengaruh Logam Berat terhadap Mikroorganisme Tanah	9
2.3 Pengaruh <i>Biochar</i> terhadap Logam Berat dan Mikroorganisme Tanah.....	11
III. BAHAN DAN METODE	14
3.1 Tempat dan Waktu.....	14
3.2 Bahan dan Alat.....	14
3.3 Metode.....	14
3.4 Sejarah Lahan Percobaan.....	17
3.5 Pelaksanaan	18
3.5.1 Pengambilan Contoh Tanah	18
3.5.2 Penyiapan <i>Biochar</i> dari Bahan Organik Sekam Padi	19
3.5.3 Percampuran Tanah dengan <i>Biochar</i>	20
3.5.4 Populasi Mikroorganisme	20
3.5.5 Analisis Tanah	23
3.6 Pengamatan	24
3.6.1 Peubah.....	24
3.7 Analisis Data	24
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Hasil Isolasi dan Karakterisasi Fungi dari Tanah Berlogam Berat yang Diaplikasi dengan <i>Biochar</i>	25

4.2 Hasil Isolasi dan Karakterisasi Bakteri dari Tanah Berlogam Berat yang Diaplikasi dengan <i>Biocha</i>	28
4.3 Pengaruh <i>Biochar</i> terhadap Populasi Fungi pada Tanah Berlogam Berat.....	30
4.4 Pengaruh <i>Biochar</i> terhadap Populasi Bakteri pada Tanah Berlogam Berat.....	34
4.5 Perubahan Cu dan Zn Akibat Perlakuan <i>Biochar</i>	36
4.6 Pengaruh <i>Biochar</i> terhadap C-Organik pada Tanah Berlogam Berat	37
4.7 Pengaruh <i>Biochar</i> terhadap pH Tanah Berlogam Berat.....	39
4.8 Hubungan pH Tanah dan C-Organik dengan Konsentrasi Logam Berat (Cu dan Zn) tersedia serta Mikroorganisme (Fungi dan Bakteri)	41
V. SIMPULAN DAN SARAN	46
5.1 Simpulan.....	46
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	51

Halaman 52-68

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Ambang batas kandungan logam berat di lingkungan.....	2
2. Tanah percobaan di Desa Sidosari, Kecamatan Natar, Lampung Selatan.....	16
3. Beberapa sifat tanah dan limbah industri pada lahan percobaan tahun 1998.....	18
4. Pengamatan fungi pada tanah berlogam berat.....	26
5. Pengamatan bakteri pada tanah berlogam berat.....	29
6. Analisis ragam pengaruh <i>biochar</i> terhadap populasi fungi pada tanah berlogam berat.....	31
7. Pengaruh tingkat limbah industri berlogam berat terhadap populasi fungi.....	31
8. Pengaruh interkasi antara limbah industri berlogam berat dengan <i>biochar</i> terhadap populasi fungi.....	32
9. Analisis ragam pengaruh <i>biochar</i> terhadap populasi bakteri pada tanah berlogam berat.....	35
10. Analisis ragam pengaruh <i>biochar</i> terhadap C-Organik tanah berlogam berat.....	38
11. Pengaruh tingkat limbah industri berlogam berat terhadap C-Organik pada tanah.....	38
12. Analisis ragam pengaruh <i>biochar</i> terhadap pH tanah berlogam berat.....	40
13. Pengaruh tingkat limbah industri berlogam berat terhadap pH tanah.....	40

14. Nilai konsentrasi Cu dan Zn tersedia dengan pH tanah.....	42
15. Uji korelasi antara limbah industri logam berat (Cu dan Zn), pH Tanah, C-Organik, serta mikroorganisme (fungi dan bakteri).....	44
16. Analisis pengaruh <i>biochar</i> terhadap populasi fungi pada tanah berlogam berat.....	52
17. Uji homogenitas ragam analisis pengaruh <i>biochar</i> terhadap populasi fungi pada tanah berlogam berat.....	53
18. Hasil analisis ragam analisis pengaruh <i>biochar</i> terhadap populasi fungi pada tanah berlogam berat.....	53
19. Analisis pengaruh <i>biochar</i> terhadap populasi bakteri pada tanah berlogam berat.....	54
20. Uji homogenitas ragam analisis pengaruh <i>biochar</i> terhadap populasi bakteri pada tanah berlogam berat.....	55
21. Hasil analisis ragam pengaruh <i>biochar</i> terhadap populasi bakteri pada tanah berlogam berat.....	55
22. Nilai fraksi labil Cu tanah tercemar berlogam berat setelah penerapan <i>biochar</i>	56
23. Nilai fraksi labil Zn tanah tercemar berlogam berat setelah penerapan <i>biochar</i>	57
24. Analisis pengaruh <i>biochar</i> terhadap C-Organik pada tanah berlogam berat.....	58
25. Analisis pengaruh <i>biochar</i> terhadap C-Organik pada tanah berlogam berat (transformasi).....	59
26. Uji homogenitas analisis pengaruh <i>biochar</i> terhadap C-Organik pada tanah berlogam berat.....	60
27. Hasil analisis ragam pengaruh <i>biochar</i> terhadap C-Organik pada tanah berlogam berat.....	60
28. Pengaruh <i>biochar</i> terhadap C-Organik pada tanah berlogam berat.....	61
29. Analisis pengaruh <i>biochar</i> terhadap pH tanah berlogam berat.....	62
30. Uji homogenitas ragam analisis pengaruh <i>biochar</i> terhadap pH tanah berlogam berat.....	63

31. Hasil analisis ragam pengaruh <i>biochar</i> terhadap pH tanah berlogam berat.....	63
32. Perubahan pH tanah berlogam berat.....	64
33. Analisis ragam regresi antara C-Organik dan logam berat (Cu).....	64
34. Analisis ragam regresi antara pH tanah dan logam berat (Cu).....	65
35. Analisis ragam regresi antara logam berat (Cu) dan fungi.....	65
36. Analisis ragam regresi antara logam berat (Cu) dan bakteri.....	65
37. Analisis ragam regresi antara C-Organik dan logam berat (Zn).....	66
38. Analisis ragam regresi antara pH tanah dan logam berat (Zn).....	66
39. Analisis ragam regresi antara logam berat (Zn) dan fungi.....	66
40. Analisis ragam regresi antara logam berat (Zn) dan bakteri.....	67
41. Analisis ragam regresi antara pH tanah dan fungi.....	67
42. Analisis ragam regresi antara pH tanah dan bakteri.....	67
43. Analisis ragam regresi antara C-Organik dan fungi.....	68
44. Analisis ragam regresi antara C-Organik dan bakteri.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran analisis populasi mikroorganismen di tanah Sidosari Lampung Selatan 23 tahun pascaperlakuan limbah industri berlogam berat dengan penerapan <i>biochar</i>	5
2. Tata letak lahan percobaan tanah limbah industri di Desa Sidosari, Kecamatan Natar, Lampung Selatan, tempat pengambilan contoh tanah.....	15
3. Tata letak percobaan.....	16
4. Cerobong asap dalam pembuatan <i>biochar</i>	19
5. Penyiraman tanah secara kapiler.....	20
6. Hasil isolasi dan karakterisasi fungi dari tanah berlogam berat yang diaplikasi dengan <i>biochar</i>	27
7. Hasil isolasi dan karakterisasi bakteri dari tanah berlogam berat yang diaplikasi dengan <i>biochar</i> , (a) Pengamatan bakteri secara makroskopis dan (b) Pengamatan bakteri secara mikroskopis.....	30
8. Populasi fungi pada tanah berlogam berat yang diberi <i>biochar</i>	33
9. Populasi bakteri pada tanah berlogam berat yang diberi <i>biochar</i>	35
10. Pengaruh <i>biochar</i> terhadap konsentrasi Cu dan Zn pada tanah berlogam berat (a) Konsentrasi Cu dan (b) Konsentrasi Zn.....	37

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah-limbah industri terus bertambah seiring dengan pesatnya perkembangan industri modern, baik dalam volume maupun jenisnya. Limbah industri, khususnya limbah industri tekstil, kertas, kosmetik, makanan, obat-obatan, dan lain-lain, merupakan salah satu penyebab masalah lingkungan akibat dari buangan limbah tersebut yang mencemari lingkungan. Akibatnya beban pencemaran lingkungan semakin berat, sedangkan kemampuan alam untuk menerima beban limbah terbatas.

Limbah industri banyak macamnya, tergantung bahan baku dan proses yang digunakan masing-masing industri. Salah satu masalah yang paling mengganggu dari limbah industri tersebut adalah kandungan logam berat (Arif, 2016). Logam berat merupakan salah satu jenis pencemar lingkungan hidup yang sangat berbahaya karena bersifat tidak dapat terbiodegradasi, bersifat toksik, serta mampu mengalami bioakumulasi melalui rantai makanan. Ketersediaan logam berat akan menurun seiring berjalannya waktu. Menurut Sukkariyah, dkk. (2005), pada 17 hingga 19 tahun setelah perlakuan limbah biosoil terjadi penurunan kandungan Cu dan Zn masing-masing sebesar 58 dan 42%. Kemampuan kapur dan bahan organik dalam menurunkan ketersediaan logam berat juga menurun bahkan hilang seiring dengan berjalannya waktu. Dengan bertambahnya waktu, kalsium dari kapur dapat tercuci dan bahan organik dapat segera terdekomposisi. Pencemaran berlogam berat diduga dapat juga menurunkan populasi dan aktivitas mikroorganisme tanah. Oleh karena itu, pencemaran oleh logam berat harus diatasi.

Dampak negatif dari logam berat harus diturunkan, untuk mengetahui pencegahan dan penanggulangan logam berat yang mencemari lingkungan sangat penting diketahui batas/nilai ambang logam di lingkungan. Ambang batas keberadaan unsur-unsur logam berat di lingkungan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ambang batas kandungan logam berat di lingkungan.

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

Sumber: Erfandi dan Juarsah (2014).

Dengan mengetahui ambang batas ketersediaan logam berat di lingkungan maka dapat ditentukan teknologi yang dapat digunakan untuk menurunkannya. Tanah merupakan komponen kunci dari ekosistem alami yang terdiri dari lima komponen utama yaitu mineral, air, udara, bahan organik, dan organisme yang hidup di dalamnya. Untuk mengatasi masalah logam berat perlu teknologi yang efektif. Teknologi pemanfaatan *biochar* dapat menjadi salah satu solusi dalam pengelolaan limbah pertanian dan perkebunan (Santi dan Goenadi, 2010). Solusi masalah logam berat diatasi di antaranya dengan pemberian amelioran, bahan pembenah tanah. Di samping itu, *biochar* dapat dikatakan sebagai deposit karbon di dalam tanah, yang berdampak bagus dalam mengurangi emisi CO₂ dan secara langsung mengurangi pengaruh pemanasan global yang berasal dari lahan-lahan pertanian (Setianingsih dan Maria., 2018). *Biochar* juga diharapkan dapat mengurangi pengaruh buruk logam berat terhadap mikroorganisme karena *biochar* dapat mengikat logam berat.

Biochar menjadi bahan pembenah tanah karena memiliki kemampuan mempertahankan keberadaan unsur hara yang sangat berguna untuk tanaman. Selain itu, *biochar* mampu mengurangi aliran permukaan akibat air berlebih dengan cara berikatan dengan unsur hara yang berada di dalam tanah (Haryadi, 2016). Kegunaan *biochar* terkait dengan mekanisme proses yang terjadi di dalam tanah adalah meningkatkan kapasitas memegang air, menurunkan pencucian nutrisi, meningkatkan kapasitas tukar kation, menurunkan *run-off* nitrogen meningkatkan biomassa dan produksi tanaman

Selain menyediakan unsur hara, bahan organik pembenah tanah seperti *biochar*, diharapkan mampu memperbaiki tanah baik dari sifat fisik maupun biologinya. Perbaikan fisika tanah terhadap struktur tanah, kemampuan tanah menyerap dan menyimpan air. Sedangkan pada perbaikan biologi tanah antara lain meningkatkan jumlah dan aktivitas mikroorganisme dalam tanah sehingga mikroorganisme dalam tanah mampu memenuhi penyediaan unsur hara dalam tanah yang berasal dari bahan organik. Selain itu, secara kimia *biochar* dapat menurunkan konsentrasi logam berat pencemar sehingga dapat meningkatkan popiiasi mikroorganisme tanah. Dari latar belakang di atas, penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh logam berat dan/atau *biochar* terhadap populasi mikroorganisme pada tanah tercemar logam berat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah apakah ada perubahan populasi mikroorganisme pada tanah Sidosari Lampung Selatan 25 tahun pascaperlakuan limbah industri berlogam berat yang diperlakukan dengan *biochar*?

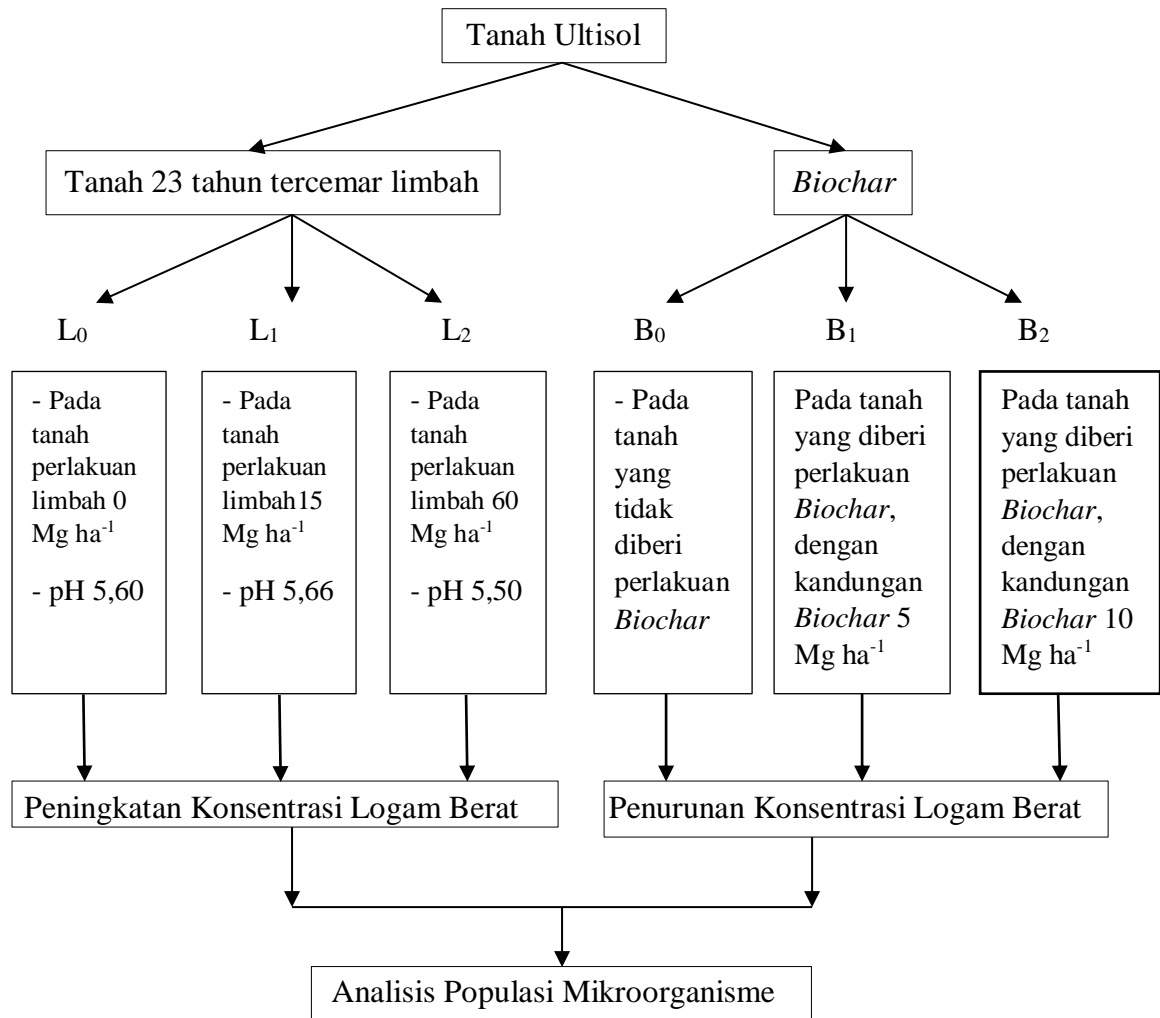
1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mempelajari populasi mikroorganisme pada tanah Sidosari Lampung Selatan 25 tahun pascaperlakuan limbah industri berlogam berat.
2. Mempelajari pengaruh *biochar* terhadap populasi mikroorganisme tanah pada tanah tercemar logam berat.

1.4 Kerangka Pemikiran

Penelitian ini didasari oleh pemikiran yang tersaji pada Gambar 1. Aktivitas manusia di bidang industri seringkali menimbulkan limbah yang tanpa disadari dapat mengakibatkan suatu permasalahan. Dampak dari limbah tersebut dapat membahayakan bagi makhluk hidup dan sekitarnya. Jika makhluk hidup termasuk manusia tidak menjaga lingkungan dengan baik dan benar, maka akan terjadi pencemaran lingkungan yang mengganggu keberlangsungan makhluk hidup. Pasal 1 butir 14 Undang-Undang (selanjutnya disingkat UU) terbaru Nomor 32 Tahun 2009 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup menegaskan “Pencemaran lingkungan adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan.” (UU Republik Indonesia No.32 Tahun 2009) (Hayati, 2018).



Gambar 1. Kerangka pemikiran analisis populasi mikroorganisme tanah Sidosari Lampung Selatan 23 tahun pascaperlakuan limbah industri dengan penerapan *biochar*.

Pencemaran lingkungan yang terjadi pada tanah biasanya disebabkan karena ulah tangan manusia (faktor antropogenik). Pencemaran lingkungan yang terjadi pada tanah dapat mengganggu populasi dan aktivitas mikroorganisme tanah. Hal yang dapat mengganggu tanah di antaranya adalah limbah kimia yang dihasilkan dari industri. Zat yang terkandung pada bahan kimia dapat berbahaya jika masuk ke dalam tanah. Tanah yang tercemar pun akan mengakibatkan terganggunya keberlangsungan hidup mikroorganisme dalam tanah. Padahal sangat diperlukan adanya bantuan dari aktivitas mikroorganisme dalam tanah untuk kesuburan tanah. Jika aktivitas mikroorganisme terganggu, maka populasi mikroorganisme

akan turun dan berakibat kurangnya unsur hara pada tanaman untuk tumbuh. Salah satu zat kimia seperti ini adalah logam berat.

Tanah yang mengandung logam berat sangat berpengaruh terhadap keberlangsungan hidup mikroorganisme di dalam tanah. Tingginya konsentrasi logam berat yang ada di dalam tanah akan mempengaruhi populasi mikroorganisme tanah. Jika populasi mikroorganisme menurun akan mengakibatkan pada kesuburan tanah. Kesuburan tanah sangat penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Salah satu cara mengatasi masalah logam berat adalah dengan penambahan *biochar*. Penambahan *biochar* ke tanah meningkatkan ketersediaan kation utama dan P, total N dan kapasitas tukar kation tanah (KTK), yang pada akhirnya meningkatkan hasil serta menurunkan ketersediaan logam berat. Penurunan ketersediaan logam berat dengan penambahan *biochar* dapat meningkatkan populasi dan aktivitas mikroorganisme. Dengan meningkatnya populasi mikroorganisme di dalam tanah, aktivitas mikroorganisme juga akan semakin meningkat.

Selain itu, *biochar* memiliki kemampuan menstabilkan logam berat pada tanah yang tercemar dengan menurunkan secara nyata penyerapan logam berat oleh tanaman dan dapat meningkatkan kualitasnya dengan memperbaiki sifat-sifat fisika, kimia dan biologi tanah (Ippolito dkk., 2012). Apabila sifat-sifat tanah terjadi secara baik maka akan membantu adanya dekomposisi dalam tanah yang dihasilkan dari mikroorganisme. Populasi mikroorganisme yang terjadi akan berlangsung dengan baik pula, dengan begitu tanah yang tercemar akan menurun dengan adanya penambahan *biochar*.

Penerapan dengan *biochar* diharapkan dapat meningkatkan populasi mikroorganisme di dalam tanah. Salah satu indikator dalam menentukan kesuburan tanah yaitu banyaknya mikroorganisme tanah. Adanya aktivitas mikroorganisme tanah yang tinggi, dapat ditemukan pada tanah yang memiliki karakteristik

lingkungan hidup mikroorganisme tanah yang baik agar dapat berkembang secara aktif.

Agar dapat mempertahankan hidup di bawah kondisi stres, bakteri mempunyai beberapa tipe mekanisme toleran dalam pengambilan ion-ion logam berat. Mekanisme ini meliputi efflux ion logam pada bagian luar sel, akumulasi dan kompleksasi ion logam pada bagian dalam sel, dan reduksi ion logam untuk menurunkan efek toksik. Mikroorganisme mempunyai kemampuan beradaptasi dan toleran terhadap kehadiran logam berat, bahkan dapat tumbuh. Pengaruh menguntungkan antara mikroorganisme dan logam adalah mikroorganisme dapat membersihkan lingkungan terkontaminasi logam, namun yang tidak menguntungkan adalah mekanisme toleran terhadap logam menyebabkan terjadinya peningkatan bakteri resisten bersifat antibiotik.

Penggunaan *biochar* sebagai pembenah tanah akan memberikan banyak manfaat bagi tanah yaitu dapat mengoptimalkan suhu pada tanah. Selain itu, dapat pula meningkatkan populasi mikroorganisme dalam tanah. Meningkatnya populasi mikroorganisme dalam tanah akan meningkatkan pula keberlangsungan aktivitas mikroorganisme dalam tanah. Keberadaan *biochar* sangat berguna untuk memperbaiki tanah yang tercemar. Adanya *biochar* yang diberikan pada tanah, diharapkan dapat memberikan dampak baik bagi tanah maupun keberlangsungan hidup biota yang ada di dalamnya.

1.5 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah :

1. Populasi mikroorganisme turun pada tanah yang diperlakukan dengan limbah industri berlogam berat.
2. Populasi mikroorganisme pada tanah tercemar logam meningkat dengan perlakuan *biochar*.
3. Interaksi antara limbah berlogam berat dan *biochar* meningkatkan populasi mikroorganisme.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Populasi Mikroorganisme Tanah

Kesuburan tanah sangat penting bagi pertumbuhan tanaman karena asupan nutrisi bagi tanaman disediakan oleh tanah. Salah satu penentu kesuburan tanah adalah aspek biologi tanah. Kualitas biologi tanah meningkat dengan adanya pengaruh dari mikroorganisme tanah. Mikroorganisme tanah yang hidup di dalam tanah di antaranya adalah bakteri dan fungi. Kedua mikroorganisme ini mampu membantu dalam meningkatkan kualitas kesuburan tanah.

Mikroorganisme melakukan berbagai aktivitas yang saling berinteraksi dengan mikroorganisme lain. Peranan mikroorganisme di dalam tanah sangat besar bagi kehidupan, mengingat semua proses dekomposisi dan mineralisasi serasah bahan organik menjadi bahan inorganik terjadi karena peranan mikroorganisme yang ada di dalam tanah. Mikroorganisme memegang peranan penting dalam ekosistem karena menguraikan sisa organik yang telah mati menjadi unsur-unsur yang dikembalikan ke dalam tanah seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), Kalsium (Ca), mangan (Mn) dan ke atmosfer (CH_4 atau CO_2) sebagai hara yang dapat digunakan kembali oleh tanaman. Unsur yang dihasilkan oleh mikroorganisme dapat membantu dalam memenuhi nutrisi yang ada di dalam tanah.

Mikroorganisme di dalam tanah memiliki banyak peran, beberapa di antaranya adalah sebagai penyedia unsur hara, perombak bahan organik, dan pemacu pertumbuhan tanaman, serta sebagai pengendali hama penyakit tanaman. Populasi mikroorganisme di dalam suatu tanah dapat menjadi indikasi kesuburan tanah tersebut. Hal tersebut dapat dikarenakan populasi mikroorganisme yang tinggi

menunjukkan keberadaan bahan organik yang cukup, ketersediaan air yang cukup, suhu, dan kondisi ekologi tanah yang sesuai (Irfan, 2014). Mikroorganisme memanfaatkan nutrisi di dalam tanah dan menghasilkan makanan berupa nitrogen, karbon, oksigen dan mineral lain yang dibutuhkan untuk tumbuh dan berkembang.

Populasi mikroorganisme berkaitan dengan ketersediaan makanan, ketersediaan air serta kesesuaian lingkungan hidup bagi mikroorganisme. Populasi mikroorganisme berkaitan dengan lingkungan hidup mikroorganisme serta kandungan bahan organik tanah. Menurut Sahara, dkk. (2019), kelimpahan mikroorganisme sangat ditentukan oleh kadar bahan organik tanah. Faktor lain yang juga menentukan adalah pH serta kelembaban tanah. Peningkatan pH tanah dapat dipengaruhi oleh dekomposisi dari bahan organik. Proses yang dihasilkan oleh bahan organik mampu menghasilkan asam organik sehingga mampu menetralkan pH tanah. Faktor lain juga yang mempengaruhi mikroorganisme tanah adalah vegetasi dan suhu. Vegetasi yang tidak seimbang akan sangat mempengaruhi kehidupan mikroorganisme. Begitu pula dengan suhu yang sering berubah dan tidak sesuai dengan kebutuhan hidup mikroorganisme.

2.2 Pengaruh Logam Berat terhadap Mikroorganisme Tanah

Logam berat merupakan bahan berbahaya dan beracun yang biasanya dihasilkan oleh industri berupa limbah. Logam berat memiliki sifat tidak *biodegradable* dan dapat bertahan untuk waktu yang lama pada tanah yang tercemar. Untuk menghilangkannya membutuhkan waktu yang relatif lama dan sangat mahal. Stabilisasi logam berat secara *in situ* dapat dilakukan dengan menambahkan senyawa yang umum digunakan seperti kapur dan kompos serta *biochar* dalam upaya untuk mengurangi bioavailabilitas logam dan meminimalkan penyerapannya oleh tanaman (Komarek dkk., 2013).

Menurut Salam (2017) bahwa pencemaran logam berat di lingkungan berasal dari dua sumber yaitu sumber alami dan antropogenik. Sumber alami dapat berupa ongkongan alami di dalam bumi yang tersingkap dan pelapukan batuan mineral

yang mengandung logam berat yang kemudian akan terakumulasi di dalam tanah. Logam berat yang terdapat dalam batuan terkikis oleh air hujan dan akan larut membentuk ion dalam air tersebut. Air yang mengandung logam berat ini kemudian mengalir ke sumber mata air dan meresap ke dalam tanah dan dapat terserap oleh akar tanaman.

Tanah secara alamiah mengandung logam berat. Sebagian logam berat tersebut, berperan dalam proses fisiologis tanaman seperti Fe, Cu, Zn dan Ni, tetapi dengan jumlah yang relatif sangat sedikit. Bila berlebih, logam berat akan memberikan efek toksisitas kepada tanaman termasuk Cd dan Pb yang sangat beracun dan sampai saat ini belum diketahui peranannya bagi tanaman. Kedua unsur ini merupakan pencemar kimia utama dalam lingkungan dan sangat beracun bagi tumbuhan, hewan dan manusia (Hidayat, 2015).

Logam berat dapat memasuki tanah melalui sumber yang berbeda-beda sehingga menjadi polutan. Pupuk, pestisida, penambahan bahan organik dan anorganik, residu limbah dan lumpur aktif mengandung sejumlah logam berat (Yulipriyanto, 2010). Kandungan logam berat yang berlebih akan sangat berpengaruh pada tanah terutama keberlangsungan hidup yang ada di dalam tanah. Salah satu logam berat sangat berpengaruh terhadap keberlangsungan hidup di dalam tanah adalah mikroorganisme tanah. Akumulasi logam yang ada pada tanah dapat mengakibatkan penurunan aktivitas mikroba tanah, kesuburan tanah, dan kualitas tanah secara keseluruhan, dan penurunan hasil dan masuknya bahan beracun ke rantai makanan (Atafar dkk., 2010). Penurunan populasi mikroba sangat mempengaruhi kualitas tanah, terutama kesuburan tanah itu sendiri.

Adanya logam berat yang terkandung pada tanah, secara tidak langsung dapat mempengaruhi keberadaan mikroorganisme yang hidup di dalam tanah. Logam berat dapat membantu terjadinya penghambatan dekomposisi dalam tanah dari bahan organik seperti Cu yang dapat menahan dekomposisi bahan organik, sehingga tidak terjadi penurunan kandungan bahan organik dalam tanah (Salam, 2017).

Logam berat dan mikroorganisme dapat memproduksi enzim tanah. Namun interaksi antara logam dan mikroorganisme dapat juga terganggu dengan kehadiran senyawa lain, seperti : mineral liat, anion inorganik, kation, kompleks bahan organik (BO), dan lainnya. Logam dapat terhidrasi, dikelat, atau dijerap oleh senyawa tersebut, sehingga ketersediaan logam berkurang sebagai akibat interaksi akibat pertukaran dengan populasi mikroorganisme. Aktivitas mikroorganisme dalam siklus karbon juga berpengaruh terhadap jumlah dan karakter bahan organik. Senyawa organik memiliki variasi ukuran dalam menjerap logam. Ukuran dari senyawa organik seperti sifat lainnya juga menentukan bila kompleks logam-organik dalam bentuk mobil atau imobil di lingkungan. Adanya degradasi oleh mikroorganisme dapat merubah senyawa logam-organik dalam bentuk imobil menjadi mobil dan menyebabkan logam larut dalam air.

2.3 Pengaruh *Biochar* terhadap Logam Berat dan Mikroorganisme Tanah

Arang sekam (*biochar*) merupakan bahan kaya karbon yang berasal dari biomassa seperti kayu maupun sisa hasil pengolahan tanaman yang dipanaskan dalam wadah dengan sedikit atau tanpa udara. Aplikasi *biochar* ke tanah pertanian memberikan manfaat agronomis yang nyata, antara lain dapat memperbaiki struktur tanah, menahan air dan tanah dari erosi karena luas permukaannya lebih besar, memperkaya karbon organik dalam tanah, meningkatkan pH tanah sehingga secara tidak langsung meningkatkan produksi tanaman (Ismail dkk., 2011).

Biochar memiliki kemampuan menstabilkan logam berat pada tanah yang tercemar dengan menurunkan secara nyata penyerapan logam berat oleh tanaman dan dapat meningkatkan kualitasnya dengan memperbaiki sifat fisik kimia dan biologi tanah (Ippolito et al. 2012). Sifat fisik kimia dan biologi tanah merupakan komponen penting dalam tanah. Apabila sifat yang ada dalam tanah terganggu dengan adanya keberadaan logam berat maka akan mengakibatkan keberlangsungan hidup mikroorganisme akan terhambat. Oleh karena itu,

penerapan *biochar* berpotensi untuk dapat memberikan solusi baru untuk perbaikan dari tanah yang tercemar oleh logam berat. Stabilisasi logam berat dalam tanah dengan penerapan *biochar* dapat melibatkan sejumlah mekanisme (Lu dkk., 2012). Mekanisme yang digunakan oleh *biochar* mampu mengurangi adanya pengaruh dari logam berat di dalam tanah.

Manfaat *biochar* ini sangat penting untuk menambah nutrisi yang ada pada tanah. Park (2011) menyatakan perkembangan terbaru penanganan tanah yang tercemar dengan logam berat adalah dengan menggunakan *biochar*. *Biochar* merupakan biomassa organik yang mengalami proses pirolisis dan dapat dibuat dengan skala yang sederhana dapat dikembangkan untuk mengatasi masalah lingkungan tercemar hingga level terendah seperti pada petani. *Biochar* memiliki area permukaan besar, dan kapasitas yang tinggi untuk menyerap logam berat dapat berpotensi digunakan untuk mengurangi bioavailabilitas dan pelindian logam berat dan juga polutan organik dalam tanah melalui adsorpsi dan reaksi fisikokimia lainnya. Aplikasi *biochar* untuk perbaikan dari tanah yang tercemar dapat memberikan solusi baru untuk masalah polusi tanah dengan logam berat.

Jiang (2010) juga menyebutkan bahwa pemakaian *biochar* jerami padi dapat mengurangi mobilitas radikal Pb, Cd pada tanah ultisol yang ber-pH rendah dan penyerapan non-elektrostatik sangat berperan pada jenis *biochar* ini. Aplikasi *biochar* dapat meningkatkan pH tanah dan kation kapasitas tukar, dan kemudian meningkatkan imobilisasi logam berat dalam tanah.

Pemanfaatan *biochar* pada tanah terkontaminasi adalah untuk menghilangkan keaktifan ion-ion logam berat, sehingga tidak masuk ke dalam sistem rantai makanan pada manusia dan tidak membahayakan karena akan segera terjerap dan mengendap. Hal ini sangat berhubungan dengan kualitas *biochar* yang dihasilkan, *biochar* yang diproduksi dengan suhu yang tinggi ($\geq 600^{\circ}\text{C}$) umumnya memiliki luas permukaan yang tinggi baik untuk penjerapan secara fisika, tetapi mempunyai sedikit gugus fungsional dan kandungan hara yang rendah.

Sebaliknya *biochar* yang dibentuk dengan suhu 400-500°C memiliki gugus fungsional yang beragam dan relatif mengandung hara (Zhen dkk., 2013).

Pembakaran pirolisis merupakan salah satu cara untuk pembuatan *biochar*, yaitu dengan cara biomassa dibakar dalam kondisi oksigen terbatas. Pirolisis terdiri dari pirolisis cepat dan pirolisis lambat yang dibedakan terutama oleh suhu, laju pemanasan dan waktu. Kondisi proses pirolisis juga menentukan sifat produk yang dihasilkan. Kualitas *biochar* juga dilihat dari karakteristik *biochar*.

Karakteristik *biochar* mempunyai sifat afinitas yang tinggi terhadap hara dan persisten dalam tanah dan persistensi dalam tanah karena mengandung karbon (C) yang tinggi, lebih dari 50% dan tidak mengalami pelapukan lanjut sehingga stabil sampai puluhan tahun di dalam tanah. Sifat afinitas yang tinggi terletak pada permukaan *biochar* yang luas dan berpori sehingga densitasnya tinggi. Sifat tersebut membuat *biochar* dapat mengikat pupuk dan air yang cukup tinggi. Dan karena memiliki Kapasitas Tukar Kation (KTK) yang tinggi, *biochar* juga dapat meningkatkan kandungan nitrogen (N) di dalam tanah (Herlambang, dkk., 2020).

Karakteristik *biochar* berperan pada fungsinya diantaranya sebagai perbaikan kualitas tanah. Karakterisasi bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat dasar dari *biochar* yang meliputi: 1) pH, 2) kemampuan memegang air, 3) kadar abu, 4) karbon terikat, 5) kadar air, 6) zat mudah menguap, dan 7) rendemen *biochar*. Perbedaan bahan baku dan proses pembakaran pirolisis *biochar* akan mempengaruhi sifat fisik dan kimia pada *biochar* (Vera, dkk., 2021).

Mikroorganisme tanah sangat berperan penting dalam memelihara produktivitas tanaman melalui keterlibatan mereka dalam mineralisasi dan pemisahan senyawa organik kompleks dalam tanah. Karena kepekaan mereka terhadap perubahan lingkungan, populasi mikroba tanah, struktur komunitas, dan aktivitas fisiologis di dalam tanah dapat menjadi terpengaruh oleh keberadaan *biochar*. Dari percobaan sebelumnya telah dilaporkan bahwa aplikasi *biochar* dapat meningkatkan atau menurunkan aktivitas yang berkaitan dengan transformasi C, N, dan P dalam tanah (Liao, dkk., 2016).

III. BAHAN DAN METODE

3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan dari Mei – Oktober 2021. Contoh tanah diambil dari petak percobaan yang terletak di Desa Sidosari, Kecamatan Natar, Lampung Selatan, yang telah dibuat pada Juli 1998 (Gambar 2). Analisis populasi mikroorganisme dilaksanakan di Laboratorium Ilmu Tanah dan Laboratorium Bioteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

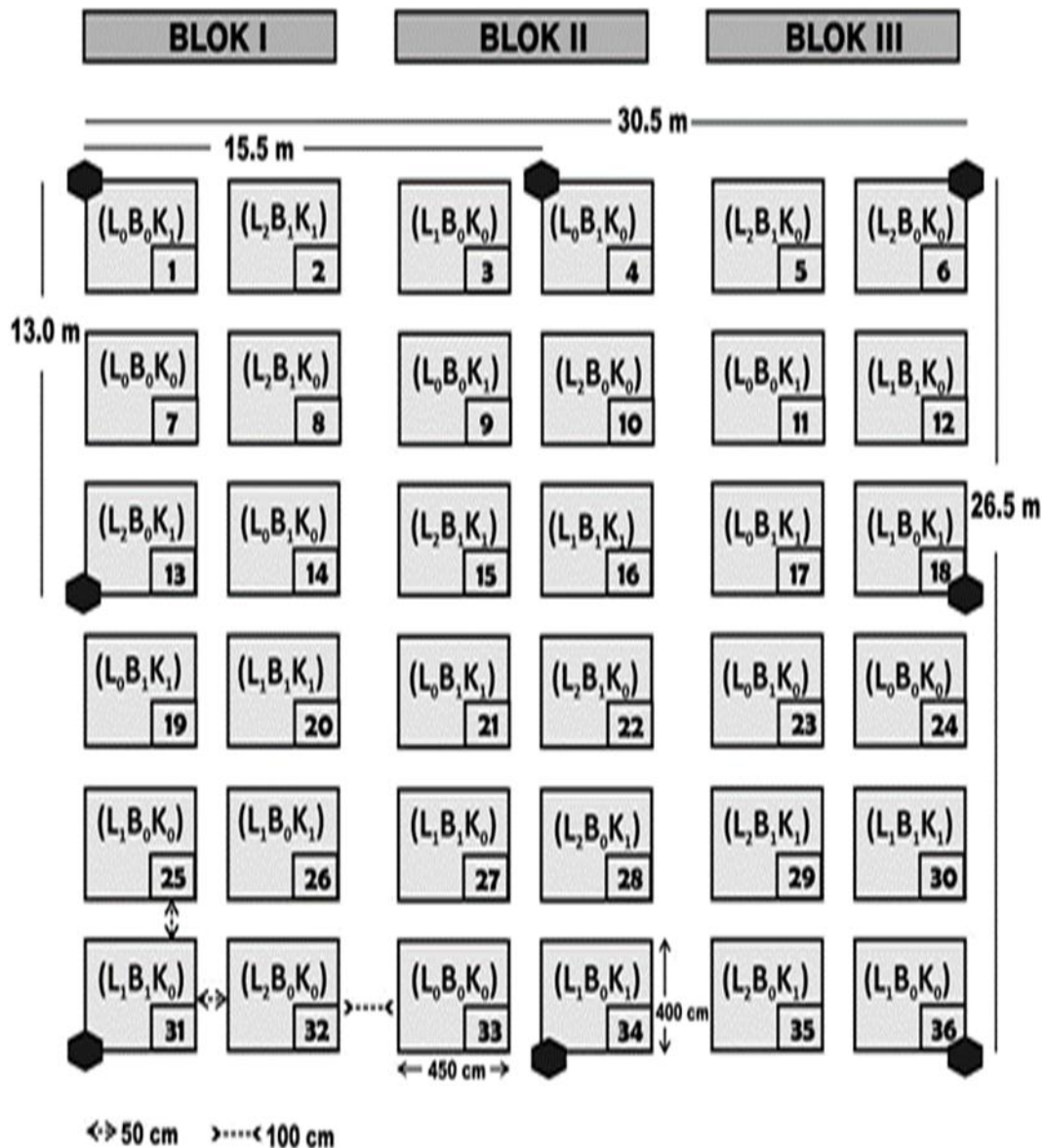
3.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah contoh tanah berlogam berat berumur 25 tahun, *biochar* dari bahan organik sekam padi, air destilata, larutan standar Cu dan Zn, 1 N HNO₃, PDA, NA, dan agar-agar.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat tulis, cangkul, timbangan digital, ember, plastik, kawat strimin, sekop, pisau lapang, meteran, karung tempat tanah, kertas saring, dan alat-alat yang menunjang analisis di laboratorium.

3.3 Metode

Penelitian ini disusun secara faktorial dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dan diulang 3 kali dengan menggunakan dua faktor.



- Patok Besi

Gambar 2. Tata letak lahan percobaan limbah industri di Desa Sidosari, Kecamatan Natar, Lampung Selatan, tempat pengambilan contoh tanah. (L = limbah industri, L_0 = tanpa limbah industri, L_1 = limbah industri 15 Mg ha^{-1} , L_2 = limbah industri 60 Mg ha^{-1} ; B = bahan organik, B_0 = tanpa kompos bahan organik, B_1 = kompos bahan organik 5 Mg ha^{-1} ; B_2 = bahan organik 10 Mg ha^{-1} , K = kapur, K_0 = tanpa kapur, K_1 = kapur 5 Mg ha^{-1}).

Faktor pertama adalah jenis tanah tiga buah yaitu tanah dengan perlakuan limbah industri, tanpa kompos, dan tanpa kapur (Tabel 1), yaitu S_0 = limbah industri 0 Mg ha^{-1} , tanpa *biochar*, dan tanpa kapur, S_1 = limbah industri 15 Mg ha^{-1} , tanpa

biochar, dan tanpa kapur; S₂ = limbah industri 60 Mg ha⁻¹, tanpa *biochar*, dan tanpa kapur. Faktor yang kedua yaitu *biochar*, B₀ = *biochar* 0 Mg ha⁻¹, B₁ = *biochar* 5 Mg ha⁻¹, dan B₂ = *biochar* 10 Mg ha⁻¹. Tata letak percobaan perlakuan disajikan pada Gambar 3.

Tabel 2. Tanah percobaan di Desa Sidosari, Kecamatan Natar, Lampung Selatan.

Tingkat Limbah	Asal Tanah	Limbah	Kompos	Kapur
.....Mg ha ⁻¹				
Kontrol	L ₁ B ₀ K ₀	0	0	0
Rendah	L ₂ B ₀ K ₀	15	0	0
Tinggi	L ₃ B ₀ K ₀	60	0	0

Keterangan : L = limbah industri, L₀ = tanpa limbah industri, L₁ = limbah industri 15 Mg ha⁻¹, L₂ = limbah industri 60 Mg ha⁻¹; B = bahan organik, B₀ = tanpa bahan organik, B₁ = bahan organik 5 Mg ha⁻¹; B₂ = bahan organik 10 Mg ha⁻¹, K = kapur, K₀ = tanpa kapur, K₁ = kapur 5 Mg ha⁻¹).

Kombinasi perlakuan limbah industri dengan penerapan *biochar* pada tanah logam berat

I	II	III
L ₀ B ₀	L ₁ B ₀	L ₂ B ₀
L ₁ B ₀	L ₂ B ₀	L ₀ B ₁
L ₂ B ₀	L ₀ B ₁	L ₀ B ₂
L ₀ B ₁	L ₀ B ₂	L ₁ B ₁
L ₀ B ₂	L ₁ B ₁	L ₂ B ₁
L ₁ B ₁	L ₂ B ₁	L ₁ B ₂
L ₂ B ₁	L ₁ B ₂	L ₂ B ₂
L ₁ B ₂	L ₂ B ₂	L ₀ B ₀
L ₂ B ₂	L ₀ B ₀	L ₁ B ₀

Gambar 3. Tata letak percobaan.

Keterangan :

- L₀ = Limbah Industri 0 Mg ha⁻¹, tanpa bahan organik, tanpa kapur
- L₁ = Limbah Industri 15 Mg ha⁻¹, tanpa bahan organik, tanpa kapur
- L₂ = Limbah Industri 60 Mg ha⁻¹, tanpa bahan organik, tanpa kapur
- B₀ = *Biochar* 0 Mg ha⁻¹
- B₁ = *Biochar* 5 Mg ha⁻¹
- B₂ = *Biochar* 10 Mg ha⁻¹

3.4 Sejarah Lahan Percobaan

Lahan penelitian terletak di Desa Sidosari Kecamatan Natar, Lampung Selatan, telah mendapatkan perlakuan limbah (L) 0 Mg ha⁻¹ (L₀), 15 Mg ha⁻¹ (L₁), dan 60 Mg ha⁻¹ (L₂); kompos daun singkong (B) 0 Mg ha⁻¹ (B₀) dan 5 Mg ha⁻¹ (B₁); serta kapur (K) 0 Mg ha⁻¹ (K₀) dan 5 Mg ha⁻¹ (K₁), yang diaplikasikan dengan cara disebar di permukaan tanah dan diolah (dibajak dan digaru masing-masing sebanyak 2 kali) hingga kedalaman 20 cm pada Juli 1998 (Gambar 2). Lahan diaplikasikan dengan limbah industri sendok logam yang berasal dari PT *Star Metal Ware Industry*, Jakarta. Limbah tersebut memiliki pH 7,30; dengan kandungan Cu 754 mg kg⁻¹ dan Zn 44,5 mg kg⁻¹. Bahan kompos berasal dari daun singkong yang diperoleh dari perkebunan singkong PT *Nusantara Tropical Fruits* di Way Jepara, Lampung Timur.

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

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

Jenis Analisis	Metode	Fraksi (%)	Tanah	Limbah Industri
Tekstur	Hidrometer	Pasir	41,2	
		Debu	26,0	
		Liat	32,8	
pH	Elektrode		5,11	7,3
C-Organik (g kg ⁻¹)	Wallkey and Black		1,28	754
Cu (mg kg ⁻¹)	DTPA		-	44,6
Zn (mg kg ⁻¹)	DTPA		-	2,44
Pb (mg kg ⁻¹)	DTPA		-	0,12

Sumber : (Salam, 2005)

3.5 Pelaksanaan

Pelaksanaan penelitian meliputi beberapa tahapan di antaranya pengambilan contoh tanah, penyiapan *biochar* dari bahan organik sekam padi, pencampuran tanah dengan *biochar*, perlakuan tanah dan *biochar* inkubasi, analisis populasi mikroorganisme.

3.5.1 Pengambilan Contoh Tanah

Contoh tanah yang digunakan untuk penelitian ini diambil dari tanah Sidosari Lampung Selatan (Gambar 1). Contoh tanah diambil dengan menggunakan cangkul dengan kedalaman 0-15 cm dengan cara komposit dari 5 titik pengambilan. Setiap jenis tanah diambil dari 3 unit percobaan yang identik seluruh contoh tanah. Pada petak percobaan sejenis dicampur dan diaduk rata (Gambar 1).

3.5.2 Penyiapan *Biochar* dari Bahan Organik Sekam Padi

Biochar dibuat dari sekam padi menggunakan tungku sederhana. Instalasi cerobong ruang untuk proses pembakaran dibuat dengan menyiapkan kawat strimin berukuran 1 x 2 m² yang digulung, sehingga membentuk silinder dengan diameter 10 cm. Gulungan diikat menggunakan kawat supaya tidak lepas. Gulungan kawat yang sudah jadi diletakkan secara vertikal pada tempat yang kering dan datar untuk proses pembakaran. Sekam padi yang akan dibuat *biochar* diletakkan pada sekeliling instalasi pembakaran hingga membentuk gunung. Setelah itu, kertas koran atau serpihan kardus dimasukkan ke dalam lubang instalasi dan dibakar. Pembakaran dilakukan hingga lubang mengeluarkan asap (sebagai tanda pembakaran sudah mulai terjadi). Pembakaran sekam akan terjadi secara bertahap.

Proses pembuatan *biochar* memakan waktu sekitar 4-5 jam. Selama proses pembakaran suhu *biochar* diukur, perapiannya harus dijaga jangan sampai api menyala karena akan mengakibatkan *biochar* menjadi abu. Sekam padi yang belum terbakar dinaikkan menggunakan sapu supaya dapat terbakar semua. *Biochar* yang sudah jadi dijemur untuk mengurangi kadar airnya. *Biochar* yang sudah dijemur dan diukur kadar airnya bisa langsung diaplikasikan. Proses pembuatan *biochar* dapat dilihat pada Gambar 4.

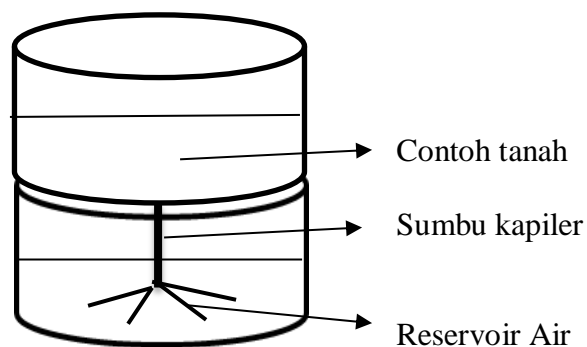


Gambar 4. Cerobong asap dalam pembuatan *biochar*.

3.5.3 Percampuran Tanah dengan *Biochar*

Sebanyak 200 gram contoh tanah pada masing-masing perlakuan setara dengan berat kering oven (105°C selama 24 jam) digunakan sebagai satuan percobaan, dipisahkan untuk 3 perlakuan yang berbeda yaitu tanah tanpa *biochar* (kontrol), tanah yang dicampur dengan *biochar* 5 Mg ha^{-1} , dan tanah yang dicampur dengan *biochar* 10 Mg ha^{-1} . Masing-masing satuan diulang sebanyak 3 kali, sehingga akan didapatkan 27 satuan percobaan (Gambar 3). *Biochar* juga diberikan setara dengan berat kering oven.

Tanah dan *biochar* diaduk secara rata. Setelah campuran merata, masing-masing tanah dimasukkan ke dalam kantong plastik yang berbeda dan ditambahkan air sebanyak 40% dan diinkubasikan selama 4 pekan. Air ditambahkan secara kapiler untuk mengimbangi kehilangan air akibat penguapan (Gambar 5).



Gambar 5. Penyiraman tanah secara kapiler.

3.5.4 Populasi Mikroorganisme

1. Populasi Mikroorganisme

- **Pembuatan Seri Pengenceran**

Pembuatan seri pengenceran pada populasi mikroorganisme dilakukan dengan cara memasukkan sebanyak 90 ml larutan fisiologis ($8,5\text{ g/1 L}$ aquades) ke dalam erlenmayer 250 ml. Tabung reaksi disiapkan dan dimasukkan sebanyak 9 ml larutan fisiologis serta disiapkan sebanyak 7 tabung reaksi. Erlenmayer dan tabung reaksi lalu ditutup dengan menggunakan kapas dan aluminium foil.

Setelah ditutup, erlenmayer dan tabung reaksi yang berisi larutan fisiologis di autoklaf selama 20 menit pada temperatur suhu 121°C. Larutan tersebut lalu didinginkan sampai suhu sebelum digunakan. 10 g sampel tanah kemudian dimasukkan sesuai perlakuan ke dalam erlenmayer berisi 90 ml larutan fisiologis dan dikocok secara perlahan. Larutan ini mempunyai pengenceran 10^{-1} . Setelah tercampur rata, pipet ukur steril diambil dan di pipet secara hati-hati 1 ml larutan tanah dari erlenmayer tersebut dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 ml larutan fisiologis steril. Tanah yang menempel pada dinding pipet dibasahi dengan larutan fisiologis pada tabung tersebut dan dikocok perlahan. Larutan ini dinamakan pengenceran 10^{-2} . Dengan menggunakan pipet seteril, 1 ml larutan 10^{-3} ini dipindahkan ke dalam 9 ml larutan fisiologis selanjutnya, suspensi ini memiliki pengenceran 10^{-2} . Demikian seterusnya sampai memperoleh pengenceran 10^{-8} (Niswati, dkk., 2019).

- **Pembuatan Medium Biakan**

Dalam pembuatan medium biakan terdapat dua biakan yang digunakan, yaitu medium biakan untuk bakteri dan untuk fungi. Pembuatan medium biakan untuk bakteri dengan menggunakan *agar nutrient* (NA). Cara pembuatan medium biakan dengan menggunakan NA adalah dengan NA instan yang sudah jadi disiapkan sebanyak 28 g, agar-agar 20 g, antibiotik kentocinazole 100 g, aquades 1000 ml. Dari masing-masing bahan dalam erlenmayer dilarutkan sesuai dengan komposisi yang diinginkan. Dalam pembuatan media biakan ini, perlu diperhatikan bahwa volume medium sebaiknya tidak lebih dari sepertiga volume erlenmayer. Tujuannya agar ketika medium mendidih saat disterilisasi larutan tidak tumpah atau menyentuh kapas penutup. Medium tersebut kemudian disterilkan dalam autoklaf dengan temperatur 120°C selama 15 menit. Selain itu, tujuan dari pemberian antibiotik kentocinazole agar mengurangi tingkat kontaminan yang terjadi pada media.

Sedangkan dalam pembuatan medium biakan untuk fungi dengan menggunakan *potato dextrose agar* (PDA). Cara pembuatan medium biakan dengan menggunakan PDA adalah dengan PDA instan yang sudah jadi disiapkan

sebanyak 39 g, agar-agar 20 g, aquades 1000 ml. Dari masing-masing bahan dalam erlenmayer dilarutkan sesuai dengan komposisi yang diinginkan. Namun dalam pembuatan media biakan ini, perlu diperhatikan bahwa volume medium sebaiknya tidak lebih dari sepertiga volume erlenmayer. Tujuannya agar ketika medium mendidih saat disterilisasi larutan tidak tumpah atau menyentuh kapas penutup. Medium tersebut kemudian disterilkan dalam autoklaf dengan temperatur 50-55°C. Bila suhu terlalu, uap air masih sangat banyak dan mikroorganisme akan mati. Sedangkan bila terlalu tinggi dingin, medium akan segera membeku dan tidak bisa dituang ke cawan petri lagi (Niswati, dkk., 2019).

- **Isolasi Mikroorganisme**

Dalam melakukan isolasi mikroorganisme yaitu dengan cara mengambil 1 ml larutan tanah. Untuk menghitung total bakteri dari serial pengenceran 10^{-5} sampai 10^{-7} dan untuk menghitung total fungi dari serial pengenceran 10^{-4} sampai 10^{-6} serta dimasukkan ke dalam cawan petri steril tanpa medium (kosong). Untuk tanah-tanah yang diduga aktivitas mikroorganismenya rendah, dengan cara larutan tanah diambil dari pengenceran yang lebih rendah. Lebih kurang 12 sampai 15 ml lalu dituangkan medium biakan yang bertemperatur sekitar 45-50°C cawan petri yang berisi 1 ml larutan tanah. Selanjutnya diberi label pada masing-masing cawan petri. Untuk mencegah jatuhnya uap air ke medium, lebih baik cawan petri digunakan pada saat sudah memadat. Kemudian di inkubasi biakan mikroorganisme tersebut pada suhu ruang atau inkubasi pada suhu antara 28-30°C (Niswati, dkk., 2019).

- **Identifikasi Fungi**

Setelah melakukan isolasi mikroorganisme, selanjutnya pengamatan bentuk koloni dan konidia. Pengamatan fungi dimulai pada hari pertama selama satu minggu. Koloni yang tumbuh baik pada fungi dihitung. Untuk koloni yang tumbuh baik dengan memperhatikan jenis koloni yang muncul dan menentukan ada berapa jenis yang dapat dilihat dari warna dan pinggiran (bergerigi, mulus, berhifa). Hasil yang diperoleh kemudian diamati dan dicatat. Apabila tidak terjadi

demikian, maka ada kemungkinan-kemungkinan sebagai berikut : pembuatan seri pengenceran yang tidak teliti, telah terjadi kontaminasi atau pelarutan tidak sempurna. Apabila dari seri pengenceran yang paling tinggi jumlah koloni yang dihasilkan melebihi 300 koloni per-cawan petri, berarti pengenceran terlalu rendah. Sebaliknya apabila pengenceran yang paling rendah jumlah koloni yang dihasilkan kurang dari 30 koloni per-cawan petri berarti pengenceran terlalu tinggi.

- **Identifikasi Bakteri**

Pengamatan bakteri dimulai pada hari ketiga selama satu minggu. Koloni yang tumbuh baik pada bakteri dihitung. Untuk koloni yang tumbuh baik dengan memperhatikan jenis koloni yang muncul dan menentukan ada berapa jenis yang dapat dilihat dari warna, elevasi (cembung, rata, cekung), pinggiran (bergerigi, mulus, berhifa). Hasil yang diperoleh kemudian diamati dan dicatat. Apabila tidak terjadi demikian, maka ada kemungkinan-kemungkinan sebagai berikut : pembuatan seri pengenceran yang tidak teliti, telah terjadi kontaminasi atau pelarutan tidak sempurna. Apabila dari seri pengenceran yang paling tinggi jumlah koloni yang dihasilkan melebihi 300 koloni per-cawan petri, berarti pengenceran terlalu rendah. Sebaliknya apabila pengenceran yang paling rendah jumlah koloni yang dihasilkan kurang dari 30 koloni per-cawan petri berarti pengenceran terlalu tinggi. Perhitungan pada cawan petri yang jumlah koloninya 30-300 per cawan petri dapat menggunakan *Quebec Colony Counter*.

3.5.5 Analisis Tanah

Analisis tanah meliputi reaksi tanah (pH) dengan menggunakan alat electrode pH dan pengekstrak air destilata dengan perbandingan tanah dan air destilata (1 : 2) serta ketersediaan logam berat Cu dan Zn dengan pengekstrak 1 N HNO₃ menggunakan AAS. Analisis ketersediaan logam berat Cu dan Zn dilakukan

dengan pengekstrak 1 N HNO₃ yaitu dengan menggunakan prosedur yaitu :

1. Sebanyak 10 g contoh tanah yang ditimbang dan dimasukkan ke dalam botol pengocok.
2. Sebanyak 20 ml larutan pengekstrak 1 N HNO₃ ditambahkan ke dalam botol kocok yang berisi contoh tanah.
3. Tabung pengocok yang berisi campuran contoh tanah dan pengekstrak 1 N HNO₃ dikocok selama 2 jam.
4. Suspensi disaring dengan menggunakan kertas saring untuk memisahkan fase cair.
5. Filtrat dari hasil saring dianalisis dengan AAS (Suleman, 2005).

3.6 Pengamatan

3.6.1 Peubah

Variabel utama yang diamati dalam penelitian ini adalah populasi mikroorganisme dengan metode cawan. Sedangkan variabel pendukung yang diamati dalam penelitian ini adalah pH tanah (elektrometri) Cu dan Zn tersedia serta C-Organik.

3.7 Analisis Data`

Homogenitas ragam dari masing-masing peubah yang diamati diuji dengan menggunakan uji Bartlett dan adifitas data diuji meggunakan uji Tukey. Jika data yang diuji sudah sesuai kemudian data akan dianalisis dengan sidik ragam yang dilanjutkan dengan menggunakan Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf nyata 5%.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

1. Fungi yang terdapat dalam tanah penelitian adalah *Aspergillus* sp. dan bakteri yang terdapat dalam tanah penelitian adalah *Pseudomonas* sp.
2. Fungi tanah meningkat dengan meningkatnya logam berat yang berasal dari limbah industri dan adanya perlakuan berbagai dosis *biochar*.
3. Bakteri tanah menurun dengan meningkatnya logam berat yang berasal dari limbah industri dan adanya perlakuan berbagai dosis *biochar*.

5.2 Saran

Dalam penelitian mendatang perlu dilakukan penelitian berlanjut dan lebih mendalam terkait pemberian *biochar* dengan jenis yang berbeda. Sehingga dapat digunakan untuk menurunkan kelarutan logam berat tanah dan meningkatkan berbagai jenis mikroorganisme yang ada di dalam tanah logam berat, baik logam berat Cu, Zn maupun unsur logam berat lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abna, I. M., Putu, G. M., dan Mellova, A. 2020. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Tanah Di Kelurahan Kampung Melayu Jakarta Timur. *J Archives Pharmacia*. 2 (2) : 102-111.
- Arif, M. 2016. *Pengolahan Limbah Industri*. CV ANDI OFFSET. Yogyakarta. 150 hlm.
- Atafar Z, Alireza M, Jafar N, Mehdi H, Masoud Y, Mehdi A, Amir H M. 2010. Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration Environ Monit Assess. *J Environ Qual*. 10 : 122-125 hlm.
- Balai Penelitian Tanah. 2009. *Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Petunjuk Teknis Edisi 2. Balai Penelitian Tanah. Bogor. 246 hlm.
- Erfandi, D. dan I. Juarsah. 2014. *Teknologi Pengendalian Pencemaran Logam Berat pada Lahan Pertanian*. Konservasi Tanah Menghadapi Perubahan Iklim. 159-186 hlm.
- Ginanjari, K. 2009. *Fraksi Labil Tembaga dan Seng dalam Tanah pada 10 tahun Setelah Perlakuan dengan Limbah Industri*. Skripsi. Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Bandar Lampung. 68 hlm.
- Handayanto, E.H., Nuraini Y., Nurul M., Netty S., dan Amrullah F., 2017. *Fitoremediasi dan Phytomining Logam Berat Pencemar Tanah*. UB Press. Malang. 120 hlm.
- Hardjowigeno, S. 2007. *Ilmu Tanah*. Akademia Pressindo. Jakarta.
- Haryadi, A. 2016. *Pengaruh Residu Biochar terhadap Pertumbuhan dan Serapan N dan K Tanaman Kedelai (Glycine max L.) pada Topsoil dan Subsoil Tanah Ultisol*. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 110 hlm.
- Hayati, M. 2018. Perlindungan Hukum Bagi Masyarakat Terhadap Pencemaran Lingkungan Akibat Budidaya Burung Walet. *Jurnal Penelitian Hukum*. 21 (1) : 38-54 hlm.
- Herlambang, S., Purwono, B. S., Muammar, G., dan Astrid, W. A. W. 2020. *Buku Ajar Biochar : Salah Satu Alternatif untuk Perbaikan Lahan dan Lingkungan*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat. UPN Veteran Yogyakarta. 106 hlm.

- Hidayat, B. 2015. Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat dengan Menggunakan Biochar. *Jurnal Pertanian Tropik*. 2 (1) : 51-61 hlm.
- Ippolito JA, Laird DA, Busscher WJ. 2012. Environmental benefits of biochar. *J Environ Qual*. 41 : 967–972 hlm.
- Irfan M. 2014. Isolasi dan enumerasi bakteri tanah gambut di perkebunan kelapa sawit PT. Tambang Hijau Kecamatan Tambang Kabupaten Kampar. *Jurnal Agroteknologi*. 5(1): 1–8 hlm.
- Ismail, M., Basri, A.B. 2011. *Pemanfaatan Biochar Untuk Perbaikan Kualitas Tanah*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP). Aceh. 180 hlm.
- Ismail, M., P. Yudono dan S. Waluyo. 2017. Tanggapan Dua Kultivar Kedelai (*Glycine max* L.) Terhadap Empat Aras Salinitas. *Vegetalika*. 7 (2): 16-29 hlm.
- Jiang, H. 2010. *Characterization of Microbial Life Colonizing Biochar and Biochar-Amended Soil*. Cornell University. Cornell. 110 hlm.
- Komárek M, Vaněk A, Ettler V. 2013. Chemical stabilization of metals and arsenic in contaminated soils using oxides-a review. *Environ Pollut*. 172 : 9–22 hlm.
- Lehmann J, Rondon. 2006. Biochar soil management on highly weathered soil in the humid tropics. *Soil Biology*. 5 : 517-530 hlm.
- Liao, Na., Qi Li, Wen Zhang, Guangwei Zhou, Lijuan Ma, Wei Min, Jun Ye, Zhenan Hou. 2016. Effects of biochar on soil microbial community composition and activity in drip-irrigated desert soil. *Soil Biology*. 72 : 27-34 hlm.
- Lu H, Zhang YY, Huang X, Wang S, Qiu R, 2012. Relative distribution of Pb²⁺ sorption mechanisms by sludge-derived biochar. *Wat Res*. 46 : 854 hlm.
- Niswati, A., Dermiyati, S. Yusnaini, M. A. S. Arif. 2019. *Penuntun Praktikum Biologi Tanah & Biologi dan Kesehatan Tanah*. Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung. 7-16 hlm.
- Nugroho, S. G. 2013. *Biologi dan Kesehatan Tanah*. Universitas Lampung. Bandar Lampung 277 hlm.
- Nurida, N., dan Jubaedah. 2014. *Konservasi Tanah Menghadapi Perubahan Iklim*. Badan Penelitian Tanah.
- Park, J.H, Girish K. C, Nanthi S. B, Jae W C, Thammareed C, 2011. Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant Soil*. 348 : 439–451 hlm.

- Riyanto. 2013. *Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)*. Deepublish. Yogyakarta. 235 hlm.
- Sahara, N. Wardah, dan Rahmawati. 2019. Populasi fungi dan bakteri tanah di hutan pegunungan dan dataran rendah di kawasan taman nasional Lore Lindu Sulawesi Tengah. *J. Forest Sains*. 16 (2),85 – 93 hlm.
- Salam, A. K. 2005. Depth-Wise Distribution of Extracted Cu dan Zn in Cultivated Field-Plots Three Years After Treatment with A Cu- and Zn-Containing Waste, Lime, and Cassava-Leaf Compost. *J. Tanah Trop*. 11 (1), 9-14 hlm.
- Salam, A. K. 2017. *Management Of Heavy Metals In Tropical Soil Environment*. Global Madani Press. Bandar Lampung. 270 hlm.
- Santi, L. dan Goenadi, D.H. 2010. *Pemanfaatan Biochar Sebagai Pembawa Mikroba untuk Pemantap Agregat Tanah Ultisol dari Taman Bogo-Lampung*. Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan. Bogor.
- Setianingsih, T. dan Maria. 2018. *Biochar dan Fungsionalisasi Biochar*. UB Press. Malang. 230 hlm.
- Soelaiman, Z. M and H. M. Anwar. 2015. Application of Biochars for Soil Constraints. *Challenges and Solution*. 25 (5) : 631-638 hlm.
- Srikandi, F. 1992. *Strategi Riset Mikrobiologi untuk Meningkatkan Keamanan Pangan di Indonesia*. IPB Press. 68 hlm.
- Sukkariyah, B. F., G. Evanylo, L. Zelazny, dan R. L. Chaney. 2005. Cadmium, copper, nickel, and zinck availability in a biosoilds-amended piedmont soil years after application. *J. Environ. Qual*. 34: 2255-2262 hlm.
- Sulaeman, Suparto, Eviati, Prasetyo B.H., Santoso, D., Widowati, L.R., Aprillani, S.E., Manalu, F., Supardi, D. dan Nuraini. 2005. *Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Balai Penelitian Tanah. Bogor. 234 hlm.
- Susilo, F. X. 2013. *Aplikasi Statistika untuk Analisis Data Riset Proteksi Tanaman*. Anugrah Utama Raharja (AURA). Bandar Lampung. 168 hlm.
- Susilowati, G. 2018. *Ketersediaan Cu dan Zn dalam Tanah Ultisol Sidosari 20 Tahun Setelah Perlakuan dengan Limbah Industri, Kapur, dan Kompos Daun Singkong*. Skripsi. Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Bandar Lampung. 41 hlm.
- Suyono, Y dan F. Salahudin. 2011. Identifikasi dan Karakterisasi Bakteri *Pseudomonas* pada Tanah yang Terindikasi Terkontaminasi Logam. *Jurnal Biopropal Industri*. 01 (02) : 1-2 hlm.

- Thies JE, Rillig MC. 2009. *Characteristics of Biochar: Biological Properties*. U.S.A. 150 hlm.
- Vera, P., Syakur, dan Darusman. 2021. Karakteristik Biochar Sekam Padi Pada Dua Temperatur Pirolisis. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*. 06 (04) : 732-733.
- Yasin, S. 2007. *Degradasi Laha Pada Kebun Campuran dan Tegalan*. Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Unand Press. Padang.
- Yudono, P., A. Mas, C. Sumardiyono, T. Yuwono, dan Masyhuri. 2014. *Pengantar Ilmu Pertanian*. UGM Press. Yogyakarta.
- Zhen P, Sun H, Yu L, Sun T, 2013. Adsorption and catalytic hydrolysis of carbaryl and atrazine on pig manure-derived biochars: impact of structural properties of biochars. *J Hazard Mater*. 24 : 217–224 hlm.