

**APLIKASI BIOCHAR TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT
UNTUK PERBAIKAN PERTUMBUHAN MAHONI
DAUN LEBAR (*Swietenia macrophylla*)
PADA MEDIA TANAM TERCEMAR MERKURI**

SKRIPSI

Oleh

**AKBAR RISKILILLAH
1914151092**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

APLIKASI BIOCHAR TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT UNTUK PERBAIKAN PERTUMBUHAN MAHONI DAUN LEBAR (*Swietenia macrophylla*) PADA MEDIA TANAM TERCEMAR MERKURI

Oleh

Akbar Riskilillah

United State Geology Survey menobatkan Indonesia sebagai salah satu negara produsen emas terbaik dengan potensi cadangan emas mencapai 2,3% dari total cadangan emas dunia. Potensi emas yang tinggi menyebabkan peningkatan jumlah lokasi pertambangan emas nasional termasuk di dalamnya adalah pertambangan emas tanpa izin (PETI) merupakan salah satu ancaman yang serius bagi pencemaran lingkungan dalam kehidupan masyarakat. Hal ini dikarenakan limbah yang dihasilkan mengandung sejumlah bahan beracun dan berbahaya (B3). Melihat bahaya yang dapat ditimbulkan, maka diperlukan upaya untuk mengurangi konsentrasi merkuri pada lahan dengan maksud mengurangi ketersediaannya dalam rantai makanan yaitu menggunakan bahan fitoremediasi berupa tanaman mahoni daun lebar, dan ditambahkan biochar sebagai bahan pembenah tanah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana dosis biochar TKKS berpengaruh terhadap pertumbuhan mahoni yang ditanam pada media tanam tailing dan menganalisis pengaruh pemberian biochar TKKS terhadap pertumbuhan bibit mahoni daun lebar pada media tanam tercemar merkuri mahoni ditanam selama 4 bulan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan perlakuan pemberian biochar pada media tanah tercemar tailing emas. Perbandingan kombinasi pemberian biochar dan tailing 0/0, 5/0, 15/0, 25/0, 35/0 0/25, 5/25, 15/25, 25/25, 35/25, 0/50, 5/50, 15/50, 25/50, 35/50 masing-masing perlakuan dilakukan 4 kali ulangan. Parameter yang amati antara lain yaitu penambahan tinggi batang, diameter batang, penambahan panjang akar. Analisis data menggunakan analisis ragam dan uji BNT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan penambahan dosis biochar pada media tailing dapat memperbaiki pertumbuhan mahoni yang ditanam di media tanam tercemar merkuri pada parameter penambahan tinggi ,diameter batang dan panjang akar

Kata kunci: Biochar, Fitoremediasi, Mahoni, Merkuri, Tailing

ABSTRACT

APPLICATION OF BIOCHAR OF PALM EMPTY FRUIT BUNCHES TO IMPROVE THE GROWTH OF *Swietenia macrophylla* IN MERCURY CONTAMINATED PLANTING MEDIA

By

Akbar Riskilillah

The United State Geological Survey named Indonesia as one of the best gold producing countries with potential gold reserves reaching 2.3% of the world's total gold reserves. The high potential for gold has led to an increase in the number of national gold mining locations, including unlicensed gold mining, which is a serious threat to environmental pollution in people's lives. This was because the waste produced contains a number of toxic and dangerous materials. Since lots of danger can be caused, efforts are needed to reduce the concentration of mercury in the land with the aim of reducing its availability in the food chain, using phytoremediation, and adding biochar as a soil amendment. The aim of this research was to determine the dose of BEFB biochar affected the growth of *swietenia macrophylla* planted in tailings planting media and to analyze the effect of BEFB biochar on the growth of *swietenia macrophylla* seedlings in mercury-contaminated planting media. *swietenia macrophylla* was planted for 4 months using a completely randomized design (CRD) with treatment of applying biochar to soil media contaminated with gold tailings. Comparison of combinations of biochar and tailings 0/0, 5/0, 15/0, 25/0, 35/0 0/25, 5/25, 15/25, 25/25, 35/25, 0/50, 5 /50, 15/50, 25/50, 35/50 each mercury treatment was carried out 4 times. Parameters measured were the increase in stem height, stem diameter and root length. Data analysis used analysis of variance and LSD test. The results of the research showed that the treatment of adding a dose of biochar to the tailings media can improve the growth of *swietenia macrophylla* planted in mercury-contaminated planting media in the parameters of increasing height, stem diameter and root length.

Keywords: Biochar, Phytoremediation, Mahogany, Mercury, Tailing.

**APLIKASI BIOCHAR TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT
UNTUK PERBAIKAN PERTUMBUHAN MAHONI
DAUN LEBAR (*Swietenia macrophylla*)
PADA MEDIA TANAM TERCEMAR MERKURI**

Oleh

Akbar Riskilillah

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Kehutanan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : Aplikasi Biochar Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Perbaikan Pertumbuhan Mahoni Daun Lebar (*Swietenia Macrophylla*) Pada Media Tanam Tercemar Merkuri

Nama : Akbar Riskilillah

NPM : 1914151092

Jurusan : Kehutanan

Fakultas : Pertanian



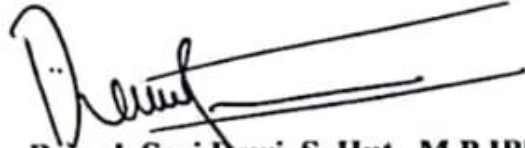
Pembimbing 1

Pembimbing 2


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


Machya Kartika Tsani, S.Hut., M.Sc.
NIP. 198809102015042004

Ketua Jurusan Kehutanan


Dr. Bainah Sari Dewi, S. Hut., M.P.IPM.
NIP. 197609122002122001

MENGESAIHKAN

1. Tim Penguji

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



Sekretaris : Machya Kartika Tsani. S.Hut., M.Sc.



Penguji : Drs. Afif Bintoro., M.P.



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 21 Agustus 2024

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Akbar Riskilillah

NPM : 1914151092

Jurusan : Kehutanan

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya-sungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul:

**APLIKASI BIOCHAR TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT UNTUK
PERBAIKAN PERTUMBUHAN MAHONIDAUN
LEBAR (*Swietenia macrophylla*)
PADA MEDIA TANAM TERCEMAR MERKURI**

Adalah benar karya saya sendiri yang saya susun dengan mengikuti norma dan etika akademik yang berlaku. Selanjutnya, saya juga tidak keberatan apabila sebagian atau seluruh data skripsi ini digunakan oleh dosen dan/atau program studi untuk kepentingan publikasi. Jika kemudian hari pernyataan saya tidak benar, saya bersedia menerima sanksi akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 21 Agustus 2024
Yang membuat pernyataan,



Akbar Riskilillah
NPM 1914151092

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Penengahan, 28 Juni 2001 sebagai anak tunggal pasangan Bapak M.Nurdin dan Ibu Annuri. Penulis menyelesaikan pendidikan di SD 2 Pasuruan kecamatan Penengahan Lampung Selatan 2007-2013, SMP 1 Kalianda Lampung Selatan 2013-2016, dan SMA IT Ar Raihan 2016-2019. Tahun 2019 penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui salah satu program penerimaan mahasiswa baru seleksi SBPMTN.

Penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Jurusan Kehutanan (Himasyilva) sebagai anggota pada 2019-2022. Penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Ruguk, Kecamatan Ketapang, Kab. Lampung Selatan. Provinsi Lampung selama 40 hari pada bulan Januari – Februari 2022. Penulis juga melaksanakan kegiatan Praktik Umum (PU) di Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Getas dan Wanagama selama 20 hari pada bulan Agustus 2022.

*Karya Tulis ini kupersembahkan khusus untuk
kedua orang tua yang saya sayangi
Bapak M.Nurdin dan Ibu Annuri*

“Nana Korobi Ya Oki”

Jatuh 7 Kali, Bangkit 8 Kali

SANWACANA

Puji dan syukur ke hadirat Allah SWT. atas rahmat dan karunia-Nya serta shalawat dan salam kepada Rasulullah Muhammad SAW, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Aplikasi Biochar Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Perbaikan Pertumbuhan Mahoni Daun Lebar (*swietenia macrophylla*) Pada Media Tanam Tercemar Merkuri” ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih banyak kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Ibu Dr. Bainah Sari Dewi. S.Hut., M.P. IPM. selaku Ketua Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Melya Riniarti, S.P., M.Si. selaku dosen pembimbing utama skripsi saya yang telah banyak meluangkan waktu, memberikan motivasi dan memberikan arahan serta petunjuk dalam penyusunan skripsi saya.
4. Ibu Machya Kartika Tsani. S.Hut. M.Sc. selaku dosen pembimbing kedua atas semua dukungan, kritik dan saran, serta nasihat yang diberikan kepada penulis untuk kesempurnaan skripsi ini.
5. Bapak Drs. Afif Bintoro M.P. selaku dosen penguji utama atas kritik, saran, dan motivasinya dalam proses penyelesaian skripsi,
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng Prayitno Harianto, M.S. selaku pembimbing akademik penulis atas segala bimbingan dan motivasi selama kuliah.
7. Kedua orang tua tercinta Alm Bapak M. Nurdin dan Ibu Annuri. yang selalu memberikan kasih sayang, selalu menemani, memberi dukungan baik dalam segi material, non material, serta semangat dan doa yang tiada henti sampai penulis menyelesaikan penulisan laporan ini dengan baik

8. Teman seperbimbingan Ibu Melya, M. Yudha Ibnu, Tia Silvia Sanena, Qori Maulani, dan Max Kurniawan yang telah membantu penelitian sampai dengan kelulusan.
9. Keluarga RU dan Triboy yang selalu mensupport saya dan membantu saya saat berkuliah di Universitas Lampung,
10. Keluarga besar FORMICS yang telah memberikan motivasi dan dukungan dalam penyelesaian penulisan laporan ini.
11. Keluarga besar HIMASYLVA yang telah memberi dukungan dan ilmu dalam perkuliahan ini.
12. Semoga Allah SWT memberikan balasan atas bantuan dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis

Penulis menyadari penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, namun diharapkan skripsi yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi kita seluruh pembaca.

Bandar Lampung, 21 Agustus 2024



Akbar Riskilillah

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	4
1.3. Kerangka Pemikiran	4
1.4. Hipotesis	6
II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Merkuri	7
2.2. Mahoni Daun Lebar (<i>Swietenia macrophylla</i>)	7
2.3. Biochar	8
2.4. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)	9
2.5. Fitoremediasi	10
III METODE PENELITIAN	12
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	12
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	12
3.3. Metode Penelitian.....	12
3.3.1. Rancangan percobaan	12
3.3.2. Pelaksanaan Penelitian.....	13
3.3.3. Variabel Pengamatan	15
3.3.4. Analisis Data.....	17

	Halaman
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1. Hasil Penelitian.....	19
4.1.1. Pertambahan tinggi	24
4.1.2. Pertambahan Diameter.....	25
4.1.3. Pertambahan panjang akar	26
4.1.4. Nisbah Pucuk Akar.	27
4.2. Pembahasan	28
V. SIMPULAN DAN SARAN	31
5.1. Simpulan.....	31
5.2. Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bagan alir kerangka pemikiran penelitian.....	6
2. Biochar Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)	10
3. Persebaran Tanaman Saat Penelitian	14
4. Pengamatan tinggipohon.....	15
5. Pengamatan panjang akar pohon.....	16
6. Foto Tanaman Pada Perlakuan tailing 0%	21
7. Foto Tanaman Pada Perlakuan tailing 25%	22
8. Foto Tanaman Pada Perlakuan tailing 25%	23
9. Respon pertambahan tinggi bibit mahoni terhadap perlakuan tailing.....	24
10.Respon pertambahan diameter bibit mahoni terhadap perlakuan tailing.....	25
11.Respon pertambahan panjang akar bibit mahoni terhadap perlakuan tailing.....	26

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian yang memakai tanaman fitoremediasi.....	11
2. Analisis ragam pertumbuhan bibit mahoni daun lebar	17
3. Rekapitulasi analisis ragam pengaruh pemberian biochar TKKS terhadap pertumbuhan mahoni daun lebar.....	19
4. Rekapitulasi hasil uji BNT	20
5. Hasil Nisbah Pucuk Akar	27
6. Analisis ragam penambahan tinggi bibit mahoni	40
7. Analisis ragam penambahan diameter bibit mahoni.....	40
8. Analisis ragam panjang akar bibit mahoni.....	40

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

United State Geology Survey menobatkan Indonesia sebagai salah satu negara produsen emas terbaik dengan potensi cadangan emas mencapai 2,3% dari total cadangan emas dunia (Dwiarto, 2014). Potensi emas yang tinggi menyebabkan peningkatan jumlah lokasi pertambangan emas nasional, tercatat pada tahun 2020 jumlah lokasi pertambangan nasional mencapai 852 titik termasuk di dalamnya adalah pertambangan emas tanpa izin (PETI) merupakan aktivitas perorangan maupun sekelompok orang/perusahaan untuk usaha pertambangan tanpa adanya izin dari instansi pemerintah pusat ataupun pemerintah daerah setempat. PETI merupakan salah satu ancaman yang serius bagi pencemaran lingkungan dalam kehidupan masyarakat. Hal ini dikarenakan limbah yang dihasilkan mengandung sejumlah bahan beracun dan berbahaya (B3). Salah satu limbah B3 dengan jenis logam berat yang dihasilkan oleh PETI adalah merkuri (Kalimantoro dan Trihadiningrum, 2017).

Muddarisna *et al.* (2012) menyatakan bahwa sekitar 20% merkuri yang digunakan dalam proses amalgamasi terbawa oleh tailing dan berakhir di tanah, sehingga potensinya sebagai pencemar tanah sangat tinggi. Selain itu, peningkatan konsentrasi merkuri pada tanah dalam jangka waktu lama dapat menurunkan kualitas lingkungan hidup karena sifatnya yang susah terurai dan beracun.

Penelitian sebelumnya Hamzah *et al.*, (2012) mengungkapkan bahwa keberadaan merkuri pada tanah pertanian menyebabkan ketersediaan unsur N, P, C *organic*, KTK dan pH tanah menjadi rendah. Selain itu, ketersediaan merkuri dalam konsentrasi tinggi pada tanah pertanian dapat membahayakan kesehatan konsumen apabila mengkonsumsi hasil panen dari tanah tersebut, karena merkuri

diketahui dapat masuk dalam rantai makanan (*food chain*) melalui berbagai mekanisme (Tambunan *et al.*, 2014). Sonya *et al.* (2002) melaporkan bahwa merkuri yang masuk melalui makanan dapat menghambat proses metabolisme dan kerja beberapa enzim dalam tubuh, akibatnya terjadi perusakan organ-organ penting seperti otak, ginjal dan hati, bahkan akumulasi dalam jangka panjang menyebabkan cacat bawaan pada manusia karena rusaknya susunan kromosom.

Upaya untuk mengurangi bahaya dari merkuri pada lahan dapat dilakukan dengan mengurangi ketersediaannya dalam rantai makanan. Akhir-akhir ini, metode yang sering digunakan adalah metode adsorpsi dengan bahan-bahan organik (pembenah tanah) dan absorpsi menggunakan tanaman-tanaman penyerap logam (*hiperakumulator*), karena kedua metode tersebut dinilai lebih efektif, ekonomis dan tidak menimbulkan residu beracun bagi lingkungan (Nurhasni *et al.*, 2014). Adapun salah satu bahan organik yang dapat digunakan sebagai pembenah tanah dari limbah merkuri adalah biochar.

Aplikasi biochar dilaporkan dapat menurunkan konsentrasi merkuri dalam tanah dan mengurangi serapan hingga 92% pada tanaman pertanian (Ma'shum dan Sukartono, 2012). Biochar merupakan bahan pembenah tanah alami yang berasal dari residu atau limbah pertanian seperti kayu, tempurung kelapa, sekam padi, dan lain-lain yang dapat meningkatkan produktivitas tanah melalui perbaikan sifat kimia, fisika, dan biologi tanah (Carter *et al.*, 2013). Biochar ini berasal dari bahan organik yang sulit terdekomposisi di dalam tanah sehingga kandungan bahan organik di dalam tanah tetap terjaga ketersediaannya. Dengan mengaplikasikan biochar ke dalam tanah mampu meningkatkan daya dukung tanah dalam menyediakan hara untuk tanaman. Hasil penelitian di Jepang menunjukkan bahwa pada lahan yang diberi biochar terjadi peningkatan frekuensi bakteri fiksasi nitrogen sebesar 10-66% (Sutopo, 2002).

Salah satu sisa pengolahan industri paling banyak dihasilkan di Indonesia berasal dari pabrik pengolahan kelapa sawit. Hal ini dapat terjadi dikarenakan Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi industri kelapa sawit yang tinggi membuat produksi kelapa sawit terus meningkat dari tahun ke tahun agar permintaan akan CPO dapat terpenuhi. Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat produksi perkebunan kelapa sawit Indonesia melonjak selama lima tahun terakhir

dalam kurun waktu 2015-2020. Pada 2019 (BPS, 2020). Limbah hasil industri kelapa sawit yang dibuang terdiri dari limbah padat dan limbah cair (Febriyanti *et al.*, 2019). Jumlah produksi 1 ton kelapa sawit akan mampu menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit sebanyak 23% atau 230 kg, limbah cangkang (*shell*) sebanyak 6,5% atau 65 kg, *wet decanter solid* (lumpur sawit) 4% atau 40 kg, serabut (*fiber*) 13% atau 130 kg serta limbah cair sebanyak 50% (Mandiri, 2012). Dari data limbah padat yang dihasilkan tersebut dapat diperkirakan jumlah limbah padat yang dihasilkan oleh sebuah pabrik kelapa sawit yang berkapasitas 50 ton per jam, yaitu 23.250 ton/hari (Susanto *et al.*, 2017). Salah satu pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit adalah dimanfaatkan menjadi biochar karena memiliki komposisi mineral yang cukup tinggi seperti Ca, Fe, Na, K, dan P sehingga memiliki potensi dijadikan *biochar* sebagai pembenah tanah (Putri *et al.*, 2024).

Biochar TKKS sebagai bahan pembenah tanah perlu digunakan pula tanaman penyerap logam (*hiperakumulator*) untuk membantu menyerap merkuri di tanah. Mahoni daun lebar (*Swietenia macrophylla*) merupakan salah satu jenis tanaman yang berasal dari anggota famili Melaceae yang merupakan tanaman dengan kemampuan untuk mengakumulasi logam berat (*metal hyperaccumulator plants*) dan polusi (Hardiani, 2008). Mahoni mampu menyerap limbah yang cukup besar karena mahoni dapat tumbuh dengan batang dan biomassa yang besar (Kurniawan *et al.* 2019) dan mahoni mampu hidup pada tanah lahan pasca tambang sekitar 88% - 95% sehingga mahoni dapat berpotensi sebagai agen fitoremediasi. Mahoni dapat tumbuh baik di dataran rendah sampai 1000 m di atas permukaan laut pada berbagai jenis tanah (Allo, 2016) yang mempunyai potensi bagus untuk pengembangan hutan tanaman. Jenis tanaman ini mampu tumbuh pada areal terbuka dan merupakan jenis yang diprioritaskan dalam pembangunan HTI dikarenakan kayunya yang memiliki mutu dan kekerasan yang tinggi (Ngatiman dan Murtopo, 2008).

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh pemberian biochar TKKS terhadap pertumbuhan bibit mahoni daun lebar pada media tanam tercemar merkuri.
2. Mendapatkan dosis optimum pemanfaatan biochar TKKS untuk pertumbuhan bibit mahoni daun lebar pada media tanam tercemar merkuri.

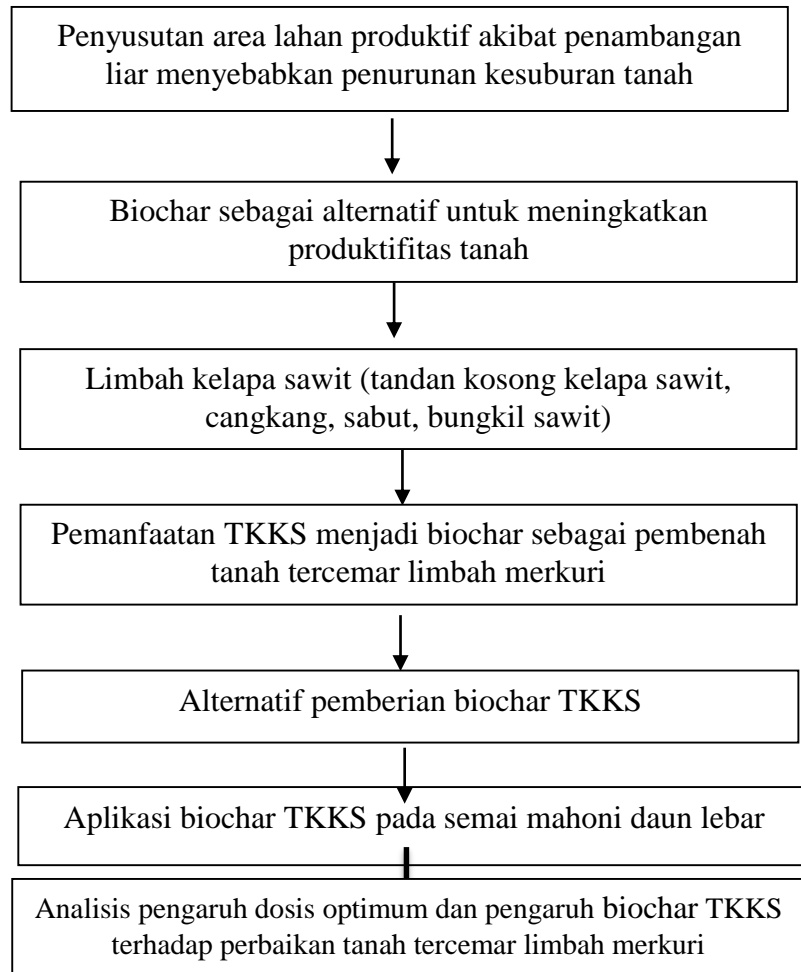
1.3. Kerangka Pemikiran

Penyusutan area lahan produktif akibat penambangan liar menyebabkan penurunan kesuburan tanah, *biochar* merupakan alternatif untuk perbaikan produktifitas tanah (Tang *et al.*, 2013). Biochar adalah arang hitam hasil dari proses pemanasan biomassa pada keadaan oksigen terbatas atau tanpa oksigen (Putri *et al.*, 2017). Pemilihan bahan baku *biochar* ini didasarkan pada produksi sisa tanaman yang melimpah dan belum termanfaatkan (Demirbas, 2004).

Pemberian biochar pada tanah mampu meningkatkan pertumbuhan serta serapan hara pada tanaman (Aswiguna *et al.*, 2022) baik secara fisik, kimia dan biologi sehingga dapat meningkatkan produksi tanaman (Gani, 2009). Sifat fisik tanah yang baik akan mempengaruhi kemampuan akar untuk tumbuh dan berkembang. Akar akan mudah tumbuh dan berkembang di tanah yang gembur, akar yang kuat dan lebar akan memiliki kemampuan menyerap unsur hara dan air dengan baik. Hal ini akan sangat mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman (Riniarti *et al.*, 2021).

Hayat dan Sri (2014), menyatakan bahwa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dapat dimanfaatkan sebagai biochar karena memiliki kandungan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanah dan tanaman. TKKS dapat dimanfaatkan sebagai salah satu bahan dasar biochar. Biochar yang dihasilkan dari TKKS memiliki pH yang tergolong alkali, kapasitas tukar kation (KTK) tergolong tinggi, C-organik dan N-total tinggi dan TKKS memiliki kandungan hara makro (N, P, K) tinggi (Sukmawati, 2020). Perubahan secara fisik TKKS yang memiliki volume besar menjadi biochar yang lebih kecil dapat memudahkan dalam pengaplikasian pada media tanam (Febriyanti *et al.*, 2019). Biochar merupakan biomassa organik yang mengalami proses termolisis dengan 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 lainnya reaksi fisiko kimia (Park *et al.*, 2011). Menurut penelitian Yunita (2022) Pemberian biochar TKKS dengan dosis 0%, 5%, 15%, 25% dan 35% didapatkan hasil biochar pada dosis 25% menunjukkan kombinasi yang baik untuk peningkatan pertumbuhan tanaman mahoni daun lebar, berdasarkan penelitian tersebut maka *biochar* dengan dosis 25% memiliki kemungkinan terbaik dalam pertumbuhan mahoni daun lebar. Hal tersebut karena biochar berfungsi membantu dalam pembenahan tanah tercemar limbah khususnya limbah B3 yang salah satunya merkuri (Dalimunthe *et al.*, 2023). Bagan alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir kerangka pemikiran penelitian.

1.4. Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Aplikasi Biochar TKKS meningkatkan pertumbuhan bibit mahoni daun lebar pada media tanam tercemar merkuri.
2. Dosis biochar 25% dapat meningkatkan pertumbuhan bibit mahoni daun lebar pada media tanam tercemar merkuri.

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Merkuri

Sekitar 70% kerusakan lingkungan hidup terjadi akibat aktivitas pertambangan (Purnomo *et al*, 2015). Salah satunya adalah aktivitas tambang emas yang dapat menghasilkan limbah logam berat merkuri (Hg). Merkuri bersifat racun dan relatif tidak stabil jika berada di dalam tanah. Pada permukaan tanah, merkuri akan membentuk ikatan dengan lempung dan zat organik. Keberadaan zat organik akan mempengaruhi stabilitas merkuri di dalam tanah (Notodarmojo, 2005). Merkuri sering digunakan dalam bidang industri pertambangan dan industri kimia. Limbah merkuri hasil industri pertambangan yang dibuang akan mengalir ke bawah permukaan. Salah satu akibat dari industri pertambangan yaitu pengolahan secara tradisional yang dapat mencemari lingkungan dan dapat berdampak negatif pada makhluk hidup yang berada di sekitarnya.

Menurut Alloway (1995) dalam Mirdat, *et al.* (2013) tingkat pencemaran merkuri dinilai berdasarkan konsentrasi merkuri yang berada di dalam tanah. Terdapat dua kategori konsentrasi merkuri di dalam tanah, yaitu kategori normal dan kategori kritis. Kisaran normal konsentrasi merkuri di dalam tanah berada pada rentang 0,01 - 0,3 ppm. Sedangkan konsentrasi kritis merkuri di dalam tanah berada pada rentang 0,3 - 0,5 ppm. Salah satu cara agar kandungan merkuri pada tanah berkurang adalah dengan teknologi fitoremediasi.

2.2. Mahoni Daun Lebar (*Swietenia macrophylla*)

Swietenia macrophylla king dikenal sebagai mahoni daun lebar yang termasuk menggugurkan daun pada musim kemarau, serta relatif sukar terbakar (Wijayanti, 2018). Asal tanaman ini dari Amerika Tengah dan Selatan dengan wilayah

penyebarannya di Srilanka, India, Serawak dan Fiji, Tanaman ini masuk ke Indonesia diperkirakan tahun 1872 melalui India, berkembang di Jawa sekitar tahun 1892-1902 dan sampai sekarang menyebar di Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur (Samsi, 2000). Pohon ini menghasilkan kayu yang baik untuk pertukangan, kayu gubalnya berwarna merah muda sedangkan kayu terasnya berwarna merah hingga coklat tua. Kayu mahoni termasuk kelas awet III, Kelas kuat II-III yang digunakan untuk venir, kayu lapis, mebel, panil, perkapalan, kayu perkakas, kerajinan patung atau ukiran dan lain sebagainya (Wijayanti, 2018).

Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Flora and Fauna/CITES (2006) mengolongkan kayu mahoni daun lebar ke dalam kategori apendiks II, yaitu daftar spesies yang tidak terancam kepunahan, tapi mungkin terancam punah bila perdagangan terus berlanjut tanpa adanya pengaturan. Kebutuhan kayu mahoni saat ini semakin meningkat. Oleh karena itu upaya dalam pelestarian mahoni daun lebar perlu dilakukan. Salah satu faktor yang menentukan keberhasilan dalam pengembangan tanaman mahoni daun lebar yaitu ketersediaan benih yang berkualitas baik. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan persentase perkecambahan.

Benih pohon hutan memiliki berat, warna dan ukuran yang sangat bervariasi, hal ini juga yang ditemukan pada benih mahoni daun lebar. Menurut Schmidt (2000) ukuran benih berkorelasi positif terhadap vigor benih. Benih yang relatif berat cenderung mempunyai vigor yang lebih baik. Benih yang berukuran besar dan berat mengandung cadangan makanan lebih banyak dibandingkan benih yang berukuran kecil dan diduga bahwa ukuran embrionya juga lebih besar. Kandungan yang tersimpan dalam biji yaitu karbohidrat, protein, lemak dan mineral. Bahan-bahan tersebut diperlukan sebagai bahan baku dan energi bagi embrio pada saat proses perkecambahan berlangsung (Sutopo, 2002).

2.3. Biochar

Biochar sudah ada sejak zaman dahulu, penduduk asli Amazon telah memberikan biochar atau arang hayati ke dalam tanah dan hingga saat ini (100-1000 tahun kemudian) terbukti bahwa kualitas sifat fisik dan kimia tanah tersebut jauh lebih baik dibandingkan dengan tanah sekitarnya. Pada 1960-an, seorang

ilmuwan tanah Belanda, Wim Sombroek, menemukan tanah yang kaya materi hitam di lembah Amazon di Brasil yang kandungan bahan organiknya seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), dan lainnya sangat tinggi di tanah ini yang disebut juga Terra Preta, yang berarti tanah hitam (Chen *et al*, 2019).

Biochar merupakan bahan padatan kaya karbon yang terbentuk melalui proses pembakaran biomasa seperti kayu, seresah, pupuk kandang dan limbah lainnya dengan sedikit oksigen (pirolisis) pada temperatur 250-700°C , Pirolisis merupakan proses dekomposisi suatu bahan oleh panas tanpa menggunakan oksigen yang diawali oleh pembakaran dan gasifikasi, serta diikuti oksidasi total atau parsial dari produk utama . Berbeda dengan bahan organik, biochar tersusun dari cincin karbon aromatis sehingga lebih stabil dan tahan lama di dalam tanah (Evizal dan prasmatiwi, 2023). Biochar memiliki karakteristik antara lain pH, kapasitas pengikatan air, C-total, kapasitas tukar kation (KTK). Jenis bahan baku dan proses pembuatan biochar yang berbeda dapat menghasilkan sifat fisik dan kimia yang berbeda. Oleh karena itu, untuk menentukan kualitas biochar, berbagai metode dan bahan baku dapat digunakan untuk membuat biochar. Keragaman sumber dan metode bahan mentah yang digunakan untuk memproduksi biomassa dapat mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman (Lehmann and Joseph, 2010). Bahan baku biochar adalah limbah dari pertanian dan kehutanan seperti penggergajian, kayu mati, kayu, dan pelet kayu (Lehmann and Joseph, 2015).

2.4. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Pengolahan tandan buah segar (TBS) yang dilakukan pabrik pengolahan kelapa sawit menghasilkan produk sampingan (*by product*) dalam salah satu bentuk limbah padat yang berupa TKKS. Setiap pengolahan 1 ton TBS akan dihasilkan TKKS sebanyak 22±23% atau sebanyak 220±230 kg. TKKS kaya akan kandungan lignoselulosa (selulosa, hemiselulosa dan lignin). kandungan lignoselulosa yang terdapat pada tandan sawit dapat diubah menjadi bahan bakar yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi (Ginting, 2009).

TKKS di Indonesia adalah limbah pabrik kelapa sawit yang jumlahnya sangat melimpah. Limbah ini belum dimanfaatkan secara baik oleh sebagian besar pabrik

kelapa sawit (PKS) dan masyarakat di Indonesia. Akibatnya tandan kosong kelapa sawit menjadi limbah terbesar yang dihasilkan oleh perkebunan kelapa sawit dan dapat menimbulkan masalah. Namun hingga saat ini, pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit belum digunakan secara optimal (Salmina, 2017). Padahal padalimbah TKKS yang bersifat organik mempunyai kandungan unsur N 1,5%, P 0,5%, K 7,3%, dan Mg 0,9% mempunyai potensi cukup besar untuk dapat dimanfaatkan sebagai substitusi pupuk dengan mengaplikasikan limbah diatas tanah sekitar gawangan tanaman kelapa sawit (Firmansyah, 2014).



Gambar 2. Biochar Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS).

2.5. Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah pencucian polutan oleh tumbuhan termasuk pohon, rumput-rumputan, dan tumbuhan air. Pencucian bisa berarti penghancuran, inaktivasi polutan ke bentuk yang tidak berbahaya (Hidayati, 2005). Tingkat keberhasilan fitoremediasi dapat ditentukan dengan jenis tumbuhan, iklim, dan kondisi tailing. Semua tumbuhan memiliki kemampuan menyerap logam tetapi dalam jumlah yang terbatas. Tidak semua tumbuhan dapat dikatakan hiperakumulator. Salah satu jenis tumbuhan yang dikategorikan sebagai spesies hiperakumulator adalah tumbuhan yang memenuhi syarat yaitu mampu menghasilkan biomasa yang tinggi dalam waktu yang cepat (cepat tumbuh), mudah dibudidayakan dan mudah dipanen serta dapat hidup pada daerah yang

beriklim tropis dan juga berair. Tumbuhan yang dapat digunakan sebagai tanaman fitoremediasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penelitian yang memakai tanaman fitoremediasi.

No.	Nama Tanaman	Manfaat	Sumber
1.	Sengon Buto (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>)	Memperbaiki tanah tercemar tailing	Syarif, 2008
2.	Mahoni (<i>Swietenia macrophylla</i>)	Memperbaiki tanah tercemar merkuri	Kurniawan <i>et al.</i> 2019
3.	Angsana (<i>Pterocarpus indicus</i>)	Mengurangi timbal pada tanah	Ferdhiani <i>et al.</i> 2015
4.	Tanjung (<i>Mimusops elengi</i>)	Menjerap Pb	Sunarsih <i>et al.</i> 2021
5.	Bungur (<i>Lagerstroemia</i>)	Menjerap Pb	Sunarsih <i>et al.</i> 2021
6.	Akasia (<i>Acacia sieberiana</i>)	Memperbaiki tanah tercemar merkuri	Zulkoni, 2018
7.	Lamtoro (<i>Leucaena Leucocephala</i>)	Mendegradasi <i>oil sludge</i>	Marsandi dan Estuningsih, 2016
8.	Mangrove (<i>Avicennia alba</i>)	Menurunkan konsentrasi logam berat	Nursagita dan Titah, 2021
9.	Sengon Laut (<i>Paraserianthes falcataria</i>)	Mampu menyerap logam Pb	Alfiyah, 2015
10.	Jati (<i>Tectona grandis</i>)	Memperbaiki tanah tercemar merkuri	Zulkoni <i>et al.</i> 2017

Keunggulan fitoremediasi dibandingkan metode pengolahan limbah lainnya adalah pengolahan dapat dilakukan in site dan ex situ sehingga mudah dalam pelaksanaannya dan tidak memerlukan biaya yang besar (Soheti *et al.* 2020). Fitoremediasi dapat menghilangkan kontaminan melalui penyerapan langsung melalui akar atau daun dan dapat menurunkan konsentrasi kontaminan melalui biotransformasi pada zona akar, jaringan tanaman, evaporasi dan penyerapan. Proses fitoremediasi meliputi rhizofiltrasi, fitostabilisasi, fitoekstraksi, fitoevaporasi, fitotransformasi (Ghosh and Singh, 2005).

III METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Rumah Kaca Fakultas Pertanian Universitas Lampung, waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Mei 2023 hingga September 2023.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah kertas label, *tally sheet*, spidol, ember, paranet, sekop, *polybag* ukuran 20x25 cm, timbangan analitik, jangka sorong, penggaris, oven, *leaf area meter* dan *sprayer*. Sedangkan bahan yang digunakan adalah bibit mahoni daun lebar (*Swietenia macrophylla*), biochar TKKS dengan suhu pirolisis 400°C, tanah *top soil*, dan merkuri limbah ini berasal dari Desa Bunut, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung.

3.3. Metode Penelitian

3.3.1. Rancangan percobaan

Rancangan percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua faktor. Faktor pertama yaitu pemberian biochar yang terdiri atas 3 perlakuan. Faktor kedua yaitu penambahan biochar dengan suhu pirolisis 400% yang terdiri atas 5 perlakuan dengan 4 pengulangan di setiap perlakuannya. Masing-masing perlakuan selanjutnya dapat dilihat sebagai berikut:

A. Perlakuan 1 (Merkuri)

M0 = 0% Tailing+ 100% *top soil*

M1 = 25% Tailing+ 75% *top soil*

M2 = 50% Tailing+ 50% *top soil*

B. Perlakuan 2 (*Biochar* TKKS)

B0 = 0% biochar TKKS

B1 = 5% biochar TKKS

B2 = 15% biochar TKKS

B3 = 25% biochar TKKS

B4 = 35% biochar TKKS

Rumus Linier Rancangan Acak Lengkap (RAL)

$$Y_{jk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (Y)_{ij} + \varepsilon_{ijk}^1$$

$i = 1, 2, \text{ dan } 3$

$j = 1, 2, \text{ dan } 3$

$k = 1, 2, 3, \dots, 5$

Keterangan :

Y_{jk} : Respon perlakuan pada taraf ke faktor A, taraf ke faktor B dan ulangan ke-k

μ : Nilai tengah populasi (rata-rata yang sesungguhnya)

α_i : Pengaruh utama taraf ke dari faktor A

β_j : Pengaruh utama taraf ke dari faktor B

$(Y)_{ij}$: Pengaruh interaksi taraf ke faktor A dan taraf ke dari faktor B

ε_{ijk}^1 : Pengaruh galat pada taraf ke faktor A, taraf ke dari faktor B dan ulangan ke-k

3.3.2. Pelaksanaan Penelitian

Tahapan penelitian ini di lakukan dari beberapa tahapan sebagai berikut:

A. Persiapan Media Tanam

Dalam persiapan media tanam meliputi 3 tahap sebagai berikut:

1. Persiapan media tanam *top soil* dilakukan dengan mengambil tanah dengan kedalam 0 sampai 20 cm. Tanah yang sudah diambil akan dibersihkan terlebih dahulu dan dikering anginkan. Setelah dikering anginkan dilakukan penimbangan.
2. Persiapan media merkuri, limbah ini berasal dari Desa Bunut, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung, merupakan sisa pengolahan

3. Persiapan biochar tandan kosong kelapa sawit dengan suhu pirolisis 400°C. Setelah ketiga media tanam tersedia selanjutnya yaitu proses pencampuran *top soil*, *biochar* dan *tailing* sesuai perlakuan

B. Persiapan bibit

Bibit yang digunakan berumur 5 bulan dengan tinggi rata-rata 32 cm , berasal dari persemaian lampung selatan (BPDASHL Way Seputih Way Sekampung), Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung.

C. Pemeliharaan Bibit

Pemeliharaan bibit mahoni daun lebar yang sudah diberikan perlakuan akan di tempatkan dalam rumah kaca selama pengamatan berlangsung yaitu selama 16 minggu. Pemeliharaan bibit dilakukan berupa penyiraman secara rutin pada setiap pagi atau sore hari, penyiraman gulma dan pengendalian hama akan dilakukan jika diperlukan



Gambar 3. Persebaran tanaman saat penelitian

3.3.3. Variabel Pengamatan

Variabel yang diamati pada penelitian sebagai berikut:

1. Tinggi semai (cm)

Pengambilan data tinggi tanaman dilakukan setiap 2 minggu sekali dari minggu awal sampai minggu terakhir pengamatan. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan agar mudah menganalisis pertumbuhan tinggi tanaman. Pengukuran dilakukan menggunakan penggaris dimulai dari pangkal batang hingga titik tumbuh pucuk apikal.



Gambar 4. Pengamatan tinggi pohon.

2. Diameter semai (cm)

Pengambilan data diameter tanaman dilakukan setiap 2 minggu sekali dari minggu awal sampai minggu terakhir pengamatan.

3. Luas daun

Luas daun dihitung menggunakan alat *leaf area meter*. Daun dipotong terlebih dahulu dari tangkainya kemudian dimasukkan ke alat *leaf area meter* satu persatu dengan satu tanaman satu kali pengukuran. Pengukuran dilakukan pada akhir penelitian

4. Bobot basah total (g)

Bobot basah total tanaman diukur pada akhir pengamatan. Tanaman mahoni daun lebar dipisahkan antara akar dan pucuk. Kemudian masing-masing ditimbang dengan menggunakan timbangan analitik. Bobot basah total merupakan penjumlahan antara bobot basah akar dan bobot basah pucuk.

5. Bobot kering total (g)

Pengukuran bobot kering total tanaman dilakukan pada akhir pengamatan. Tanaman mahoni daun lebar yang sudah dipisahkan antara akar dan pucuk dimasukan kedalam oven menggunakan suhu 80°C sampai konstan. Lalu kedua bagian tersebut ditimbang menggunakan timbangan analitik. Bobot kering total merupakan penjumlahan dari bobot kering akar dengan bobot kering pucuk.

6. Panjang Akar (cm)

Pengukuran panjang akar dilakukan pada akhir pengamatan. Tanaman mahoni daun lebar di ukur dalam waktu yang bersamaan lalu dibandingkan dengan perlakuan yang lainnya. Pengukuran dilakukan menggunakan alat bantu penggaris di mulai dari leher akar hingga bagian akar paling ujung bawah.



Gambar 5. Pengamatan panjang akar pohon.

3.3.4. Analisis Data

Analisis data yang dilakukan yaitu menganalisis ragam (Anara) dengan Uji-F pada taraf nyata 0,05 dan taraf nyata 0,01. Anara dilakukan untuk menguji hipotesis tentang faktor perlakuan terhadap keragaman data hasil percobaan atau untuk menyelidiki ada tidaknya pengaruh perlakuan terhadap keragaman data hasil penelitian. Sebelum dilakukan analisis ragam, data yang tersedia diuji dengan uji homogenitas. Pengujian homogenitas dapat dilakukan dengan beberapa cara berbeda, uji homogenitas dilakukan untuk menguji homogenitas yang lebih dari 2 kelompok data yaitu “Uji *Bartlett*”. Anara dari penelitian ini disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Analisis ragam pertumbuhan bibit mahoni daun lebar

SK	Db	JK	KT	F-hit	Ftabel	
					0,05	0,01
Perlakuan	p-1	JKP	JKP/dbP			
Galat	(up-1)-(p-1)	JKG	JKG/dbG	$\frac{KTP}{KTG}$		
Total	up-1	JKT				

Keterangan:

SK = Sumber Keragaman

Db = Derajat bebas

JK = Jumlah Kuadrat

P = jumlah perlakuan yang digunakan dalam penelitian

u = jumlah ulangan yang digunakan dalam penelitian

Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka terdapat pengaruh nyata dari perlakuan yang diberikan, dilanjutkan dengan pemisahan nilai tengah menggunakan Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 1 %. Namun jika $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka tidak ada pengaruh nyata dari perlakuan yang diberikan, sehingga tidak perlu dilakukan uji lanjut.

Setelah mengetahui hasil perhitungan analisis ragam, nilai tengah perlakuan akan diuji lanjut dengan menggunakan Uji Beda Nyata Terkecil (BNT). Uji BNT merupakan prosedur pengujian perbedaan diantara rata-rata perlakuan yang paling sederhana dan paling umum digunakan, uji ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan. Semua perhitungan dilakukan pada taraf

nyata 1%.

Rumus yang digunakan yaitu:

$$\text{LSD} = T_{\frac{\alpha}{2}} \times \text{dbg} \sqrt{\frac{2 \text{KTG}}{r}}$$

Keterangan:

A= taraf uji α

Dbg= derajat bebas galat

KTG= nilai kuadrat tengah galat

Setelah perhitungan nilai MBT maka dilakukan pengurutan nilai rata-rata dari terbesar ke terkecil dan kemudian dapat diambil kesimpulan sesuai hasil perhitungan.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Simpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian adalah:

1. Penggunaan biochar berbahan dasar tandan kosong kelapa sawit dengan pirolisis 400°C pada tanah tercemar tailing tambang emas mampu meningkatkan seluruh pertumbuhan mahoni.
2. Pemberian biochar dengan dosis tertinggi (25%) memberikan pengaruh optimal terhadap pertumbuhan bibit mahoni pada media tailing emas dibandingkan dengan dosis lainnya.

5.2. Saran

Teknik aplikasi biochar TKKS yang lebih efektif masih perlu dipelajari untuk menemukan cara terbaik dalam menumbuhkan tanaman pada tanah akibat kerusakan tambang sehingga mampu menghidupkan kembali tanah yang sudah tercemar limbah merkuri.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Bhat, S., Kuriqi, A., Dar, M.U.D., Bhat, O., Sammen, S.S., Towfiqul Islam, A.R.M., Elbeltagi, A., Shah, O., Ai-Ansari, N., Ali, R. and Heddam, S., 2022. Application of biochar for improving physical, chemical, and hydrological soil properties: a systematic review. *Sustainability*. 14(17): p.11104.
- Alfiyah, 2015. N. *Peningkatan efektivitas penyerapan pb pada perakaran tanaman sengon (Paraserianthes falcataria (L.) Nielsen) terinfeksi mikoriza* [Skripsi]. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Allo, M. K. 2016. Kondisi sifat fisik dan kimia tanah pada bekas tambang nikel serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan trengguli dan mahoni. *Jurnal Hutan Tropis*. 4(2): 207-2017.
- Alloway. 1995. *Heavy Metals in Soils, Second Edition, Blackie Academic & Profesional*, An Imprint Of Chapman & Hall. Glasgow.
- Aswiguna, S., Sarno, S., Afrianti, N. A., & Supriatin, S. 2022. Pengaruh pemberian biochar batang singkong dan pemupukan p terhadap serapan hara n dan k pada tanaman jagung (*Zea mays L.*). *Jurnal Agrotek Tropika*. 10(3): 455-459.
- Bella, S.E., Monikasari, M., Zulkardesi. 2022. Potensi Pemanfaatan Biochar untuk Meremediasi Lahan Bekas Tambang di Indonesia. *Jurnal Penelitian Pertanian Politeknik Pertanian Negeri Payakumbu*, 20(2): 87-97.
- BPS. 2020. BPS Data Online Pusat Database. www.bps.go.id. diakses pada 22 Oktober 2022.
- BPTP, N. A. D. .2009.. Budidaya tanaman padi. www.pertanian.go.id. diakses pada 10 September 2024.

- Carter S, Simon S, Saran S, Tan BS, Stephan H. 2013. The Impact of Biochar Application on Soil Properties and Plant Growth of Pot Grown Lettuce (*Lactuca sativa*) and Cabbage (*Brassica chinensis*). *Jurnal Agronomy*. 3(2): 404-418.
- Chen, H., Li, W., Wang, J., Xu, H., Liu, Y, Zhang, Z. Zhang, Y. 2019. Adsorption of cadmium and lead ions by phosphoric acid-modified biochar generated from chicken feather: selective adsorption and influence of dissolved organic matter. *Bioresource technology*. 292: 121948.
- Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Flora and Fauna(CITES). 2006. *Amendments to Appendices I and II of the Convention*. www.cites.org. diakses pada 22 Oktober 2022.
- Dalimunthe, S., Yasmin, Y., Rembune, Z., Febriani, N., & Aida, Z. 2023. Penggunaan Ecobrick dalam Upaya Untuk Mengurangi Volume Limbah Sampah Plastik di Desa Pematang Johar Dusun XV. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN)*. 6(4): 1236-1242.
- Demirbas, A. 2004. Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues. *Journal of analytical and applied pyrolysis*. 72(2): 243-248.
- Dwiarto, D. 2014, *Pajak Perusahaan Tambang*. www.imaapi.com. diakses pada 23 Oktober 2022.
- Evizal, R., dan Prasmatiwi, F. E. 2023. Biochar: Pemanfaatan dan Aplikasi Praktis. *Jurnal Agrotropika*. 22(1): 1-12.
- Febriyanti, F., Fadila, N., Sanjaya, A.S., Bindar, Y., Irawan, A. 2019. Pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit menjadi biochar, bio-oil dan gas dengan metode pirolisis. *Jurnal Chemurgy*. 3(2): 12-17.
- Ferdhiani, A. A., Lestari, S., Proklamasingih, E. 2015. Aktivitas enzim peroksidase dan kadar klorofil pada daun Angsana (*Pterocarpus indicus*) sebagai peneduh jalan yang terpapar timbal. *Majalah Ilmiah Biologi BIOSFERA: A Scientific Journal*. 32(2): 126-133.
- Firmansyah, M. A. 2014. Karakterisasi, kesesuaian lahan dan teknologi kelapa sawit rakyat di rawa pasang surut Kalimantan Tengah. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. 14(2): 97–105.
- Gani, A. 2009. Potensi arang hayati biochar sebagai komponen teknologi

- perbaikan produktivitas lahan pertanian. *Jurnal Iptek Tanaman Pangan*. 4(1): 33- 48.
- Ghosh, D. and Maiti, S.K., 2021. Biochar-assisted eco-restoration of coal mine degraded land to meet United Nation Sustainable Development Goals. *Land Degradation & Development*. 32(16): 4494-4508.
- Ghosh, M., & Singh, S. P. 2005. A Review on Phytoremediation of Heavy Metal and Utilization of Its By-product. *Applied Ecology and Environmental Research*, 3(2): 1–18.
- Gong, H., Zhao, L., Rui, X., Hu, J. and Zhu, N., 2022. A review of pristine and modified biochar immobilizing typical heavy metals in soil: applications and challenges. *Journal of hazardous materials*. 432: 128668.
- Ginting, E. N. 2009. *Pembibitan Kelapa Sawit*. Agromedia Pustaka, Jakarta.
- Hardiani, H. 2008. Pemulihan Lahan Terkontaminasi Limbah B3 dari Proses Deinking Industri Kertas Secara Fitoremediasi. *Jurnal Riset Industri*. 2(2): 64-75.
- Hardy, B., Sleutel, S., Dufey, J.E. and Cornelis, J.T., 2019. The long-term effect of biochar on soil microbial abundance, activity and community structure is overwritten by land management. *Frontiers in Environmental Science*, 7: 110.
- Hamzah A., Kusuma Z., Utomo W.H., Guritno B. 2012. Penggunaan Tanaman *Vetiveria zizanioides* L. dan Biochar untuk Remediasi Lahan Pertanian Tercemar Limbah Pertambangan Emas. *Jurnal Buana Sains*. 12(1): 53-60.
- Hayat, E.S., Sri, A. 2014. Pengelolaan limbah tandan kosong kelapa sawit dan aplikasi biomassa *Chromolaena odorata* terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman padi serta sifat tanah sulfaquent. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*. 17(2): 44-51.
- Hidayati, N. 2005. Fitoremediasi dan potensi tumbuhan hiperakumulator. Hayati *Journal of Biosciences*, 12(1): 35-40
- Jiang X., Xianping, T., Jiong C., Michelle L.H. and M. Francesca, C., 2019. *Interactions Between Aged Biochar, Fresh Low Molecular Weight Carbon and Soil Organic Carbon After 3.5 Years Soil-Biochar Incubations*. *Geoderma* 333: 99–107

- Kalimantoro, T. T., dan Trihadiningrum, Y. 2017. Stabilisasi/Solidifikasi Tailing Tambang Emas Rakyat Kulon Progo Menggunakan Semen Portland dan Tanah Tras. *Jurnal Teknik ITS*. 5(2): 248–254.
- Kurniawan, B., Duryat., Riniarti, M., Yuwono, B. S. 2019. Kemampuan adaptasi tanaman mahoni (*swietenia macrophylla*) terhadap cemaran merkuri pada tiling pertambangan emas skala kecil. *Jurnal Sylva Lestari*. 7(3): 359-369.
- Lehmann, J. S. Joseph. 2010. *Biochar for Environmental Management. 2nd Ed.* Earthscan Pub.Co. London, UK. Hlm. 416.
- Lehmann, J., Joseph, S. 2015. *Traditional Use Of Biochar. In: Biochar For Environmental Management: Science (2nd Eds), Tecnology And Implementation.* Routledge London. Hlm. 976.
- Lewenussa, A. 2009. *Pengaruh mikoriza dan bio Organik terhadap pertumbuhan bibit Cananga odorata (Lamk) Hook. fet & Thoms [Skripsi].* Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Mandiri, 2012. *Manual Pelatihan Teknologi Energi Terbarukan.* Jakarta.
- Ma'shum M. and Sukartono. 2012. *Pengelolaan Tanah. Edisi Pertama.* Arga Puji Press. Mataram.
- Marsandi, F., Estuningsih, P. S. 2016. Asosiasi konsorsium bakteri *Pseudomonas pseudoalcaligenes* dan *Micrococcus luteus* dengan lamtoro (*Leucaena leucocephala (Lamk.) De Wit*) dalam upaya meningkatkan bioremediasi minyak bumi. *In Proceeding Biology Education Conference*. 13(1): 807-813.
- Mirdat, Y. S. Pat'adungan, dan Isrun. 2013. Status Logam Berat Merkuri (Hg) dalam Tanah pada Pengolahan Tambang Emas di Kelurahan Poboya, Kota Palu. *Jurnal Agrotekbis*. 2(2): 127-134.
- Muddarisna N., Krisnayanti B.D., Utami S.R., Handayanto E. 2012. Seleksi Tumbuhan Hiperakumulator untuk Tanah Tercemar Merkuri. *Seminar dan Expo Nasional Himpunan Ilmu Tanah Indonesia.* Surabaya.
- Ngatiman., dan Murtopo. 2008. *Pemangkasan Cabang untuk Mengendalikan Serangan Hama pada Tanaman Shorea leprosula Miq. Info teknis Dipterokarpa* Balai Besar Penelitian Dipterokarpa, Departemen Kehutanan. Samarinda.
- Notodarmojo, S. 2005. *Pencemaran Tanah dan Air Tanah.* ITB. Bandung.

- Nurhasni, Hendrawati, dan Saniyyah N. 2014. Sekam Padi untuk Menyerap Ion Logam Tembaga dan Timbal dalam Air Limbah. *Jurnal Valensi*. 4(1): 36-44.
- Nursagita, Y. S., and Titah, H. S. 2021. Kajian Fitoremediasi untuk Menurunkan Konsentrasi Logam Berat di Wilayah Pesisir Menggunakan Tumbuhan Mangrove (Studi Kasus: Pencemaran Merkuri di Teluk Jakarta). *Jurnal Teknik ITS*. 10(1): G22-G28.
- Park, J. H., Choppala, G. K., Bolan, N. S., Chung, J. W., & Chuasavathi, T. .2011. Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant and soil*. 348(1): 439-451.
- Purnomo, W. D., Maghandi, M., Helmanto, H., Witono, R. J. 2015. Jenis-jenis tumbuhan reklamasi potensial untuk fitoremediasi di kawasan bekas tambang emas. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon*. 1 (3): 496-500.
- Putri, A. H. I., Steven, S., Oktavia, F. D., Restiawaty, E., Adilina, I. B., Safaat, dan Bindar, Y. 2024. Pyrolysis of macroalgae residue from the agar industry for silica-rich biochar and other sustainable chemicals: Process Performances, product applications, and simple business scenario. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 18(2): 391-409.
- Putri, V.I., Mukhlis, Hidayat, B. 2017. Pemberian beberapa jenis biochar untuk memperbaiki sifat kimia tanah ultisol dan pertumbuhan tanaman jagung. *Jurnal Agroekoteknologi*. 5(4): 824- 828.
- Rawat, J., Saxena, J. and Sanwal, P., 2019. *Biochar: a sustainable approach for improving plant growth and soil properties*. Biochar-an imperative amendment for soil and the environment. Hlm. 1-17.
- Riniarti, M., Hidayat, W., Prasetya, H., Niswati, A., Hasanudin, U., Banuwa, I. S., Yoo, J., Kim, S., dan Lee, S. 2021. *Using two dosages of biochar from shorea to improve the growth of Paraserianthes falcataria seedlings*. IOP Conference Series: Earth dan Environmental Science I.
- Salmina, S. 2017. Studi Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Oleh Masyarakat Di Jorong Koto Sawah Nagari Ujung Gading Kecamatan Lembah Melintang. *Jurnal Spasial: Penelitian, Terapan Ilmu Geografi, dan Pendidikan Geografi*. 6(2): 33-40.
- Samsi, A. S. 2000. *Analisis Keragaman Genetik pada Tanaman Mahoni Daun Besar (Swietenia macrophylla King.) di Kebun Benih Parung Panjang*. [Skripsi]. Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. Bogor. Hlm. 58.

- Santi, L. P., dan Goenadi, D. H. 2010. Pemanfaatan biochar sebagai pembawa mikroba untuk pemantap agregat tanah Ultisol dari Taman Bogo-Lampung The use of bio-char as bacterial carrier for aggregate stabilization in Ultisol Soil from Taman Bogo-Lampung. *Menara Perkebunan*. 78(2): 52-60.
- Schmidt, L. 2000. *Pedoman Penanganan Benih Tanaman Hutan Tropis dan Sub Tropis*. Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial Indonesia Forest Seed Project Gramedia. Jakarta.
- Sismiyanti, S., Hermansah, H. and Yulnafatmawita, Y., 2018. Klasifikasi beberapa sumber bahan organik dan optimalisasi pemanfaatannya sebagai biochar. *Jurnal Solum*. 15(1):.8-16.
- Soheti, Prima., Sumarlin, Ode., Marisi, Poltak.2020. Fitoremediasi Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) untuk Menurunkan Kadar Torium. *Eksplorium*. 41(2): 139-150.
- Sonya D.N., Bobby J., dan Polli. 2002. Pendugaan Kandungan Merkuri dan Sianida di Daerah Aliran Sungai (DAS) Buyat Minahasa. *Jurnal Etokon*. 2(1): 31-37.
- Sutopo, L. 2002. *Teknologi Benih*. Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Susanto, Santoso, Suwedi. 2017. Perhitungan Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Sumber Energi Terbaharukan dengan Metode LCA. *jurnal teknologi lingkungan*. 18(2): 105-110.
- Sukmawati, S. 2020. Karakterisasi sifat kimia biochar dari tongkol jagung, cangkang dan tandan kosong kelapa sawit: Bahan organik menjanjikan dari limbah pertanian. *Agroplanta: Jurnal Ilmiah Terapan Budidaya dan Pengelolaan Tanaman Pertanian dan Perkebunan*. 9(2): 25-37
- Sunarsih, S., Suseno, H. P., and Fajri, M. A. 2021. Perbandingan efektivitas jerapan Pb dalam partikulat oleh pohon tanjung (*Mimusops elengi*) dan pohon bungur (*Lagerstroemia*)(studi kasus di jalan timoho yogyakarta). *Jurnal teknologi technoscientia*. 14(1): 1-9.
- Syarif, F. 2008. Toleransi Sengon Buto (*Enterolobium cyclocarpum Griseb*) yang Ditanam pada Media Limbah Tailing Tercemar Sianida dengan Perlakuan Pupuk. *Berita Biologi*, 9(1), 105-110.
- Tambunan, S., Handayanto, E., dan Siswanto, B. 2014. Pengaruh aplikasi bahan organik segar dan biochar terhadap ketersediaan P dalam Tanah di lahan kering Malang Selatan. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 1(1): 85-92.

- Tang, J., Zhu, W., Kookana, R., Katayama, A. 2013. Characteristics of biochar and its application in remediation of contaminated soil. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 116(6): 653-659.
- Tarigan, A.A.L.B., Riniarti, M., Prasetia, H., Hidayat, W., Niswati, A., Banuwa, I.S., Hasanudin, U. 2021. Pengaruh biochar pada simbiosis rhizobium dan akar sengon laut (*Paraserianthes falcataria*) dalam media tanam. *Jurnal of People, Forest and Environment*. 1(1): 11–20.
- Wijaya, B.A., Hidayat, W., Riniarti, M., Prasetia, H., Niswati, A., Hasanudin, U., Banuwa, I.S., Kim, S., Lee, S. and Yoo, J., 2022. Meranti (*Shorea* sp.) biochar application method on the growth of sengon (*Falcataria moluccana*) as a solution of phosphorus crisis. *Energies*. 15(6): p.2110.
- Wijayanti, W. 2018. Identifikasi komposisi kimia tar kayu mahoni untuk biofuel pada berbagai temperatur pirolisis. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(3): 183-190.
- Yang, F., Wang, C. and Sun, H., 2021. A comprehensive review of biochar-derived dissolved matters in biochar application: Production, characteristics, and potential environmental effects and mechanisms. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 9(3): p.105258.
- Yunita, R. S. 2022. *Aplikasi Beberapa Dosis Biochar Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Pertumbuhan Semai Sengon (Falcataria moluccana)* Doctoral dissertation. Universitas Lampung.
- Zulkoni, A., Rahyuni, D., and Nasirudin, N. 2017. Pemangkasan Akar Dan Inokulasi Jma Sebagai Upaya Peningkatan Fitoremediasi Tanah Tercemar Merkuri Akibat Penambangan Emas Oleh Tanaman Jati Di Kokap Kulon Progo Yogyakarta (Under Ground Root Pruning And Jma Inoculation To Improve Phytoremediation Of Soil Contaminated With Mercury Due To Gold Mining By Tectona Grandis In Kokap Kulonprogo Yogyakarta). *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 24(1): 17-22.
- Zulkoni, A. 2018. Upaya peningkatan fitoremediasi tanahtercemar merkuri di kokap kulonprogo yogyakarta menggunakan akasia (*Acacia sieberiana* DC) dengan pemangkasan akar dan inokulasi mikoriza. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*. 18(1): 1-10.