

**PEMANFAATAN BIOCHAR BATANG KELAPA SAWIT  
SEBAGAI AMANDEMEN TANAH ULTISOL  
PERKEBUNAN KELAPA SAWIT**

**Disertasi**

Sebagai Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Doktor  
Program Studi Ilmu Pertanian



Oleh

Ebsan Marihot Sianipar  
NPM 201901004

**PROGRAM DOKTOR ILMU PERTANIAN  
PROGRAM PASCA SARJANA  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 24/4/26

Access From (repositori.uma.ac.id)24/4/26

## HALAMAN PENGESAHAN DISERTASI

Judul Disertasi : PEMANFAATAN BIOCHAR BATANG KELAPA SAWIT SEBAGAI AMANDEMEN TANAH ULTISOL PERKEBUNAN KELAPA SAWIT

Nama : Ebsan Marihot Sianipar

NPM : 201901004

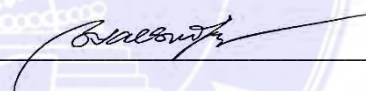
Disetujui oleh

Promotor  
Prof. Dr. Ir. Siti Mardiana, M.Si



---

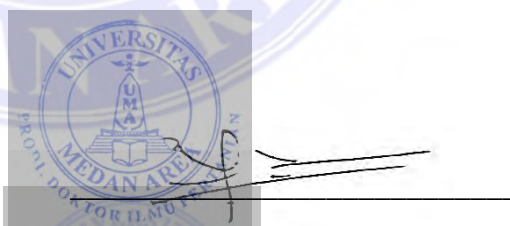
Co-Promotor  
Dr. Ir. Syahbudin Hasibuan, M.Si



---

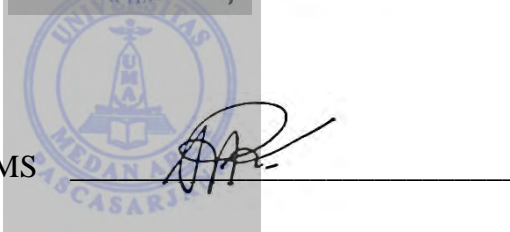
Diketahui oleh

Ketua Program Studi  
Prof. Ir. Zukarnain Lubis, MS., Ph.D



---

Direktur Pascasarjana  
Prof. Dr. Ir. Retna Astuti Kuswardani, MS



---

Tanggal Ujian : 30 Oktober 2025

Tanggal Lulus : 30 Oktober 2025

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

### PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam disertasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh keserjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Medan, Maret 2025  
Yang menyatakan



Ebsan Marihot Sianipar  
(201901004)

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI DISERTASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ebsan Marihot Sianipar  
NPM : 201901004  
Program Studi : Doktor Ilmu Pertanian  
Fakultas : Pascasarjana  
Jenis karya : Disertasi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Pemanfaatan Biochar Batang Kelapa Sawit Sebagai Amandemen Tanah Ultisol Perkebunan Kelapa Sawit; beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan disertasi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan  
Pada tanggal : 30 Oktober 2025  
Yang menyatakan



(Ebsan Marihot Sianipar)

## ABSTRAK

Biochar berasal dari bahan baku batang kelapa sawit (BKS) dipirolisis terpisah berdasarkan tinggi batang relatif (bawah, tengah, dan atas) dan campuran. Pirolisis yang dilakukan adalah pirolisis lambat dengan kisaran suhu 300 – 400 °C menggunakan tungku reaktor drum (*drum retort kiln*). Biochar dianalisis dengan analisis difraksi sinar-X (XRD), scanning electronic microscopy (SEM) yang digabungkan dengan spektrometer sinar-X dispersif energi (EDX), spektroskopi inframerah transformasi Fourier (FTIR), analisis proksimat dan analisis unsur. Biochar batang kelapa sawit (BBKS) bagian bawah batang memiliki puncak intensitas tertinggi yang diukur dengan XRD mengandung 62,05% karbon tetap, 69,21% karbon, 26,28% oksigen dan kadar abu paling rendah 7,83%. Ukuran pori terbesar dengan jumlah pori paling banyak dan kadar abu paling tinggi 12,34% ditemukan pada BBKS dari bagian batang atas. Studi ini menunjukkan BBKS yang dihasilkan dengan *drum retort kiln* sesuai standar *International Biochar Initiative* (IBI) dan *European Biochar Certificate* (EBC) untuk digunakan sebagai amandemen tanah untuk aplikasi pertanian. Penelitian dilanjutkan pada pembibitan awal (*Pre-nursery*) dengan media tanah ultisol di rumah kaca. Biochar batang kelapa sawit yang berasal dari bagian atas, tengah, dan bawah diaplikasi pada tingkat: 1, 2, 3, dan 4% (b/b) selama 12 minggu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi biochar sebesar 2% (b/b) optimal meningkatkan serapan N, P, K dan pertumbuhan bibit kelapa sawit. Aplikasi sampai tingkat 2% (b/b) digunakan pada percobaan lapangan pada tanaman kelapa sawit menghasilkan di tanah Ultisol. Perlakuan pada percobaan lapangan ini adalah: B0 (tanpa biochar); B1 (aplikasi biochar 1%); B2 (aplikasi biochar 2%). Hasil penelitian menunjukkan penambahan BBKS sampai 2% (B2) secara signifikan meningkatkan sifat kimia tanah meliputi pH, C-organik, KTK, Kejenuhan Basa, Ca-dd, Mg-dd, K-dd, Boron dan P-tersedia. Sifat fisika tanah meningkatkan total porositas dan kapasitas air tersedia meningkat masing-masing sebesar 2,8 dan 3%, menurunkan BD sebesar 3–5% per persen. Untuk sifat biologi tanah meningkatkan total mikroba pelarut P dan respirasi mikroorganisme tanah secara signifikan. Serta signifikan meningkatkan kandungan unsur hara daun seperti N, P, K, Ca, B dan berat 1 berondolan.

Kata kunci: Batang kelapa sawit, ultisol, amandemen, biochar

## ABSTRACT

Biochar derived from oil palm trunks (OPT) was pyrolyzed separately based on relative trunk height (bottom, middle, and top) and mixed. Slow pyrolysis was performed at a temperature range of 300–400°C using a drum retort kiln. Biochar was analyzed using X-ray diffraction (XRD), scanning electronic microscopy (SEM) combined with an energy-dispersive X-ray spectrometer (EDX), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), proximate analysis, and elemental analysis. The biochar derived from OPT bottom section had the highest intensity peak, measured by XRD, containing 62.05% fixed carbon, 69.21% carbon, 26.28% oxygen, and the lowest ash content of 7.83%. The largest pore size, the highest number of pores, and the highest ash content of 12.34% were found in the biochar top section OPT. This study demonstrates that oil palm trunk biochar produced by drum retort kiln meets The International Biochar Initiative (IBI) and European Biochar Certificate (EBC) standards for use as soil amendment for agricultural applications. The study was continued in the pre-nursery with ultisol soil media in a greenhouse. Oil palm trunk biochar derived from the top, middle, and bottom sections were applied at levels of: 1, 2, 3, and 4% (w/w) for 12 weeks. The results showed that the application of biochar at 2% (w/w) optimally increased the uptake of Nitrogen, Phosphorus, Potassium and the growth of oil palm seedlings. Applications up to 2% (w/w) were used in field trials on mature oil palm plants on Ultisol soil. The treatments in this field trial were: B0 (without biochar); B1 (1% biochar application); B2 (2% biochar application). The results showed that the addition of oil palm trunk biochar up to 2% (B2) significantly improved soil chemical properties including pH, organic-C, CEC, Base Saturation, Ca-dd, Mg-dd, K-dd, Boron and P-available. Soil physical properties increased total porosity and available water capacity by 2.8% and 3%, respectively, while decreasing BD by 3–5%. For the biological properties increased total P-solubilizing microbes and soil microbial respiration significantly. As well as significantly increased leaf nutrient content, including N, P, K, Ca, and B, and the weight of one loose fruit bunch.

Keywords: Oil palm trunk, ultisol, amendment, biochar

## RINGKASAN

### **PEMANFAATAN BIOCHAR BATANG KELAPA SAWIT SEBAGAI AMANDEMEN TANAH ULTISOL PERKEBUNAN KELAPA SAWIT, EBSAN MARIHOT SIANIPAR, 201901004, PROMOTOR SITI MARDIANA DAN CO-PROMOTOR SYAHBUDIN HASIBUAN.**

Perkebunan kelapa sawit di Indonesia sebagian besar ditanam pada tanah ultisol. Tanah ultisol merupakan tanah yang telah mengalami pelapukan lanjut memiliki kesuburan tanah rendah yang berdampak pada rendahnya serapan unsur hara, pertumbuhan dan hasil kelapa sawit. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji teknologi amandemen tanah dengan memanfaatkan batang kelapa sawit sebagai bahan baku biochar yang berfungsi sebagai pembenah sifat kimia, fisika dan biologi tanah ultisol.

Penelitian terdiri dari tiga sub penelitian, yaitu 1) Karakterisasi biochar batang kelapa sawit hasil pembuatan dengan tungku tabung drum (*drum retort kiln*) suhu pirolisis rendah kisaran 300 – 400 °C; 2) Kajian pengaruh biochar batang kelapa sawit terhadap pertumbuhan, kandungan hara tanah dan serapan N, P, dan K bibit kelapa sawit. Percobaan rumah kaca dengan Rancangan Acak Kelompok non-faktorial, yaitu: B0 (tanpa biochar); B1 (1% biochar batang atas); B2 (2% biochar batang atas); B3 (3% biochar batang atas); B4 (4% biochar batang atas); B5 (1% biochar batang tengah); B6 (2% biochar batang tengah); B7 (3% biochar batang tengah); B8 (4% biochar batang tengah); B9 (1% biochar batang bawah); B10 (2% biochar batang bawah); B11 (3% biochar batang bawah); B12 (4% biochar batang bawah); 3) Pengaruh pemberian biochar batang kelapa sawit terhadap sifat kimia, fisika, biologi tanah, kandungan hara daun dan produksi kelapa sawit. Percobaan lapangan pada tanaman kelapa sawit menghasilkan dengan Rancangan Acak Kelompok non-faktorial, dengan perlakuan: B0 (tanpa biochar), B1 (biochar 1%) dan B2 (biochar 2%). Parameter yang diamati adalah morfologi, struktur dan sifat kimia biochar batang kelapa sawit, parameter agronomi dan tanah di pembibitan dan di lapangan tanaman menghasilkan. Analisis data menggunakan uji F pada taraf nyata 5%, dan dilanjutkan dengan uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) pada taraf 5% terhadap parameter yang menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan.

Hasil penelitian: 1) Biochar batang kelapa sawit (BBKS) bagian atas memiliki kadar abu paling tinggi 12,34% dengan struktur pori lebih banyak. Biochar batang kelapa sawit bagian bawah memiliki kadar karbon paling tinggi. BBKS memenuhi kriteria sebagai amandemen tanah, yaitu: kandungan karbon tinggi > 60% (*carbon* 62,05%), luas permukaan dan struktur pori-pori yang tinggi, kaya kandungan unsur hara P, K, S, Ca, Mg; intensitas gugus fungsional aromatik tinggi, kandungan logam berat masih memenuhi ambang batas standar *International Biochar Initiative* (IBI) dan *European Biochar Certificate* (EBC). 2) Aplikasi BBKS pada dosis 2% signifikan meningkatkan pertumbuhan bibit kelapa sawit (tinggi tanaman, berat kering tajuk dan akar), status nutrisi tanah N, P, K, dan serapan unsur hara N, P, K bibit kelapa sawit. 3) Aplikasi BBKS dosis 2% mampu memperbaiki sifat kimia (pH, C-organik, KTK, Kejenuhan Basa, dan P-tersedia), fisika (porositas, kapasitas air tersedia serta mengurangi kepadatan massa) dan biologi tanah (aktivitas mikroba dengan melihat meningkatnya respirasi dan P-tersedia dengan meningkatnya total mikroba pelarut P), mendukung hasil kelapa sawit (berat 1 berondolan) pada tanah ultisol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa BBKS direkomendasikan sebagai amandemen tanah ultisol pada dosis 2% baik untuk pembibitan di pre-nursery dan dilapangan pada tanaman menghasilkan.

Kata kunci : Amandemen, Biochar, Ultisol, Batang Kelapa Sawit

## SUMMARY

### **UTILIZATION OF OIL PALM TRUNK BIOCHAR AS AN AMENDMENT FOR ULTISOL SOIL IN OIL PALM PLANTATIONS, EBSAN MARIHOT SIANIPAR, 201901004, PROMOTER SITI MARDIANA AND CO-PROMOTER SYAHBUDIN HASIBUAN.**

Most oil palm plantations in Indonesia are planted on ultisol soil. Ultisol soil is soil that has undergone advanced weathering and has low soil fertility which has an impact on low nutrient absorption, growth and yield of oil palm. This study was conducted to examine soil amendment technology by utilizing palm oil trunks as raw materials for biochar which functions as a chemical, physical and biological improver of ultisol soil.

The study consists of three sub-studies, namely 1) Characterization of oil palm trunk biochar (OPTB) made with a drum retort kiln with a low pyrolysis temperature of 300 - 400 °C; 2) Study of the effect of oil palm trunk biochar on growth, soil nutrient content and absorption of N, P, K nutrients of oil palm seedlings. Greenhouse experiment with non-factorial Randomized Block Design, namely: B0 (without biochar); B1 (1% upper trunk biochar); B2 (2% upper trunk biochar); B3 (3% upper trunk biochar); B4 (4% upper trunk biochar); B5 (1% middle trunk biochar); B6 (2% middle trunk biochar); B7 (3% middle trunk biochar); B8 (4% middle trunk biochar); B9 (1% lower trunk biochar); B10 (2% lower trunk biochar); B11 (3% lower trunk biochar); B12 (4% lower trunk biochar); 3) Effect of OPTB on chemical, physical, biological properties, soil nutrient content and oil palm production. Field experiments on mature oil palm plants with non-factorial Randomized Block Design, namely biochar doses (0, 1, and 2%). The parameters observed were the morphology, structure and chemical properties of oil palm trunk biochar, agronomic and soil parameters in nurseries and fields of productive plants. Data analysis used the F test at a significance level of 5%, and continued with the DMRT (Duncan Multiple Range Test) test at a level of 5% on parameters that showed a significant effect.

Results of the study: 1) Biochar derived from top section had the highest ash content 12.34% with more pore structure. While, biochar derived from bottom section had the highest carbon content. OPTB had the criteria as a soil amendment, namely: high carbon content > 60% (carbon 62.05%), high surface area and pore structure, rich in nutrients P, K, S, Ca, Mg; high intensity of aromatic functional groups, heavy metal content still meets the threshold of the European Biochar Certificate (EBC) and International Biochar Initiative (IBI) standards. 2) Application of OPTB at a dose 2% significantly increased the growth of oil palm seedlings (plant height, dry weight of shoots and roots), soil nutrient status of N, P, K, and absorption of N, P, K nutrients of oil palm seedlings. 3) Application of OPTB at a dose of 2% was able to improve chemical properties (pH, organic C, CEC, Base Saturation, and available P), physical (porosity, available water capacity and reducing mass density) and soil biology (microbial activity by looking at increased respiration and available P with increased total P-solubilizing microbes), supporting oil palm yields (weight of 1 bunch) on ultisol soil.

Keywords: Amendment, Biochar, Ultisol, Oil Palm Trunk

## PUBLIKASI KARYA ILMIAH



P-ISSN 2586-9000

E-ISSN 2586-9027

Homepage: <http://ejournal.uoma.ac.id/index.php/SciTechAsia>

Science & Technology Asia

Volume 1 January - March 2024

Page [256-270]

Original research article

# Applicability Assessment of Oil Palm Trunk Biochar for Use as Soil Amendment: Morphology, Structure, and Chemical Properties

Ebsan Marihot Sianipar<sup>1,2,\*</sup>, Sumihar Hutapea<sup>3</sup>, Emitha Parjaitan<sup>2</sup>, Siti Mardiana<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Doctoral Program in Agriculture Science, Universitas Medan Area, Medan 20112 Indonesia

<sup>2</sup>Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Universitas Methodist Indonesia, Medan 20132, Indonesia

<sup>3</sup>Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Universitas Medan Area, Medan 20112, Indonesia

Received 19 July 2023; Received in revised form 14 December 2023

Accepted 12 January 2024; Available online 31 March 2024

### ABSTRACT

This study was conducted to investigate the quality of biochars derived from oil palm trunk (OPT) based on relative trunk height (bottom, middle, top). The OPT biochars were produced by drum retort kiln with a temperature range of 300-400°C (slow pyrolysis conditions). Morphology, structure, chemical properties and heavy metal content of the OPT biochars were measured in order to assess their suitability for use as a soil amendment. The synthesized carbon was analyzed by X-ray diffraction analysis (XRD). The morphology of the OPT biochars was analyzed by scanning electronic microscopy (SEM) coupled with an energy dispersive X-ray spectrometer (EDX) to identify mineral species on the OPT biochar surface. The analytical methods applied for biochar characterization were proximate analysis and elemental analysis. Characterization of surface functional groups of the OPT biochar was carried out using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). According to the analysis results, the biochar derived from bottom OPT had the highest intensity peak measured by XRD; it contained 62.05% fixed carbon, 69.21% carbon, and it had the lowest oxygen content at 26.28%. The highest number of pores was found in biochar derived from top OPT. Overall, the biochars had rich macronutrients, numerous functional groups, and low heavy metal content. This study showed the applicability of oil palm trunk biochar for use as a soil amendment for agricultural applications.

**Keywords:** Carbon; Characterization; Drum retort kiln; Heavy metal; Pyrolysis

\*Corresponding author: [ebsansianipar@methodist.ac.id](mailto:ebsansianipar@methodist.ac.id)



## Characterization of oil palm trunk biochar as soil amendment produced by using drum retort kiln

<sup>1</sup>Ebsan Marihot Sianipar, <sup>2</sup>Sumihar Hutapea, and <sup>3</sup>Siti Mardiana

<sup>1</sup>Doctoral Program in Agriculture Science, University of Medan Area, 20112 Medan, Indonesia, <sup>1</sup> Faculty of Agriculture, University of Methodist Indonesia, 20132 Medan, Indonesia, <sup>2</sup>Lecturer in Postgraduate Agriculture Science, University of Medan Area, 20112 Medan, Indonesia

### Abstract

This study was conducted to investigate characteristics of biochar derived oil palm trunk (OPT). Drum retort kiln was used for the pyrolysis process the oil palm trunk. The oil palm trunk biochar were characterized by physical-chemical analysis in order to the use of biochar as a soil amendment. The analytical methods applied for biochar characterization were proximate analysis and elemental analysis. Characterization of surface functional groups of the oil palm trunk biochar was carried out using the fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), followed by the scanning electron microscope (SEM) determined the surface morphology of oil palm trunk. The oil palm trunk biochar presents suitable properties for its use as soil amendment for agricultural applications.

**Keywords:** Biochar, oil palm trunk, pyrolysis, soil amendment, characterization

Full length article \*Corresponding Author, e-mail: ebsan.sianipar@medan.ums.ac.id

### 1. Introduction

Biochar is a carbon-rich the product of thermal degradation of organic materials under an oxygen-depleted environment (i.e., pyrolysis), and is recently recognized as an emerging technology, and is distinguished from charcoal by its use as a soil amendment [1, 2, 3, 4]. However, soil amendment characteristics of biochar are varied with the pyrolysis temperature and feedstock source. Due to the issue of deforestation and the pressure to avoid use of native forest resources for production of char, there is increasing requirement for the use of renewable materials and development of additional sustainable processes. Oil palm

production of 54 million tons empty fruit bunch (EFB), 31 million tons mesocarp fiber (MF), 15 million tons palm kernel shell (PKS), 130 million tons pal oil mill effluent (POME), 115 million tons oil palm frond, and 59.7 million tons oil palm trunk (OPT) [6]. OPT, is mainly composed of hemicelluloses, cellulose and lignin that has a high potential in Indonesia for biochar applications. However, the application of OPT biomass for the production of biochars using pyrolysis processes is still a challenge as there are only a few studies that have investigated the pyrolysis of OPT [7][8][9]. This paper presents a research in order to verify its main characteristics of physical-chemical properties of oil palm trunk biochar produced by using drum retort kiln.



## RESEARCH ARTICLE

## Open Access

# Effects of Oil Palm Trunk Biochar on Nutrient Uptake and Growth Performance of Oil Palm Seedlings in Pre-Nursery

Ebsan Marihot Sianipar<sup>1\*</sup>, Sumihar Hutapea<sup>1</sup>, Siti Mardiana<sup>2</sup>

## Abstract

Due to soil is an important factor as a growing media to obtain good oil palm in pre-nursery. Meanwhile, soil degradation has occurred in many places throughout the oil palm plantations such as ultisols. Therefore, it is crucial improving soil quality by application biochar. One identified option is biochar derived from oil palm trunk (OPT) application. This study objectives were to determine the growth, macronutrient status, and nutrient uptake of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) to the addition of biochars derived from the top, middle, and bottom section OPT in ultisols pre-nursery planting media. The experiment was arranged in a non-factorial randomized complete block design (RCBD) with three replications in a polyethylene bag. Biochars were added to ultisols at 1, 2, 3, and 4 % (w/w) in a green house experiment for 12 weeks pre-nursery. The application of biochars derived OPT increased plant height, shoot and root dry weight, content of N, P, K uptake, and N, P, K-total in soil achieved by the dose of 2%. The addition of biochar derived top section OPT provided better growth and N, P, K uptake than biochar derived bottom and middle section OPT. The findings revealed the application of biochars OPT at 2% (w/w) was more efficient for soil amendment to ultisols soil.

**Keywords:** Biochar, Macronutrient, Nutrient Uptake, Oil Palm Trunk, Soil amendment

## 1. Introduction

Oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) is a valuable commercial crop that generates cash and jobs in Indonesia. Currently, Indonesia is the biggest producer of palm oil worldwide, with plantations covering 14.62 million hectares in 2021 compared to 0.3 million hectares in 1980 (Directorate General of Estates, 2019; BPS-Statistics Indonesia, 2022). However, most of soils in Indonesia are considered dominated by the highly weathered soils such as inceptisols 59.69 million hectares, ultisols 54.20 million hectares and oxisols 23.05 million hectares; occupy about 31.89%, 29.08% and 12.37% of the total area of Indonesia respectively (Pertanian, 2009). The predominant soils planted with oil palm in North Sumatera are Ultisols and Inceptisols which dominate about 47% of the total area. The distribution of Ultisols in North Sumatera Province is 1,519,000 ha (Soil Research Institute, 2006). These soils are naturally low in fertility (Goh et al., 2008) hence become a limiting factor when used as a growth medium in nursery.

In oil palm nurseries, improving soil fertility is very crucial. A number of factors that hinder plant growth have limited the use of ultisols as a planting medium, which are marginal soils in Indonesia (Sulungyo et al., 2004). Low pH (<5.0) with high Al saturation (>42%), low organic-C (<1.3%), low base saturation (29%), and low nutritional content (range of N and P concentration: 0.14% and 5.80 ppm, respectively) are a few of these characteristics (Alibasyah, 2016). Furthermore, while heavy rains can lead to erosion and a quick loss of nutrients, excess Al and Fe can restrict the availability of nutrients in the soil and affect plant growth (Paulwar et al., 2014). After that, the soil's fertility rapidly decreases, particularly the soil organic carbon required for farming that is sustainable over the long run.

Due to soil is an important factor as a growing media and the limitation of good soil to obtain good oil palm in pre-nursery. The palm oil industry conventionally used topsoil in the media for the oil palm nursery, which is crucial improving nutrient uptake and growth of oil palm

\*Correspondence: ebsan@ipon@elthoma.co.id

<sup>1</sup> Universitas Methodist Indonesia – Jl. Hang Tuah No. 4, Medan (Pala, Kec. Medan Puluh, Kota Medan, Sumatera Utara 20154, Indonesia)<sup>2</sup> Universitas Medan Area – J. H. Agus Salvo Medan, Kecamatan Guru, Kota Medan Tenggara, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20223, Indonesia

## Biocchar from Different Sections of Oil Palm Trunk Improves Biomass Accumulation and Nutrient Uptake in Pre-Nursery Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Ultisol Media

Ebsan Marihot Sianipar<sup>(\*)1,3</sup>, Siti Mandiana<sup>2</sup>, Syahbudin Hasibuan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Doctoral Program in Agricultural Science, Medan Area University,  
Jl. Setia Budi No. 79B/ Jl. Sei Serayu No. 70A Medan, North Sumatra 20121, Indonesia;

<sup>2</sup> Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Medan Area University,  
Jl. Setia Budi No. 79B/ Jl. Sei Serayu No. 70A Medan, North Sumatra 20121, Indonesia;

<sup>3</sup> Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Methodist Indonesia University,  
Jl. Harmonika Baru, Tanjung Sari Medan, North Sumatra 20132, Indonesia

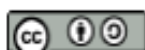
\*Corresponding author: ebsansianipar@methodist.ac.id

Submitted December 30<sup>th</sup> 2024 and Accepted February 28<sup>th</sup> 2025

### Abstract

The production of high quality seedlings is dependent on soil as planting media. Application of biochar derived from oil palm trunk onto oil palm seedling has been scarcely studied, especially on ultisol planting media. This research investigated the effect of oil palm trunk biochar on vegetative growth and nutrient uptake of belowground and aboveground tissues of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) in ultisol pre-nursery planting media. Three types of oil palm trunk biochar derived from top, middle, and bottom section were used in this research. The application rates were 1, 2, 3 and, 4 % (w/w) during 12 weeks in a green house. This experiment used a non factorial randomized complete block design with three replications. The addition of biochar derived oil palm trunk (OPT) amendments significantly increased stem diameter, plant height, root biomass, shoot biomass. The highest root to shoot ratio (RRs) for root and shoot biomass was 0.40, and 0.55, respectively, recorded at 2% application rates. The highest increase of N, P, and K uptake for belowground and aboveground tissues were resulted from B3 (3 % biochar top section), B2 (2 % biochar top section), and B2 (2 % biochar top section) treatments, respectively. Overall, the addition of biochar derived top section OPT at 2 % (w/w) could enhance stem diameter, RRs plant biomass, N, P, K uptake of belowground and aboveground tissues. The addition of biochar OPT at 2 % (w/w) should be recommendation in order to used as rate of biochar OPT for ultisol amendments in oil palm pre-nursery.

**Keywords:** Biochar; Biomass; Oil palm seedlings; Soil amendment



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulisan disertasi ini dapat diselesaikan. Disertasi penelitian ini berjudul “Pemanfaatan Biochar Batang Kelapa Sawit sebagai Amandemen Tanah Ultisol Perkebunan Kelapa Sawit”. Disertasi ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan pendidikan program studi doktor ilmu pertanian, program pasca sarjana di Universitas Medan Area. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa meskipun penulis telah berupaya untuk dapat menyusun dan menyajikan yang terbaik, namun dengan segala keterbatasan akan kemampuan dan pengetahuan yang penulis miliki, maka ini masih jauh dari yang diharapkan, baik ditinjau dari aspek gaya bahasa maupun kedalaman materi. Oleh karena itu sebagai salah satu upaya untuk lebih menyempurnakan disertasi ini, maka penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif dari semua pihak serta dari dosen pembimbing agar penulis tumbuh dan berkembang sebagai akademisi yang membawa kebaikan untuk lingkungannya. Dalam penyusunan disertasi ini penulis telah banyak dibantu oleh berbagai pihak baik materil maupun moril.

Selanjutnya dengan kerendahan hati penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Rektor Universitas Medan Area, Prof. Dr. Ir. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc.
2. Direktur Pascasarjana Universitas Medan Area, Prof. Dr. Ir. Hj. Retna Astuti Kuswardani, M.S.
3. Ketua Program Doktor Ilmu Pertanian Universitas Medan Area, Prof. Ir. Zulkarnain Lubis, M.S., Ph.D.
4. Promotor, Prof. Dr. Ir. Siti Mardiana, M.Si.; Promotor sebelumnya Dr. Ir. Sumihar Hutapea, MS; Co-promotor, Dr. Ir. Syahbudin Hasibuan, M.Si.
5. Rektor Universitas Methodist Indonesia, Dr. Drs. Humuntal Rumapea, M.Kom yang telah memberikan dukungan dan izin untuk melanjutkan pendidikan program doktor ilmu pertanian.

6. Direktur PTPN IV, Jatmiko Krisna Santosa dan Kepala Bagian Sumber Daya Manusia, Bambang Agustian, serta Manajer Kebun Balimbingan, Irfan Aulia, SP. yang memberikan izin penelitian di perkebunan kelapa sawit tanaman menghasilkan di Desa Hatonduhan Kebun Balimbingan Simalungun. Asisten, B. Bangun, SP., Mandor besar, N. Nainggolan dan Mandor panen, Sunardi yang membantu pelaksanaan penelitian di lapangan.
7. Ucapan terimakasih yang tidak terhingga kepada ayahanda Alm. L. G. Sianipar dan ibunda Alm. S. br. Marpaung, terimakasih atas pengorbanan, jerih payah dan usaha dalam membesarkan, mendidik penulis hingga dapat mencapai pendidikan saat ini; isteriku Rika Mellwysen br. Siregar, SH., ananda Christian Samuelson Sianipar, Yemima Martha Uli br. Sianipar yang mendukung dan membuat hari-hariku semangat serta seluruh keluarga yang namanya tidak dapat penulis cantumkan satu persatu, terimakasih atas bantuan dan dukungan selama ini.
8. Rekan-rekan dosen Fakultas Pertanian Universitas Methodist Indonesia yang telah banyak memberikan semangat dan motivasi atas perjuangan penyelesaian studi disertasi ini.
9. Seluruh staff/pegawai di Program Studi Doktor Ilmu Pertanian, Universitas Medan Area yang sudah banyak membantu selama ini.
10. Rekan-rekan mahasiswa Program Pascasarjana Doktor Ilmu Pertanian Universitas Medan Area angkatan 2020; 2021; dan 2022 yang saling membantu selama studi dan penyusunan disertasi ini.

Akhir kata, penulis mempunyai harapan besar disertasi ini memberikan manfaat kepada semua pembacanya. Penulis juga berharap disertasi ini bisa bermanfaat bagi pengelolaan tanah ultisol di perkebunan kelapa sawit dan semoga Tuhan Yang Maha Esa memberi perlindungan kepada kita semua.

Medan, Maret 2025

Ebsan Marihot Sianipar

xiii

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Belawan, pada tanggal 23 September 1965 dari pasangan Bapak L. G. Sianipar (Alm) dan Ibu S. br. Marpaung (Alm). Penulis merupakan anak pertama dari 5 bersaudara. Pendidikan yang pernah ditempuh, Tahun 1981 – 1984 SMA Negeri Labuhan Deli, Tahun 1984 – 1989 Universitas Sumatera Utara, Fakultas Pertanian, Jurusan Ilmu Tanah. Penulis bekerja sebagai asisten lapangan di perkebunan kelapa sawit PT. Inti Indosawit Subur (Asian Agri) Tahun 1990 – 1996. Penulis melanjutkan pendidikan Magister Manajemen Agribisnis Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor Tahun 1997 – 1999. Kemudian bekerja sebagai Dosen Yayasan di Politeknik Mandiri Bina Prestasi Tahun 2000 – 2015, dan sebagai Dosen tidak tetap di STIP-AP (Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian-Agrobisnis Perkebunan) sekarang ITS (Institut Teknologi Sawit Indonesia) Tahun 2005 – 2015. Penulis melanjutkan pendidikan Magister Pertanian melalui Beasiswa Program Pascasarjana Dalam Negeri (BPPS-DN) di Universitas Sumatera Utara Program Studi Ilmu Tanah Tahun 2006 – 2009. Pada Tahun 2020 penulis berkesempatan melanjutkan pendidikan ke jenjang S3 pada Program Studi Doktor Ilmu Pertanian Universitas Medan Area (DIP UMA).

Penulis bersama pembimbing yaitu Ibu Dr. Ir. Sumihar Hutapea, M.S, Ibu Prof. Dr. Ir. Siti Mardiana, M.Si dan Bapak Dr. Ir. Syahbudin Hasibuan, M.Si melakukan penelitian “Pemanfaatan Biochar Batang Kelapa Sawit Sebagai Amandemen Tanah Ultisol Perkebunan Kelapa Sawit”. Penulis adalah Dosen LLDIKTI Wilayah I sejak Tahun 2005 pada saat ini diperbantukan di Universitas Methodist Indonesia Program Studi Agroteknologi sejak Tahun 2016 sampai dengan sekarang. Penulis menikah dengan Rika Mellwysen Siregar, SH tahun 2000 dan dikaruniai 2 (dua) orang anak yaitu Christian Samuelson Sianipar (19 tahun), dan Yemima Martha Uli Sianipar (12 tahun).

## DAFTAR ISI

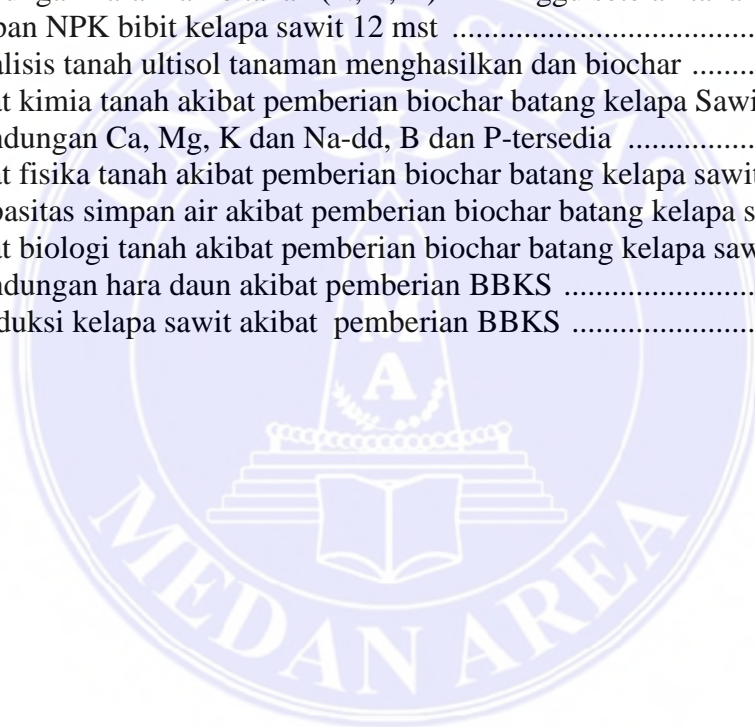
	Halaman
<b>HALAMAN PENGESAHAN DISERTASI</b> .....	i
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>RINGKASAN</b> .....	v
<b>SUMMARY</b> .....	vi
<b>PUBLIKASI KARYA ILMIAH</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	xiii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xviii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xxiv
<b>DAFTAR SINGKATAN</b> .....	xx
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	5
1.3. Tujuan Penelitian .....	6
1.4. Manfaat Penelitian .....	7
1.6. Ruang Lingkup Penelitian .....	7
1.7. Keaslian Penelitian .....	8
<b>II. LANDASAN TEORI</b> .....	9
2.1. Biochar .....	9
2.2. Biomassa Kelapa Sawit .....	10
2.2.1. Tandan Kosong Kelapa Sawit .....	11
2.2.2. Serabut Sawit .....	11
2.2.3. Cangkang Kelapa Sawit .....	11
2.2.4. Pelepah Kelapa Sawit .....	11
2.2.5. Batang Kelapa Sawit .....	12
2.3. Pirolisis .....	13
2.3.1. Pirolisis Lambat .....	15
2.3.2. Pirolisis Cepat .....	16
2.3.3. Pirolisis Vakum .....	17
2.4. Sifat Fisiko-Kimia Biochar .....	17
2.4.1. Kandungan Unsur Biochar .....	17
2.4.2. Kimia Permukaan Biochar .....	19
2.4.3. Analisis Spektroskopi Biochar .....	20
2.5. Tanah Ultisol .....	20
2.6. Kerangka Konseptual Penelitian .....	22
2.7. Hipotesis .....	23

<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	24
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian .....	24
3.2. Alat dan Bahan .....	24
3.2.1. Alat .....	24
3.2.2. Bahan .....	26
3.3. Teknik Pengumpulan Data .....	27
3.4. Prosedur Kerja .....	29
<b>IV. KARAKTERISASI BIOCHAR BATANG KELAPA SAWIT HASIL PEMBUATAN DENGAN MENGGUNAKAN DRUM RETORT KILN UNTUK AMENDEMENTAN TANAH</b> .....	31
4.1. Abstrak .....	31
4.2. Pendahuluan .....	32
4.3. Tinjauan Literatur .....	35
4.4. Metode Penelitian .....	38
4.4.1. Bahan Batang Kelapa Sawit .....	38
4.4.2. Karbonisasi .....	40
4.4.3. Karakterisasi Biochar .....	42
4.5. Hasil dan Pembahasan .....	43
4.5.1. Pemetaan XRD .....	43
4.5.2. Analisis Morfologi .....	44
4.5.3. Analisis Proksimat dan Elemen .....	48
4.5.4. Analisis FTIR .....	52
4.5.5. Kandungan Logam Berat .....	54
4.6. Simpulan dan Rekomendasi .....	55
4.7. Daftar Pustaka .....	56
<b>V. KAJIAN PENGARUH BIOCHAR BATANG KELAPA SAWIT TERHADAP PERTUMBUHAN, KANDUNGAN HARA TANAH DAN SERAPAN HARA N, P, K BIBIT KELAPA SAWIT</b> .....	73
5.1. Abstrak .....	73
5.2. Pendahuluan .....	74
5.3. Tinjauan Literatur .....	75
5.4. Metode Penelitian .....	75
5.4.1. Bahan dan Alat .....	75
5.4.2. Pelaksanaan Penelitian .....	78
5.4.3. Pengamatan Pertumbuhan Tanaman .....	79
5.4.4. Analisis Tanaman .....	79
5.4.5. Analisis Tanah .....	80
5.4.6. Analisis Data .....	80
5.5. Hasil dan Pembahasan .....	81
5.5.1. Tinggi Tanaman .....	81
5.5.2. Biomassa Tanaman .....	82
5.5.3. Status N, P, K Tanah .....	83
5.5.4. Serapan N, P, K Tanaman .....	85
5.6. Simpulan dan Rekomendasi .....	87
5.7. Daftar Pustaka .....	88

<b>VI. PENGARUH PEMBERIAN BIOCHAR BATANG KELAPA SAWIT TERHADAP SIFAT KIMIA, FISIKA, BIOLOGI, KANDUNGAN HARA DAN PRODUKSI KELAPA SAWIT</b> .....	93
6.1. Abstrak .....	93
6.2. Pendahuluan .....	94
6.3. Tinjauan Literatur .....	95
6.3.1. Pengaruh Biochar Terhadap Sifat Kimia Tanah .....	95
6.3.2. Pengaruh Biochar Terhadap Sifat Fisika Tanah .....	96
6.3.3. Pengaruh Biochar Terhadap Sifat Biologi Tanah .....	97
6.3.4. Pengaruh Biochar Terhadap Tanaman .....	98
6.4. Metode Penelitian .....	100
6.4.1. Bahan dan Alat .....	100
6.4.2. Design Penelitian .....	100
6.4.3. Lokasi Penelitian .....	101
6.4.4. Aplikasi Biochar .....	102
6.4.5. Analisis Tanah .....	103
6.4.5.1. Analisis Kimia Tanah .....	104
6.4.5.2. Analisis Fisika Tanah .....	104
6.4.5.3. Analisis Biologi Tanah .....	105
6.4.6. Kandungan Hara Tanaman .....	106
6.4.7. Pengamatan Produksi Tanaman .....	107
6.4.7. Analisis Data .....	108
6.5. Hasil dan Pembahasan .....	109
6.5.1. Pengaruh Biochar Terhadap Sifat Kimia Tanah .....	109
6.5.2. Pengaruh Biochar Terhadap Sifat Fisika Tanah .....	111
6.5.3. Pengaruh Biochar Terhadap Sifat Biologi Tanah .....	114
6.5.4. Kandungan Unsur Hara Daun .....	117
6.5.5. Produksi Buah Kelapa Sawit .....	118
6.6. Simpulan dan Rekomendasi .....	119
6.7. Daftar Pustaka .....	121
<b>VII. PEMBAHASAN UMUM</b> .....	132
<b>VIII. SIMPULAN DAN REKOMENDASI</b> .....	148
<b>IX. DAFTAR PUSTAKA</b> .....	150
<b>LAMPIRAN</b> .....	165

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Hasil analisis proksimat dan elemen biochar .....	49
Tabel 2. Hasil FTIR BBKS bagian bawah, tengah, dan atas .....	53
Tabel 3. Kandungan logam berat BBKS .....	54
Tabel 4. Hasil analisis tanah dan BBKS.....	77
Tabel 5. Perlakuan pemberian biochar pada tanah ultisol .....	78
Tabel 6. Tinggi bibit kelapa sawit pada 3, 6, 9, dan 12 minggu setelah tanam ...	82
Tabel 7. Berat kering akar, tajuk dan tanaman berdasarkan rasio tajuk:akar .....	83
Tabel 8. Kandungan hara makro tanah (N, P, K) 12 minggu setelah tanam .....	84
Tabel 9. Serapan NPK bibit kelapa sawit 12 mst .....	86
Tabel 10. Analisis tanah ultisol tanaman menghasilkan dan biochar .....	101
Tabel 11. Sifat kimia tanah akibat pemberian biochar batang kelapa Sawit .....	110
Tabel 12. Kandungan Ca, Mg, K dan Na-dd, B dan P-tersedia .....	110
Tabel 13. Sifat fisika tanah akibat pemberian biochar batang kelapa sawit .....	113
Tabel 14. Kapasitas simpan air akibat pemberian biochar batang kelapa sawit ..	113
Tabel 15. Sifat biologi tanah akibat pemberian biochar batang kelapa sawit .....	114
Tabel 16. Kandungan hara daun akibat pemberian BBKS .....	117
Tabel 17. Produksi kelapa sawit akibat pemberian BBKS .....	119

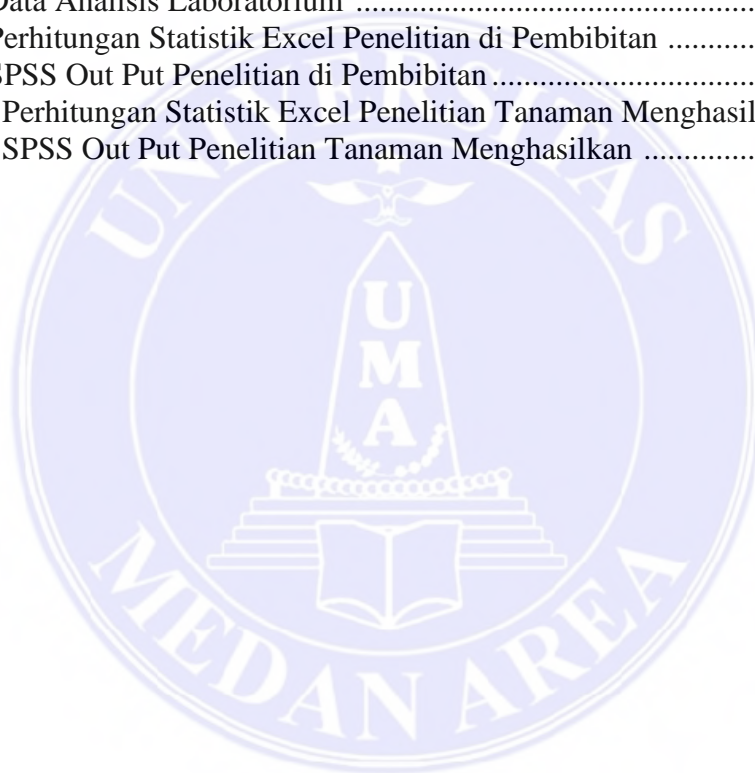


## DAFTAR GAMBAR

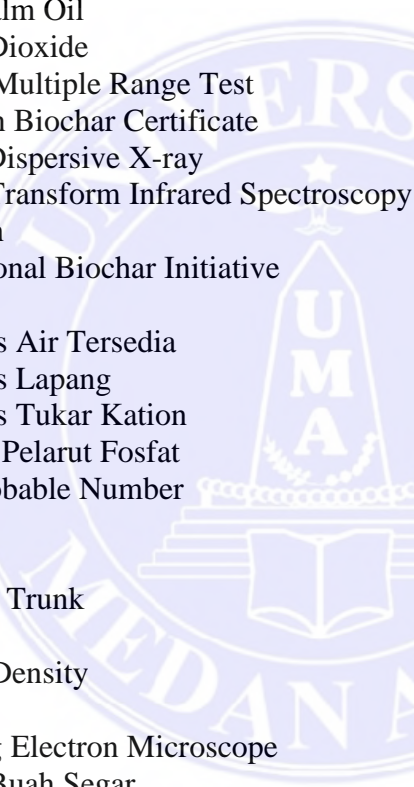
	Halaman
Gambar 1. Kerangka Konseptual Penelitian .....	22
Gambar 2. Tungku reaktor drum .....	25
Gambar 3. Bagan Alur Penelitian .....	29
Gambar 4. Prosedur Penelitian .....	30
Gambar 5. BKS sebelum pirolisis dan Biochar BKS .....	39
Gambar 6. Pencacahan BKS .....	40
Gambar 7. Pengeringan BKS .....	40
Gambar 8. Biochar batang kelapa sawit bahan dicacah .....	41
Gambar 9. Proses produksi BBKS .....	42
Gambar 10. Pembacaan temperatur .....	42
Gambar 11. Pemetaan XRD biochar batang bawah, tengah dan atas .....	44
Gambar 12. Hasil foto SEM biochar batang bawah, tengah dan atas .....	45
Gambar 13. Foto SEM menunjukkan pori-pori .....	46
Gambar 14. Spektrum FTIR batang bawah, tengah dan atas .....	52
Gambar 15. Aplikasi biochar .....	78
Gambar 16. Penanaman kecambah .....	78
Gambar 17. Tempat penaburan biochar .....	102
Gambar 18. Penaburan biochar .....	102
Gambar 19. Penentuan nomor daun .....	106
Gambar 20. Sampel daun dari lapangan .....	106

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Jadwal Pelaksanaan Penelitian .....	165
Lampiran 2. Deskripsi Bibit Kelapa Sawit Turunan SP 540 .....	166
Lampiran 3. Bagan Penelitian Pada Pembibitan .....	167
Lampiran 4. Denah Penelitian Pada Tanaman Menghasilkan .....	168
Lampiran 5. Data Curah Hujan Daerah Penelitian Periode 2020-2023 .....	169
Lampiran 6. Foto-Foto Pelaksanaan Penelitian .....	170
Lampiran 7. Data Analisis Laboratorium .....	175
Lampiran 8. Perhitungan Statistik Excel Penelitian di Pembibitan .....	180
Lampiran 9. SPSS Out Put Penelitian di Pembibitan .....	187
Lampiran 10. Perhitungan Statistik Excel Penelitian Tanaman Menghasilkan....	200
Lampiran 11. SPSS Out Put Penelitian Tanaman Menghasilkan .....	202



## DAFTAR SINGKATAN



AAS	: Atomic Absorption Spectrophotometer
ASTM	: American Standard Testing and Material
BD	: Bulk Density
BKS	: Batang Kelapa Sawit
BBKS	: Biochar Batang Kelapa Sawit
C	: Carbon
CFU	: Colony Forming Unit
CPO	: Crude Palm Oil
CO <sub>2</sub>	: Carbon Dioxide
DMRT	: Duncan Multiple Range Test
EBC	: European Biochar Certificate
EDX	: Energy Dispersive X-ray
FTIR	: Fourier Transform Infrared Spectroscopy
H	: Hidrogen
IBI	: International Biochar Initiative
K	: Kalium
KAT	: Kapasitas Air Tersedia
KL	: Kapasitas Lapang
KTK	: Kapasitas Tukar Kation
MPF	: Mikroba Pelarut Fosfat
MPN	: Most Probable Number
N	: Nitrogen
O	: Oksigen
OPT	: Oil Palm Trunk
P	: Posfor
PD	: Particle Density
S	: Sulfur
SEM	: Scanning Electron Microscope
TBS	: Tandan Buah Segar
TM	: Tanaman menghasilkan
TLP	: Titik Layu Permanen
USDA	: United State of Department Agriculture
XRD	: X-ray Diffraction Analysis

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan salah satu komoditi pertanian yang mempunyai nilai ekonomi tinggi. Indonesia adalah penghasil minyak sawit/*Crude Palm Oil* (CPO) terbesar di dunia, diperkirakan sekitar 57% dari produksi CPO dunia (FAO, 2020). Industri kelapa sawit memberikan kontribusi terhadap pendapatan nasional dan turut meningkatkan taraf hidup dan kesejahteraan masyarakat Indonesia. Industri kelapa sawit telah memberikan kontribusi terhadap perekonomian Indonesia sebesar 3,5 persen dari produk domestik bruto (PDB) pada tahun 2020 (GAPKI, 2021). Statistik terbaru menunjukkan bahwa Indonesia mengekspor 25,9 juta ton (USD 17,3 miliar) pada tahun 2020, meningkat menjadi 26,1 juta ton (USD 22,7 miliar) CPO pada tahun 2023 (BPS, 2024). Industri kelapa sawit merupakan sumber penghidupan bagi sekitar 50 juta jiwa penduduk Indonesia (Musim Mas, 2021). Oleh karena itu, tidak mengherankan jika Indonesia sebagai salah satu negara pengekspor utama minyak kelapa sawit ini senantiasa berupaya keras mengembangkan industri ini agar tetap kompetitif di pasar internasional. Ekspansi perkebunan kelapa sawit yang pesat di Indonesia telah berkontribusi terhadap dominasi produksi CPO sejak tahun 2008.

Luas areal perkebunan kelapa sawit berkembang secara eksponensial; dari 6.000 ha pada tahun 1919, menjadi 3.878.986 ha pada tahun 2008, dan tercatat mencapai 15.928.712 Ha pada tahun 2023. Perkembangan luas perkebunan kelapa sawit dari tahun 1919 sampai 2008 rata-rata 725% per tahun dan 20,7% per tahun dari 2008 sampai 2023 (BPS, 2024). Hal ini menjadikan Indonesia menjadi negara yang mempunyai perkebunan kelapa sawit terluas di dunia. Distribusi luas areal perkebunan kelapa sawit paling luas adalah Kalimantan dan Sumatera yakni 85% dari total luas perkebunan kelapa sawit. Luas lahan perkebunan kelapa sawit terluas berada di Pulau Sumatera dibandingkan dengan pulau lainnya di Indonesia. Total luas areal perkebunan kelapa sawit di Pulau Sumatera Tahun 2023 mencapai 10.201.658 hektar di mana 4 (empat) provinsi di Pulau Sumatera termasuk dalam wilayah dengan luas perkebunan kelapa sawit terluas di Indonesia yaitu Provinsi Riau, Provinsi Sumatera Utara, Provinsi Sumatera Selatan dan Provinsi Jambi. Luas

perkebunan kelapa sawit di Provinsi Sumatera Utara tahun 2023 seluas 1.370.407 Ha dengan produksi 5.051.511 ton CPO (BPS, 2024).

Kelapa sawit di Sumatera Utara dominan ditanam pada tanah yang telah mengalami pelapukan lanjut termasuk ordo Ultisol dan Inseptisol, dua ordo tanah tersebut menempati sekitar 47% dari total luas wilayah (Regional Office for Asia and the Pasific, 1994). Tanah Ultisol di Indonesia tersebar seluas 54,2 juta ha atau sekitar 29,05% dari luas total daratan Indonesia (Soil Research Institute, 2006). Sebaran tanah Ultisol di Sumatera adalah 9.469.000 ha terluas kedua setelah Kalimantan seluas 21.938.000 ha, untuk Sumatera Utara sebaran Ultisol seluas 1.549.000 ha (Subagyo *et al.*, 2004; Mulyani *et al.*, 2004). Tanah Ultisol merupakan tanah marginal yang memiliki pH rendah ( $\text{pH} < 5.5$ ), kapasitas tukar kation rendah, kejenuhan basa rendah dan profil yang dalam, kandungan Aluminium hidroksida- $\text{Al}(\text{OH})_3$  dan Besi hidroksida- $\text{Fe}(\text{OH})_3$  tinggi (Van Wambeke, 1992). Umumnya ditemukan pada daerah curah hujan tinggi  $> 200$  mm/bulan, mengakibatkan pelindian dan erosi tinggi (Paramanathan, 2013). Iklim dengan curah hujan tinggi dan kandungan Al, dan Fe tinggi menyebabkan defisiensi unsur hara N, P, dan K (Rheinheimer *et al.*, 2018). Ultisol dicirikan oleh adanya akumulasi liat pada horison bawah permukaan sehingga mengurangi daya resap air dan meningkatkan aliran permukaan serta erosi tanah (Prasetiyo dan Suriadikarta, 2006; Andalusia dan Arabia, 2016). Tekstur tanah ultisol bervariasi mulai pasir berlempung sampai liat dengan horizon penciri argilik (Soil Survey Staff, 2014). Tanah ultisol dianggap sebagai tanah terdegradasi karena pH, bahan organik, kapasitas tukar kation rendah dan kapasitas menahan air, struktur tanah yang buruk, kekuatan mekanik yang tinggi, pengerasan permukaan, dan potensi kehilangan tanah tinggi (He dan Sun, 2008; Jien dan Wang, 2013). Kemudian kegiatan antropik, termasuk praktik pertanian intensif budidaya kelapa sawit dapat menyebabkan degradasi tanah yakni kandungan C menurun ( $< 1\%$ ) dan *bulk density* meningkat (Guillaume *et al.*, 2016). Degradasi tanah menyebabkan kondisi yang mengancam fungsi dan produktivitas tanah (Antoniadis *et al.*, 2017; Rajkovich *et al.*, 2012). Degradasi umumnya membuat kesuburan tanah menjadi rendah dan dengan demikian membatasi produksi tanaman (Lal, 2015). Oleh karena itu, penting untuk restorasi dan rehabilitasi tanah ultisol yang kesuburannya rendah atau terdegradasi.

Menghadapi masalah yang diuraikan di atas, teknologi baru harus dikembangkan untuk memastikan pemanfaatan biomasa batang kelapa sawit yang ramah lingkungan. Pemanfaatan batang kelapa sawit menjadi biochar yang efisien dan manajemen

pengelolaan lahan yang cerdas sangat penting untuk mencapai penggunaan biochar batang kelapa sawit yang berkelanjutan. Teknologi *biochar* adalah produk padat kaya karbon (C) dari konversi termokimia (proses dekomposisi termal) residu biomasa dengan pasokan oksigen minimal atau nol disebut juga pirolisis (Lehmann dan Joseph, 2009). Pirolisis adalah proses dekomposisi termal pada lingkungan oksigen terbatas, menunjukkan potensi sebagai metode ramah lingkungan untuk merubah biomasa (Lam *et al.*, 2016). Dengan demikian, penting untuk konversi biomasa dari batang kelapa sawit menjadi biochar yang kaya C, senyawa organik dan unsur hara limbah untuk membenahi tanah ultisol di pembibitan dan tanaman kelapa sawit menghasilkan terkait dengan pertumbuhan dan produksi kelapa sawit. Kualitas dari biochar sangat ditentukan oleh karakteristik bahan baku dan proses pirolisis (Amonette dan Joseph 2009). Bahan dasar yang digunakan akan mempengaruhi sifat-sifat biochar itu sendiri dan mempunyai efek yang berbeda-beda terhadap produktivitas tanah dan tanaman (Gani, 2009).

Biochar mampu memperbaiki tanah melalui kemampuannya meningkatkan pH, meretensi air, meretensi hara, dan meningkatkan aktivitas biota dalam tanah serta mengurangi pencemaran (Laird *et al.*, 2010). Pada dasarnya biochar berpotensi meningkatkan C-tanah secara berkelanjutan. Menurut Steiner *et al.* (2007) biochar sebagai bahan pembenah tanah memiliki sifat rekalsitran, lebih tahan terhadap oksidasi dan lebih stabil dalam tanah sehingga memiliki pengaruh jangka panjang terhadap perbaikan kualitas kesuburan tanah antara lain stabilitas agregat tanah, KTK tanah, kandungan C-organik tanah serta retensi air dan hara. Komponen karbon dari biochar lebih stabil dan rekalsitran dalam tanah dibandingkan dengan bahan organik lainnya seperti kompos dan pupuk kandang, yang memiliki tingkat degradasi yang relatif cepat, seperti yang dilaporkan oleh Lehmann (2007). Biochar memiliki 10-100 kali lebih stabil dari pada kebanyakan jenis bahan organik tanah lainnya (Jeffery *et al.*, 2011). Peningkatan stabilitas kimia biochar dikaitkan dengan ikatan kandungan aromatik yang kuat (Awad *et al.*, 2013; Purakayastha *et al.*, 2015). Biochar mempunyai paruh waktu yang lama berkisar ratusan sampai ribuan tahun tergantung jenis biochar dan cara produksi (Zimmerman, 2010). Hal ini karena bentuk karbon dalam biochar yang stabil berupa struktur aromatik dominan yang tahan terhadap dekomposisi. Biochar memiliki luas permukaan mikroskopis yang besar karena pori-pori mikro yang terbentuk

selama pirolisis, dan dapat digunakan sebagai amandemen tanah yang meningkatkan infiltrasi air, kapasitas tukar ion, retensi nutrisi dan adsorpsi polutan (Thies dan Rillig, 2009). Dengan demikian penggunaan biochar sebagai pembenah tanah selain memperbaiki sifat fisiko-kimia tanah juga dapat merupakan penyimpanan karbon yang baik.

Salah satu biomasa tanaman kelapa sawit adalah batang kelapa sawit banyak tersedia di areal tanam ulang (*replanting*) perkebunan kelapa sawit. Batang kelapa sawit sangat potensial digunakan sebagai bahan untuk pembuatan *biochar*. Pada umumnya batang kelapa sawit dibiarkan mengalami dekomposisi secara alami di lahan tanam ulang perkebunan kelapa sawit. Beberapa perkebunan besar melakukan pencacahan (*chipping*) batang kelapa sawit agar lebih cepat mengalami dekomposisi. Dekomposisi batang kelapa sawit berlangsung lama dan potensial menghasilkan gas emisi rumah kaca berupa CO<sub>2</sub>. Penggunaan batang kelapa sawit sebagai bahan baku *biochar* bertujuan untuk memanfaatkan batang kelapa sawit ramah lingkungan dengan mengurangi emisi CO<sub>2</sub> dibandingkan batang kelapa sawit dibiarkan mengalami dekomposisi. Pada kondisi lingkungan yang sama stabilitas jangka panjang biochar terbukti lebih baik dibandingkan dengan bahan organik non-pirolisis yang dimasukkan ke dalam tanah (Baldock dan Smernik, 2002; Cheng *et al.*, 2008; Liang *et al.*, 2008). Biochar memiliki perkiraan waktu tinggal rata-rata (*mean residence time*) di dalam tanah lebih dari 1000 tahun (Cheng *et al.*, 2008; Lehmann *et al.*, 2008; Liang *et al.*, 2008; Zimmerman, 2010) dan stabilitas jangka panjang ini merupakan prasyarat mendasar untuk mempertimbangkan biochar sebagai metode yang cocok sebagai amandemen tanah (Joseph *et al.*, 2009).

Kegunaan biochar untuk perbaikan kualitas tanah telah dibuktikan pada penelitian sebelumnya adalah: (i) meningkatkan kapasitas memegang air (Joseph *et al.*, 2009; Santi dan Goenadi, 2012; Sutono dan Nurida, 2012; Yu *et al.*, 2013); (ii) menurunkan pencucian nutrisi (Novak *et al.*, 2009; Yao *et al.*, 2012; Widowati *et al.*, 2014), (iii) meningkatkan kapasitas tukar kation (Joseph *et al.*, 2009; Steiner *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2008; Van Zwieten *et al.*, 2010), (iv) menurunkan *run-off* nitrogen (Clough *et al.*, 2013; Knowles *et al.*, 2011; Gao dan De Luca, 2016), (v) meningkatkan biomassa dan produksi tanaman (Rondon *et al.*, 2007; Van Zwieten *et al.*, 2010; Kimetu *et al.*, 2008; Filiberto dan Gaunt, 2013; Santi, 2017) dan (vi) meningkatkan aktivitas mikroorganisme (Steiner *et al.*, 2008).

Penelitian penggunaan biochar telah banyak dilakukan tetapi informasi tentang pemanfaatan *biochar* berbahan baku batang kelapa sawit sebagai amandemen tanah masih sangat terbatas. Oleh karena itu perlu penelitian untuk menetapkan karakter fisik dan kimia biochar asal batang kelapa sawit, serta pengkajian tentang kinerja biochar batang kelapa sawit sebagai amandemen tanah untuk meningkatkan ketersediaan N, P, K; efisiensi pemupukan N, P, K tanah ultisol perkebunan kelapa sawit.

## 1.2. Rumusan Masalah

Tanah Ultisol merupakan tanah marginal, yang memiliki reaksi tanah masam (pH < 5.5), kandungan bahan organik rendah, kapasitas tukar kation rendah, kejenuhan basa rendah dan profil yang dalam. Umumnya ditemukan pada daerah curah hujan tinggi > 200 mm/bulan, mengakibatkan pelindian dan erosi tinggi (Paramanathan, 2013). Iklim dengan curah hujan tinggi dan kandungan Al, dan Fe tinggi menyebabkan defisiensi unsur hara N, P, dan K (Rheinheimer *et al.*, 2018). Tanah ultisol memiliki tekstur tanah liat hingga liat berpasir, dengan *bulk density* yang tinggi 1,3 – 1,5 g/cm<sup>3</sup> (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006), sehingga mempengaruhi produktivitas tanaman yang dibudidayakan. Kemudian praktik pertanian intensif yang mengandalkan pupuk anorganik dapat mengancam kualitas dan keberlanjutan tanah (Carlson *et al.*, 2015). Oleh karena itu, diperlukan amandemen tanah yang berkelanjutan dan ramah lingkungan yang dapat mempertahankan atau meningkatkan kualitas tanah dan produktivitas tanaman (Ahmad *et al.*, 2014; Ok *et al.*, 2015; Shaheen dan Rinklebe, 2015).

Banyak penelitian dan ulasan telah membuktikan penggunaan bahan organik untuk pembenah tanah. Kendala yang dialami adalah bahan organik cepat terurai dalam tanah. Sedangkan biochar merupakan bahan kaya karbon yang tahan terhadap dekomposisi mikroorganisme. Karena sifat biochar dapat sangat berbeda, penting untuk memeriksa karakteristik biochar batang kelapa sawit dan proses produksinya yang memiliki pengaruh terhadap tanah pertanian. Manfaat biochar secara spesifik sebagai amandemen tanah tertentu telah diteliti, seperti kesuburan tanah, ketersediaan unsur hara, emisi CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, dan CH<sub>4</sub>, penyerapan kontaminan organik dan anorganik (Dai *et al.*, 2017; Gul dan Whalen, 2016; Jeffery *et al.*, 2015; Kuppusamy *et al.*, 2016; Lin *et al.*, 2017; Niazi *et al.*, 2017; Raboin *et al.*, 2016; Randolph *et al.*, 2017; Singh *et al.*, 2015; Zheng *et al.*, 2017).

Amandemen biochar ke tanah dapat meningkatkan sifat fisikokimia tanah (yaitu, KTK, distribusi ukuran pori, struktur tanah, curah kepadatan, konduktivitas hidrolik, retensi air tanah, dll.) (Lei dan Zhang, 2013; Lu *et al.*, 2014; Omondi *et al.*, 2016). Namun demikian, penelitian dengan aplikasi *biochar* batang kelapa sawit sebagai amandemen tanah masih sangat terbatas. Lebih spesifik lagi amandemen untuk tanah ultisol pada perkebunan kelapa sawit.

Berdasarkan uraian di atas maka rumusan masalah pada pemanfaatan biochar batang kelapa sawit sebagai amandemen tanah ultisol perkebunan kelapa sawit adalah : Bagaimana karakteristik biochar batang kelapa sawit? Apakah karakteristik biochar batang kelapa sawit sesuai standard digunakan sebagai amandemen tanah? Kemudian untuk mengetahui lebih lanjut pengaruh sifat-sifat utama biochar batang kelapa sawit terhadap tanah ultisol dan respon bibit kelapa sawit serta tanaman kelapa sawit menghasilkan. Apakah biochar batang kelapa sawit dapat menyumbang perbaikan sifat kimia tanah (pH, C-organik, Kapasitas Tukar Kation, Kejenuhan basa, kandungan Ca, Mg, K, Na dapat ditukar, dan P-tersedia); sifat fisika tanah (*Bulk Density*, *Particle Density*, *Porositas*, kemampuan tanah menyimpan air, dan kapasitas air tersedia); sifat biologi (total mikroba pelarut P dan respirasi); kandungan unsur hara N, P, K, Mg, Ca daun sehingga dapat meningkatkan efisiensi pemupukan dan produksi kelapa sawit?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan umum penelitian adalah untuk mengetahui karakteristik biochar batang kelapa sawit serta mengevaluasi pengaruh pemanfaatan biochar tersebut terhadap peningkatan kesuburan tanah Ultisol di pembibitan pre-nusery dan di kebun pada tanaman kelapa sawit menghasilkan.

Tujuan khusus penelitian adalah :

1. Mengetahui karakteristik kualitas biochar batang kelapa sawit sebagai amandemen tanah ultisol.
2. Mempelajari pengaruh biochar batang kelapa sawit terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit, kandungan N, P, K tanah dan serapan N, P, K bibit kelapa sawit.

3. Mengetahui pengaruh pemberian biochar batang kelapa sawit terhadap sifat kimia, fisika, biologi tanah, kandungan hara dan produksi tanaman kelapa sawit menghasilkan.

#### 1.4. Manfaat Penelitian

Perkebunan kelapa sawit merupakan perkebunan terluas di Indonesia. Pada saat ini perkebunan kelapa sawit telah memasuki generasi kedua bahkan ada generasi ketiga, dimana pada beberapa perkebunan telah melakukan tanam ulang (*replanting*), dari kegiatan tersebut dihasilkan biomasa tanaman berupa batang kelapa sawit. Batang kelapa sawit tersebut belum banyak dimanfaatkan, baik pada perkebunan besar maupun pada perkebunan rakyat, biomasa tanaman tersebut dibiarkan sampai membusuk dengan sendirinya. Penelitian pemanfaatan batang kelapa sawit sebagai bahan baku yang murah, mudah, insitu, ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk menjadi biochar diharapkan dapat menjadi pengetahuan pengelolaan biochar dari batang kelapa sawit sebagai amandemen tanah Ultisol. Kemudian sebagai informasi dalam meningkatkan kualitas tanah ultisol serta sebagai pertimbangan dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit.

#### 1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian fokus terhadap pemanfaatan batang kelapa sawit sebagai bahan baku yang berkelanjutan untuk menjadi biochar dan untuk mengetahui pengaruh biochar batang kelapa sawit (BBKS) terhadap kesuburan tanah di pembibitan dan produksi kelapa sawit pada tanah ultisol. Batang kelapa sawit banyak tersedia pada lahan tanam ulang (*replanting*). Batang kelapa sawit yang dibiarkan di lapangan berpotensi menjadi sarang kumbang tanduk. Pembuatan biochar dengan teknologi pirolisis telah banyak dilakukan namun biochar dari bahan baku batang kelapa sawit sebagai amandemen tanah belum ada khususnya pada tanaman kelapa sawit di tanah ultisol. Dalam penelitian ini pembuatan biochar dengan teknologi pirolisis lambat yang sederhana menggunakan *drum retort kiln*. Karakterisasi biochar batang kelapa sawit dilakukan menurut kriteria *International Biochar Initiative* (IBI) dan *European Biochar Certificate* (EBC). Pengaruh amandemen biochar batang kelapa sawit terutama difokuskan terhadap perbaikan sifat kimia tanah meliputi : pH, kandungan C-organik, kapasitas tukar kation,

kejenuhan basa, kandungan N, P, K tanah; perbaikan sifat fisika tanah meliputi : *Bulk Density*, *Particle Density*, porositas, titik layu, kapasitas lapang dan air tersedia; perbaikan sifat biologi tanah meliputi : total mikroba pelarut posfat dan respirasi mikroba tanah Ultisol perkebunan kelapa sawit tanaman menghasilkan (TM). Untuk produksi parameter pengamatan meliputi berat tandan buah segar (TBS), kadar minyak mesokarpium, *fruit set*, *fruit to bunch* dan berat 1 berondolan.

## 1.6. Keaslian Penelitian

Penelitian tentang pemanfaatan biochar sebagai amandemen tanah telah banyak dilakukan (Lehman, *et al.*, 2003; Asai, *et al.*, 2009; Laird, *et al.*, 2010; Zhang, *et al.*, 2010; Yao, *et al.*, 2012). Namun penelitian menggunakan bahan baku batang kelapa sawit untuk pembuatan biochar masih sangat terbatas (Khor *et al.*, 2010; Kong *et al.*, 2014), sebagai bahan bakar (Nudri *et al.*, 2019; Sakulkit *et al.*, 2020), pengolahan limbah cair kelapa sawit (Razali dan Kamarulzaman, 2020). Penelitian biochar batang kelapa sawit (BBKS) sebagai amandemen tanah masih sangat terbatas, khususnya karakteristik BBKS sebagai amandemen untuk tanah ultisol pada perkebunan kelapa sawit serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan produksi kelapa sawit.

Keterbaruan penelitian ini adalah memperoleh : 1) Karakteristik BBKS yang berasal dari batang bagian bawah, tengah dan atas dihasilkan dengan menggunakan *drum retort kiln*. Biochar yang dihasilkan dikarakterisasi untuk mengetahui sifat fisik (morfologi dan struktur) dan kimia (kandungan N, C, O, S dan H, gugus fungsional, dan kandungan logam berat). Penilaian karakteristik BBKS berdasarkan kriteria IBI dan EBC sebagai amandemen tanah. 2) Pengujian biochar untuk memperbaiki kandungan N, P dan K tanah; serapan N, P dan K dan pertumbuhan bibit kelapa sawit pada media tanah ultisol. Hal ini membantu untuk meningkatkan metode yang berkelanjutan, ramah lingkungan dan meningkatkan pengelolaan tanah ultisol sebagai media tanam di pembibitan. 3) Pengujian BBKS terhadap peningkatan kualitas tanah, sifat kimia, fisika dan biologi tanah, kandungan hara dan produksi tanaman menghasilkan (TM). Pengujian ini untuk mengetahui proses dan mekanisme yang terjadi interaksi biochar-tanah-tanaman. Hal ini membantu untuk pengelolaan tanaman kelapa sawit menghasilkan pada tanah ultisol.

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1. Biochar

Biochar berasal dari sejarah era pra-Columbus, penduduk pengembara di Amazonia tengah menumbang dan membakar artefak dari pada membawa ke tujuan berikutnya untuk meringankan beban. Contoh jenis artefak yang dibakar adalah sampah organik, kayu, kotoran dan tulang hewan (Neves *et al.*, 2003; Glaser, 2007). Praktik kuno ini adalah contoh awal pembentukan tanah antropogenik. Secara khusus, praktik ini mengarah pada pembentukan Tanah Gelap Amazon (*Amazonia Dark soil*) atau dikenal dengan nama tanah *Terra Preta* (Woods dan McCann, 1999; Glaser dan Woods, 2004; Glaser, 2007). Keberadaan "*Terra Preta de ndio*" (tanah hitam India) menunjukkan bahwa akumulasi bahan organik tanah yang disebabkan oleh manusia dapat dipertahankan selama berabad-abad (Sombroek *et al.*, 1993). Tanah ini sangat subur, dan produktivitasnya kemungkinan besar terkait dengan akumulasi antropogenik P dan Ca yang terkait dengan apatit tulang (Lima *et al.*, 2002) dan karbon hitam (*Black Carbon*) sebagai arang (Glaser *et al.*, 2001). Dari konsep inilah muncul biochar modern. Biochar adalah arang bubuk yang diaplikasikan ke tanah untuk produksi tanaman. Ide di balik teknologi ini didasarkan pada rekreasi *Terra Preta*. Istilah *Terra Preta* secara umum diterjemahkan menjadi tanah yang gelap dan ini berarti menciptakan tanah yang sebagian besar berwarna gelap, tinggi bahan organik dan karena itu kaya nutrisi (Glaser dan Birk, 2012).

Penggunaan biochar menjadi semakin populer terutama untuk tanah pertanian dan telah disarankan sebagai strategi jangka panjang untuk mempromosikan penyerapan C tanah karena sifatnya rekalsitran (Glaser, 2007; Steiner *et al.*, 2008; Vaccari *et al.*, 2011). Ketika biochar ditambahkan ke tanah, perubahan kimia pertama yang paling umum terlihat adalah pH meningkat (Yuan *et al.*, 2011). Biochar stabil secara kimiawi dan mikroba di lingkungan tanah (Conz *et al.*, 2017). Hal menyediakan cadangan yang kaya bahan organik tanah. Selain itu, penelitian telah menemukan bahwa biochar dapat mencegah pencucian (kehilangan) nutrisi terutama nitrat, makronutrien yang sangat

mobile (Laird *et al.*, 2010; Sika dan Hardie, 2014), dan juga mengurangi penyerapan unsur logam beracun (Choppala *et al.*, 2012; Khan *et al.*, 2014; Puga, *et al.*, 2015).

Biochar diakui sebagai salah satu teknologi emisi negatif (*Negative Emission Technologies/NETs*) oleh Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim (*Intergovernmental Panel on Climate Change/IPCC*). Manfaat ekonomi dapat diperoleh melalui sistem perdagangan emisi (*Emissions Trading System/ETS*) dan mekanisme pembangunan bersih (*Clean Development Mechanism/CDM*), berdasarkan jumlah penyimpanan karbon, yang diperkirakan akan meningkat secara signifikan (diperkirakan sebesar 0,3–2 Gt CO<sub>2</sub> eq/tahun pada tahun 2050) (Fuss *et al.*, 2018). Penghapusan karbon dengan biochar merupakan alat paling praktis yang tersedia bagi negara-negara berkembang seperti Indonesia karena secara teknis mudah dan ekonomis (Sparrevik, 2014). Manfaat agronomi dari biochar jauh lebih signifikan di Indonesia, yang terletak di daerah tropis, dibandingkan di negara-negara lintang tinggi lainnya karena melimpahnya bahan baku dan pasar pertanian yang berpotensi besar (Robb *et al.*, 2020).

## 2.2. Biomasa Kelapa Sawit

Perkebunan kelapa sawit menempati sektor pertanian terbesar di Indonesia dengan luas perkebunan sekitar 14.326.350 hektar pada tahun 2018 meningkat mencapai 15.928.712 hektar tahun 2023. Luas lahan perkebunan kelapa sawit terbesar berada di Pulau Sumatera dibandingkan dengan pulau lainnya di Indonesia. Total luas areal perkebunan kelapa sawit di Pulau Sumatera tahun 2023 mencapai 10.201.658 hektar di mana 4 (empat) provinsi di Pulau Sumatera termasuk dalam wilayah dengan luas perkebunan kelapa sawit terluas di Indonesia yaitu Provinsi Riau, Provinsi Sumatera Utara, Provinsi Sumatera Selatan dan Provinsi Jambi. Luas perkebunan kelapa sawit di Provinsi Sumatera Utara tahun 2023 seluas 1.370.407 Ha dengan produksi 5.051.511 ton *crude palm oil* (CPO) (BPS, 2024).

Meningkatnya perkembangan industri kelapa sawit di Indonesia, akan meningkatkan produktivitas pengolahan produk utama kelapa sawit, yang juga berdampak pada tingginya biomasa yang dihasilkan. Namun disayangkan pemanfaatan akan biomasa produk samping kelapa sawit belum digunakan semaksimal mungkin oleh industri secara khusus maupun pemerintah secara umum. Padahal biomasa kelapa sawit

dapat dimanfaatkan untuk membuat biochar sebagai pembenah tanah dan mitigasi gas rumah kaca.

Secara keseluruhan dari proses pabrik kelapa sawit dan perkebunan menghasilkan hanya 10 % minyak sawit, selebihnya 90 % merupakan biomasa kelapa sawit (Hosseini *et al.*, 2015). Ada enam jenis limbah yang diperoleh dari perkebunan dan pabrik kelapa sawit yaitu:

### **2.2.1. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) – *Empty Fruit Bunches*.**

Proses pengolahan kelapa sawit dari TBS menjadi CPO mengeluarkan TKKS sekitar 22 – 23 % dari 100 % berat TBS (Kong, *et al.*, 2014), mengandung unsur hara K sebanyak 46,332 mg/kg, serta dengan nilai kalor sebesar 18.880 kJ/kg dalam kondisi kering (Loh *et al.*, 2012). Produksi TBS di Indonesia rata-rata 16,6 ton/ hektar, di Malaysia rata-rata 15, 5 ton/hektar (FAO, 2020)

### **2.2.2. Serabut Sawit (SS) - *Mesocarp Fiber*.**

Biomassa lain yang dihasilkan dari ekstraksi minyak sawit adalah serat yang disebut serabut sawit (*mesocarp fiber*). Bahan ini mengandung protein kasar sekitar 4% dan serat kasar 36% (lignin 26%). Dari 100 % berat TBS diperoleh 13,5 - 15% serabut sawit (Umikalsom *et al.*, 1997), dengan nilai kalor sebesar 19.055 kJ/kg dalam kondisi kering (Loh *et al.*, 2012).

### **2.2.3. Cangkang Kelapa Sawit (CKS) – *Palm Kernel Shell*.**

Cangkang sawit biasanya digunakan sebagai bahan bakar bersama dengan tandan kosong dan serabut sawit. Dari 100 % berat TBS diperoleh 5,2 – 7% CKS (Mahlia, *et al.*, 2001) dengan nilai kalor sebesar 20.093 kJ/kg dalam kondisi kering (Loh *et al.*, 2012).

### **2.2.4. Pelepah Kelapa Sawit (PKS)- *Oil Palm Frond***

Pelepah kelapa sawit sebanyak 2-3 pelepah ditunas secara teratur 2 kali setahun atau ditunas pada saat panen setiap 2 minggu sekali. PKS banyak tersedia pada saat

penanaman ulang  $\pm$  14,4 ton/ha (berat kering) (Khor *et. al.*, 2010), dengan nilai kalor sebesar 15.720 kJ/kg dalam kondisi kering (Loh *et al.*, 2012).

### 2.2.5. Batang Kelapa Sawit (BKS)- *Oil Palm Trunk*.

Batang Kelapa Sawit yang dihasilkan dari proses peremajaan perkebunan kelapa sawit (berumur diatas 20-25 tahun) ditebang, kemudian diparut dan dibawa ke lapangan untuk terurai secara alami. BKS mengandung kadar air yang sangat tinggi (antara 60 % sampai 300 % tergantung pada ketinggian dan usianya). Batang terdiri dari bahan lignoselulosa dan memiliki potensi untuk menjadi bahan baku berharga, dengan nilai kalor sebesar 17.470 kJ/kg dalam kondisi kering (Loh *et al.*, 2012). BKS banyak tersedia pada waktu penanaman ulang  $\pm$  66 ton/ha (berat kering) (Khor *et al.*, 2010).

Biomasa tanaman kelapa sawit berdasarkan umur tanaman dapat dilihat pada Tabel 1. Berikut :

Tabel 1. Biomasa tanaman berdasarkan umur tanaman kelapa sawit

Umur Tanaman (Tahun)	Jumlah Tanaman/ha	Biomasa			Total
		Akar	Batang	Pelepah	
		..... ton/ha .....			
1,5	148	1,3	1,1	8,0	10,4
2,5	148	2,4	2,9	19,6	24,9
4,5	122	4,4	6,0	12,7	23,1
6,5	122	5,0	10,7	14,4	30,1
8,0	130	14,1	21,2	25,5	60,8
8,5	122	5,4	13,7	12,2	31,3
10,5	122	6,0	19,0	19,7	44,7
14,5	122	8,4	29,8	20,5	58,7
17,0	128	16,4	37,2	12,2	65,8
17,5	122	7,5	36,9	17,1	61,5
27,5	122	16,0	37,7	14,1	67,8

Sumber: Sung, 2016; Rees dan Tinker, 1963; Corley *et al.*, 1971

Jumlah biomasa kelapa sawit yang dihasilkan sangat besar, sehingga industri kelapa sawit (perkebunan dan pengolahan) termasuk dalam tiga sumber biomassa utama di Indonesia. Sumber lainnya adalah residu pertanian primer (jerami padi, batang jagung, dan ubi kayu) dan sekunder (sekam padi dan tongkol jagung) (Yana *et al.*, 2022). Hanya sebagian kecil biomasa kelapa sawit yang dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti bahan bakar padat, mulsa, dan prekursor bahan fungsional (pupuk, karbon aktif, dan

komposit), baik untuk memenuhi kewajiban lingkungan maupun untuk meningkatkan keuntungan (Santoso, 2018)

### 2.3. Pirolisis

Kata “pirolisis” berasal dari kata Yunani 'pyr' yang berarti api, dan 'lye' yang berarti memisahkan (Sarma, 2004). Pirolisis adalah konversi termokimia pada suhu 300 – 750 °C dalam kondisi oksigen yang terbatas (Shrivastava *et al.*, 2021). Pirolisis menggambarkan proses eksotermik dan ireversibel yang melibatkan transformasi termokimia produk limbah organik dalam kondisi kekurangan oksigen (Lehmann dan Joseph, 2009). Proses pirolisis pada dasarnya membutuhkan produk padat, bahan baku biomassa (seperti kayu), dan energi panas sebagai input. Keluaran atau produk dari proses pirolitik adalah: bentuk padat berupa arang; bentuk cair yang merupakan bio-oil dan; gas yang tidak dapat dikondensasi, biogas (juga disebut syngas). Pada akhirnya, bahan baku biomassa yang mengalami pirolisis mengalami perubahan baik sifat fisik maupun komposisi kimianya.

Sifat kimiawi dari biomassa organik awal merupakan prekursor untuk derajat reaktivitas biochar yang dihasilkan (Downie *et al.*, 2009). Selama degradasi termal biomassa, komposisi bahan organik mengalami serangkaian perubahan struktural, fisik dan kimia. Struktur selulosa dan lignin dihancurkan terlebih dahulu, kemudian struktur aromatik muncul (Paris *et al.*, 2005), dan senyawa seperti furan menjadi terlihat (Baldock dan Smernik, 2002). Secara umum, pirolisis menyebabkan C-alifatik diubah menjadi C-aromatik, diikuti dengan penurunan laju mineralisasi C-organik (Chan dan Xu, 2009).

Selama pirolisis, terjadi perubahan struktural pada hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Suhu merupakan salah satu faktor yang bertanggung jawab terhadap kondisi akhir produk biochar yang terbentuk (Lua *et al.*, 2004; Brown *et al.*, 2006). Ketika suhu mencapai 120 °C, bahan organik kehilangan kelembapan yang terikat secara kimiawi. Pada suhu antara 200 dan 260 °C terjadi degradasi hemiselulosa, sedangkan selulosa dipecah antara 240 dan 350 °C dan lignin antara 280 dan 500 °C (Sjöström, 1993).

Biochar adalah produk kaya karbon yang diperoleh melalui karbonisasi biomassa melalui pirolisis dan pirogasifikasi (Antal dan Grønli, 2003). Untuk menghasilkan biochar yang diproduksi secara industri dapat dilakukan dengan pirolisis (Lehmann *et*

*al.*, 2002). Pirolisis adalah istilah umum yang mewakili berbagai teknologi yang bertanggung jawab atas konversi biomassa menjadi biochar. Mirip dengan tanah *Terra Preta* yang kaya karbon hitam di Amazon, biochar idealnya dapat tetap berada di dalam tanah cukup lama untuk memberikan perubahan kimiawi, fisik dan biologi jangka panjang di dalam tanah (Hammes dan Schmidt, 2009). Pemahaman tentang stabilitas aplikasi biochar di tanah penting karena memungkinkan pemeliharaan yang lebih baik dari simpanan C global (Czimczik dan Masiello, 2007; Major *et al.*, 2010). Hal ini memungkinkan penentuan durasi bahwa C dapat tetap tersimpan di dalam tanah dan karenanya mempengaruhi pengurangan emisi gas rumah kaca untuk membantu pengentasan perubahan iklim (Lehmann *et al.*, 2009). Akibatnya, ini akan membantu dalam mengelola penerapan karbon hitam untuk meningkatkan potensinya sebagai penyerap C dari CO<sub>2</sub> atmosferik dalam jangka panjang (Lehmann *et al.*, 2006). Penerapan biochar pada sistem tanah tampaknya menciptakan penyerap karbon karena terdapat peningkatan kandungan karbon organik tanah dari waktu ke waktu akibat perpindahan C ke dalam sistem tanah (Powlson *et al.*, 2011).

Lehmann dan Joseph (2009) menyarankan agar biochar berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim, dua prasyarat harus dipenuhi. Pertama adalah bahwa biomassa vegetatif harus dibudidayakan dengan kecepatan yang sama seperti saat pirolisis. Ini karena fotosintesis pada tumbuhan bertanggung jawab atas konversi dari CO<sub>2</sub> di atmosfer menjadi bentuk C organik. Prasyarat kedua adalah bahwa produk biochar harus jauh lebih stabil dari pada bahan baku awal yang menghasilkannya.

Arang yang dihasilkan selama pirolisis dihancurkan menjadi ukuran yang lebih kecil dan ditabur ke tanah, dikenal sebagai biochar. Produk lain dari pirolisis adalah bio-oil merupakan campuran cairan hidrofilik dan oleofobik dari polar organik dan air (Bridgwater *et al.*, 1999). Bio-oil yang dihasilkan dari pirolisis memiliki banyak kegunaan. Bio-oil ini dapat digunakan sebagai biofuel selain menggunakan bahan bakar konvensional, seperti di boiler industri yang ada, atau juga dapat digunakan sebagai bahan baku kimia (Bridgwater *et al.*, 1999; Laird *et al.*, 2009). Kemudian produk lainnya dari pirolisis adalah biogas (atau syngas) juga menyediakan sumber untuk produksi energi. Minyak nabati dan arang masing-masing dapat digunakan sebagai bahan bakar atau bahan

baku, dan gas dapat didaur ulang kembali ke dalam sistem, oleh karena itu tidak ada limbah yang dihasilkan dari pirolisis (Mohan *et al.*, 2006).

Kuantitas dan kualitas (dalam hal morfologi, struktur, sifat) biochar, minyak nabati, dan biogas yang dihasilkan selama pirolisis sangat bergantung pada bahan dan metodologi yang digunakan. Bahan mengacu pada bahan baku biomassa, yang sangat mempengaruhi karakteristik biochar awal (Gaskin *et al.*, 2008). Metodologi yang digunakan mengacu pada teknologi yang digunakan dan kondisi suhu puncak pirolisis, lama waktu, laju pemanasan, dll. yang menghasilkan produk pirolisis, seperti biochar, yang memiliki sifat fisika-kimia berbeda (Brown, 2009). Sistem mekanis memiliki menggantikan cara lama pembuatan biochar dan keuntungannya adalah sistem modern sangat hemat energi dibandingkan dengan tungku tradisional. Karena kondisi pirolisis yang berbeda ada, tidak ada definisi yang tepat dari berbagai metodologi pirolisis dengan cara suhu puncak pirolisis tertentu, waktu tinggal partikel, perpindahan panas, laju pemanasan, dan lain lain. Oleh karena itu istilah yang digunakan untuk menggambarkan metode pirolisis yang berbeda luas dan sewenang-wenang (Mohan *et al.*, 2006). Metode pirolisis yang paling umum adalah pirolisis lambat, pirolisis cepat dan pirolisis vakum.

### 2.3.1. Pirolisis Lambat

Pirolisis lambat adalah proses dekomposisi termokimia yang berlangsung tanpa oksigen dan pada laju pemanasan lambat (sekitar 10 °C/menit) untuk menghasilkan fase cair (tar atau cairan hidrokarbon dan air), fase padat kaya karbon (arang) dan gas CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, dan H<sub>2</sub> yang tidak dapat terkondensasi (Demirbas, 2004; Balat *et al.*, 2009). Laju pemanasan yang lambat ini menyebabkan hasil biochar lebih tinggi dari pada bio-oil dan gas (Collard dan Blin, 2014). Oleh karena itu, ini adalah teknologi yang direkomendasikan untuk produksi biochar (Bahng *et al.*, 2009). Pirolisis lambat adalah metode pirolisis umum yang terutama digunakan untuk produksi arang (Mohan *et al.*, 2006).

Pirolisis lambat biasanya merupakan sistem batch yang dikenal sebagai tungku arang (Laird *et al.*, 2009), atau sistem kontinu seperti pyrolyser drum, atau pyrolyser sekrup (Brown, 2009). Pemanasan lambat (menit hingga jam) biomassa hingga suhu sekitar 400 °C (Laird, 2009), dengan suhu ideal 500 °C (Lee *et al.*, 2013) dalam

lingkungan anoksik. Biomassa yang lama tinggal selama pirolisis lambat menghasilkan biochar pirolisis sempurna dengan C sedikit labil dan kemungkinan kecil menyebabkan imobilisasi mikroba pada tanah N (Bruun *et al.*, 2012). Selain itu, pirolisis lambat dijelaskan oleh waktu tinggal partikel padatan dan gas yang panjang yang berkisar dari beberapa menit hingga beberapa jam (Mohan *et al.*, 2006). Pirolisis lambat dianggap sebagai pendekatan yang berkelanjutan karena menghasilkan gas yang kurang berbahaya (Qiu *et al.*, 2022). Selain itu, biochar yang diproduksi melalui pirolisis lambat dilaporkan berguna dalam memperbaiki tanah dan cocok untuk penyerapan berbagai kontaminan dari air limbah (Zhang *et al.*, 2017a).

### 2.3.2. Pirolisis Cepat

Ada beberapa perbedaan besar antara pirolisis cepat dan lambat. Perbedaan utama adalah bahwa teknologi yang digunakan untuk pirolisis cepat umumnya lebih rumit daripada yang digunakan untuk pirolisis lambat justru karena teknologi pirolisis cepat dioptimalkan untuk produksi bio-minyak (Mohan *et al.*, 2006; Laird *et al.*, 2009). Laju pemanasan yang cepat (hingga 100°C/menit) dengan waktu tinggal yang singkat (dari detik ke menit) mendukung pembentukan bio-oil cair dengan sedikit biochar (Tripathi *et al.*, 2016). Prinsip kerja pirolisis cepat dijelaskan dengan baik oleh Mohan *et al.* (2006): (1) biomassa digiling halus untuk menahan pemanasan yang sangat tinggi dan laju perpindahan panas yang digunakan; (2) suhu reaksi pirolisis dikontrol dengan cermat agar tetap dalam kisaran 425 – 500 °C; (3) setelah itu, waktu tinggal uap pendek sekitar < 2 detik digunakan; (4) dan terakhir, uap pirolisis dan aerosol didinginkan dengan cepat, menghasilkan pembentukan minyak nabati, terutama, serta arang. Pirolisis cepat dapat dimanipulasi untuk memberikan hasil minyak yang lebih tinggi dengan menggunakan laju pemanasan yang lebih tinggi dan waktu reaksi sekitar 500 °C serta waktu tinggal yang singkat untuk meminimalkan reaksi sekunder (Bridgwater *et al.*, 1999). Jumlah produk pirolisis cepat yang dihasilkan berkisar antara 60 dan 75% berat bio-oil, 15-25% berat arang, dan 10-20% berat gas, tergantung pada bahan baku yang digunakan (Mohan *et al.*, 2006).

Persiapan pembuatan biochar pirolisis cepat sangat penting. Jika suhu pirolisis terlalu rendah, atau jika partikel bahan baku biomassa terlalu besar, maka biochar pirolisis

sebagian dapat dihasilkan, dan konsekuensinya adalah berkurangnya potensi sekuestrasi C tanah karena peningkatan C labil (Bruun *et al.*, 2011). Selain itu, aplikasi biochar pirolisis sebagian dapat mengakibatkan imobilisasi mikroba tanah N (Laird *et al.*, 2009).

### 2.3.3. Pirolisis Vakum

Pirolisis vakum adalah jenis pirolisis cepat yang berbeda karena memiliki laju pemanasan lambat dan membutuhkan partikel biomassa yang besar (Bridgwater *et al.*, 1999). Metode pirolisis unik karena pemasangannya memiliki pompa vakum di mana gas inert seperti nitrogen digunakan untuk menghilangkan residu gas yang mudah menguap dan meminimalkan tingkat produk reaksi sekunder (seperti reaksi aromatisasi dan rekondensasi, retak termal, dan tubrukan fase gas) (Roy *et al.*, 1999). Jadi, pirolisis vakum menghasilkan biochar berkualitas tinggi dan sangat sedikit bio-minyak dan gas.

## 2.4. Sifat Fisiko-kimia Biochar

Produksi dua biochar yang sama, secara fisika-kimiawi, hanya dimungkinkan jika kondisi biomassa dan pirolisis sama persis. Setiap perubahan biomassa, penanganan, atau pirolitik pemrosesan, tidak peduli seberapa kecil tampaknya, akan menghasilkan biochar yang sama sekali berbeda. Oleh karena itu, penting untuk memahami jenis biochar yang telah diproduksi dengan memeriksa berbagai sifat fisik dan kimianya.

### 2.4.1. Kandungan Unsur Biochar

Selama pirolisis bahan organik awal (biomassa) yang digunakan untuk menghasilkan biochar, volume biochar berkurang dan massanya terutama hilang dalam bentuk organik yang mudah menguap. Biochar yang terbentuk mempertahankan kerangka mineral dan C dari biomassa awal (Downie *et al.*, 2009). Bahan organik pirolisis menghasilkan C dalam biomassa secara signifikan lebih tinggi dari pada bahan organik segar yang tidak dipirolisis. Hal ini menyebabkan peningkatan rekalsitran C dalam biomassa karena adanya perubahan komposisi biomassa yang diinduksi oleh pirolisis (Lehmann *et al.*, 2009). Dan karena biochar mengandung sejumlah besar C, unsur hara makro dan mikro, biochar dapat langsung memasok sumber hara yang tersedia bagi tanaman setelah diaplikasikan ke tanah (Gaskin *et al.*, 2007). Sollins *et al.* (1996)

mengidentifikasi mekanisme tertentu yang bertanggung jawab untuk menstabilkan bahan organik yang diterapkan pada tanah, dan dengan demikian meningkatkan waktu tinggalnya. Ini termasuk sifat rekalsitran, pemisahan spasial pengurai dan substrat dan interaksi bahan organik dengan permukaan mineral.

Penyerapan karbon tanah adalah istilah yang menggambarkan peningkatan kandungan karbon organik tanah akibat perubahan dalam praktik pengelolaan lahan (Powlson *et al.*, 2011). Biochar telah terbukti memberikan potensi sekuestrasi C jangka panjang (Lehmann *et al.*, 2006). Hal ini menunjukkan bahwa tanah yang diubah dengan biochar meningkatkan penyimpanan C tanah dan dengan demikian berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim (Lehmann *et al.*, 2006; Gaunt dan Cowie, 2009). Namun, Powlson *et al.* (2011) berpendapat bahwa mitigasi perubahan iklim hanya berlaku di tanah ketika praktik pengelolaan lahan menghasilkan tambahan transfer bersih C dari CO<sub>2</sub> atmosfer ke tanah (tanah dan vegetasi).

Fraksi karbon labil mengacu pada bagian biochar yang mengalami mineralisasi abiotik atau biotik jangka pendek menjadi karbon dioksida. Fraksi labil dalam biochar hadir dalam berbagai bentuk termasuk mineral karbonat, molekul organik dan karbon struktur mikrokristalin. Mineral karbonat larut dalam air dan muncul di permukaan biochar atau berhubungan dengan pori-pori biochar. Molekul organik mengandung H dan O, larut dalam air dan termineralisasi oleh fauna tanah. Struktur amorf atau mikrokristalin biochar adalah fraksi biochar yang lebih stabil dan termineralisasi pada permukaan partikel. Oksidasi permukaan ini berarti terbentuknya gugus fungsi yang teroksidasi, atau pembentukan kompleks lempung (Joseph *et al.*, 2009).

Beberapa alasan dianggap perlu untuk mengklasifikasikan karbon hitam berdasarkan fraksi labilnya. Pertama, menurut kandungan C, memungkinkan untuk penentuan laju peluruhan biochar (Gaunt dan Cowie, 2009). Kedua, memungkinkan untuk menentukan fraksi C organik yang tersedia sebagai sumber C untuk mikroorganisme (Thies dan Rillig, 2009). Juga, karena fraksi labil umumnya tidak stabil, mengetahui komposisi C-nya memungkinkan penentuan fasilitasi perkecambahan (Flematti *et al.*, 2004) dan penyediaan energi untuk mikroorganisme (Steiner *et al.*, 2008). Kondisi pirolisis dan bahan induk biomassa mempengaruhi (prediksi) perilaku (atau stabilitas) biochar. Misalnya, peningkatan suhu pirolisis menyebabkan rasio H/C dan O/C

lebih rendah (Spokas, 2010), membuat biochar tidak terlalu rentan terhadap degradasi. Tren ini terlihat dalam Mukome *et al.* (2013) di mana 12 biochar yang tersedia secara komersial (non-kayu dan berasal dari kayu) menunjukkan bahwa suhu pirolisis bertanggung jawab atas penurunan rasio H/C, menunjukkan demetilasi, dan penurunan rasio O/C, menunjukkan dekarboksilasi. Representasi skematis dari efek ini dikenal sebagai diagram Van Krevelen dan ini mewakili rasio O/C dan H/C dari bahan hangus yang diplot satu sama lain berdasarkan komposisi unsurnya untuk memahami perubahan strukturalnya.

#### 2.4.2. Kimia Permukaan Biochar

Proses biochar dan sifat fisika-kimia sering saling berhubungan. Contohnya terbukti ketika oksidasi alami jangka panjang biochar terjadi. Cheng *et al.* (2008) menemukan bahwa biochar dalam tanah selama 130 tahun menghasilkan pembentukan gugus fungsi karboksilat dan fenolik dibandingkan dengan biochar baru atau biochar yang diinkubasi selama satu tahun. Alasan peningkatan gugus fungsi yang mengandung oksigen adalah karena perubahan komposisi unsur biochar dari waktu ke waktu dimana jumlah oksigen untuk biochar baru meningkat dari 7,2% menjadi 24,8% untuk biochar teroksidasi jangka panjang. Oksidasi biochar juga bertanggung jawab atas penurunan kandungan C dari 90,8% menjadi 70,5%. Efek ini secara kumulatif menyebabkan biochar memiliki kapasitas adsorpsi yang meningkat, KTK yang meningkat, dan perkembangan muatan negatif permukaan setelah satu tahun inkubasi.

Luas permukaan biochar dan distribusi ukuran pori juga dipengaruhi oleh suhu pirolisis dan jenis bahan baku. Biochar suhu tinggi (600-700 °C) umumnya menghasilkan biochar dengan luas permukaan tinggi dibandingkan dengan biochar suhu rendah (<400 °C) (Novak *et al.*, 2009; Lehmann *et al.*, 2011). Perbandingan biochar yang diproduksi pada 600 °C berbahan tumbuhan bahan (kandang jagung dan kayu ek) dan biochar yang diturunkan dari kotoran (dari kotoran unggas) menunjukkan bahwa biochar yang berasal dari tumbuhan memiliki luas permukaan total yang lebih tinggi (masing-masing 527 dan 642 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) daripada biochar kotoran unggas (94 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) (Lehmann *et al.*, 2011). Luas permukaan biochar yang tinggi memiliki implikasi praktis dalam pertanian karena bila

diterapkan pada tanah dengan jumlah pori makro yang besar (Glaser *et al.*, 2002), maka meningkatkan retensi air tanah (dan akibatnya meningkatkan ketersediaan nutrisi).

### 2.4.3. Analisis Spektroskopi Biochar

Biochar juga dapat dicirikan sebagai memiliki lapisan graphene yang tidak teratur atau teratur (Lehmann *et al.*, 2009). Lapisan graphene yang tidak beraturan diklasifikasikan sebagai struktur amorf dan sebagai kristalit turbostratik. Struktur tidak beraturan ini biasanya ditemukan pada suhu pirolisis kurang dari 600 °C dan menunjukkan stabilitas biochar yang tinggi (Paris *et al.*, 2005). Lembaran terurut biochar ditemukan mendominasi pada suhu pirolisis di atas 600 °C (Kercher dan Nagle, 2003). Meskipun sedikit penelitian telah dilakukan tentang pentingnya struktur kristal biochar untuk rekalsitasnya, beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa biochar secara luas dicirikan oleh lapisan graphene yang tidak teratur sebagai struktur amorf dan kristalit turbostratik (Lehmann *et al.*, 2009). Selain itu, konfigurasi kimia yang sangat stabil yang juga ada dalam biochar adalah fullerene. Fullerene adalah struktur bola yang memiliki cincin heksagonal dan pentagonal (Harris, 2005). Diketahui bahwa struktur tipe fullerene berkontribusi pada rekalsitran biochar yang tinggi karena strukturnya yang terlipat.

### 2.5. Tanah Ultisol

Ultisol berasal dari bahasa Latin “Ultimus” yang berarti terakhir, yaitu tanah yang telah mengalami pelapukan lanjut dan terutama dicirikan oleh adanya horizon argilik atau *Candice*, yaitu horizon yang terbentuk dari iluviasi liat dari horizon di atasnya (Bockheim dan Hartemink, 2013). Ultisol umumnya berkembang dari bahan induk yang sudah tua. Ultisol memiliki tingkat perkembangan yang relatif maju, dicirikan oleh profil tanah yang dalam, peningkatan fraksi liat seiring dengan kedalaman, reaksi tanah masam, dan kejenuhan basa yang rendah (Adiningsih dan Mulyadi, 1993).

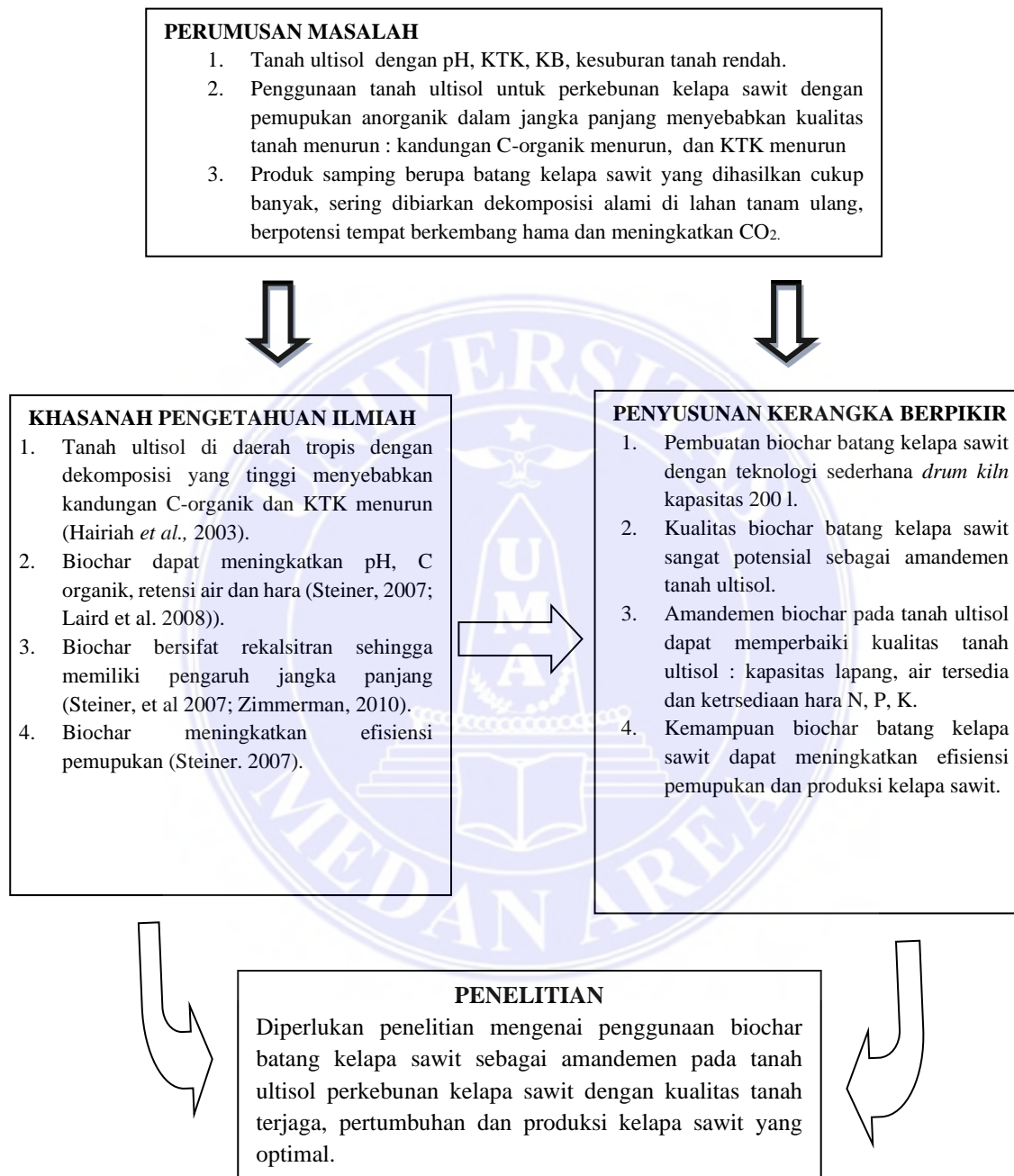
Lebih dari 50% tanah pertanian di Indonesia bersifat masam (Uexküll dan Mutert, 1995), yang termasuk tanah Oxisol (The United States Department of Agriculture (USDA), Soil taxonomy) dan Ultisol yang termasuk tanah yang umum di daerah tropis. Ultisol mempunyai sebaran yang sangat luas meliputi hampir 25% dari total luas daratan Indonesia (Subagyo *et al.*, 2004). Sebaran terluas terdapat di Kalimantan (21.938.000 ha),

diikuti oleh Sumatera (9.469.000 ha), Maluku dan Papua (8.859.000 ha), Sulawesi (4.303.000 ha), Jawa (1.172.000 ha), dan Nusa Tenggara (53.000 ha). Keragaman sebaran Ultisol yang luas akan mempengaruhi perkembangan karakteristiknya. Variasi iklim, bahan induk, relief, organisme, dan waktu yang terdapat di Indonesia merupakan gabungan mekanisme pedogenik yang menentukan keragaman perkembangan karakteristik tanah Ultisol.

Permasalahan utama tanah Ultisol adalah pH tanahnya yang asam dan tingkat kesuburan tanahnya yang rendah (Purwanto *et al.*, 2020). Berdasarkan penelitian terdahulu, tanah Ultisol yang terbentuk dari batu pasir dan batu lempung memiliki reaksi tanah yang sangat asam, kadar bahan organik dan KTK rendah, serta saturasi Al tinggi dalam bentuk aluminium- $[Al(OH)_3]$  dan besi-hidroksida yang tinggi  $[Fe(OH)_3]$  (Van Wambeke, 1992). Hal ini menyebabkan defisiensi fosfor (P) yang parah karena penyerapan Fosfat  $(PO_4)^{3-}$  yang kuat pada permukaan oksida dalam tanah dan pembentukan besi (Fe) dan aluminium (Al) fosfat yang tidak larut (Cross dan Schlesinger, 1995). Pada saat yang sama, KTK tanah yang rendah menyebabkan pelindian nitrogen (N) yang cukup besar, membuat pemupukan menjadi tidak efisien dan mahal (Thomsen *et al.*, 1993). Rendahnya pH tanah ini juga menyebabkan peningkatan konsentrasi Al. Al terlarut dalam tanah cenderung meningkat secara eksponensial ke nilai yang tinggi, terutama pada pH di bawah 4,5 (Berggren dan Mulder, 1995) dan dapat mencapai tingkat racun bagi tanaman (Kinraide, 2003). Selain itu, tanah Ultisol juga kekurangan unsur hara esensial seperti nitrogen, fosfor, dan kalium yang sangat penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan yang tepat untuk meningkatkan kesuburan dan produktivitas tanah Ultisol.

Biochar bermanfaat untuk kesuburan tanah dengan mengurangi Al-terlarut pada tanah ultisol. Hal ini terjadi karena biochar meningkatkan pH dan kompleks biochar-Al (Butnan *et al.*, 2015). Liu *et al.* (2013) menemukan manfaat pada tingkat aplikasi lapangan di bawah 30 ton/ha dan melaporkan bahwa peningkatan produktivitas tanaman bervariasi dengan jenis tanaman dengan peningkatan yang lebih besar untuk tanaman legum (30%), sayuran (29%), dan rumput (14%), dibandingkan dengan tanaman sereal jagung (8%), gandum (11%), dan beras (7%).

## 2.6. Kerangka Konseptual



Gambar 1. Kerangka Konseptual Penelitian

## 2.7. Hipotesis

- 1) Pemberian biochar batang kelapa sawit berpengaruh terhadap pertumbuhan, kandungan N, P, K tanah dan serapan N, P, K bibit kelapa sawit di pre-nursery media tanam ultisol.
- 2) Pemberian biochar batang kelapa sawit berpengaruh terhadap sifat kimia, fisika dan biologi tanah ultisol tanaman kelapa sawit menghasilkan.
- 3) Pemberian biochar batang kelapa sawit meningkatkan kandungan hara daun dan produksi kelapa sawit pada tanah ultisol.



### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian pembuatan biochar dan pembibitan kelapa sawit dilaksanakan di Rumah Kasa Fakultas Pertanian, Universitas Methodist Indonesia, Jalan Harmonika Medan, pada ketinggian  $\pm 33$  meter di atas permukaan laut dengan koordinat  $3^{\circ}33'15''$  LU dan  $98^{\circ}38'18''$  BT. Pembuatan biochar dan penelitian pembibitan awal kelapa sawit dilaksanakan pada bulan Mei s/d Nopember 2021. Penelitian tanaman menghasilkan dilaksanakan di Perkebunan Kelapa Sawit, PTPN IV, Afdeling III, Desa Tangga Batu, Kecamatan Hatonduhan, Kabupaten Simalungun, Provinsi Sumatera Utara dengan ketinggian tempat 451 meter di atas permukaan laut dengan titik koordinat  $2^{\circ}47'39.070''$  LU dan  $99^{\circ}5'52.246''$  BT dan dilaksanakan pada bulan September 2022 sampai dengan April 2023. Analisis tanah dan biochar dilaksanakan di Laboratorium Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Jalan Brigjen Katamso Medan; Laboratorium Penguji Balai Penelitian Tanah, Bogor; Laboratorium Uji Balai Pendidikan dan Pelatihan Tambang Bawah Tanah, Sawah Lunto; Laboratorium Socfindo, Dolok Masihol.

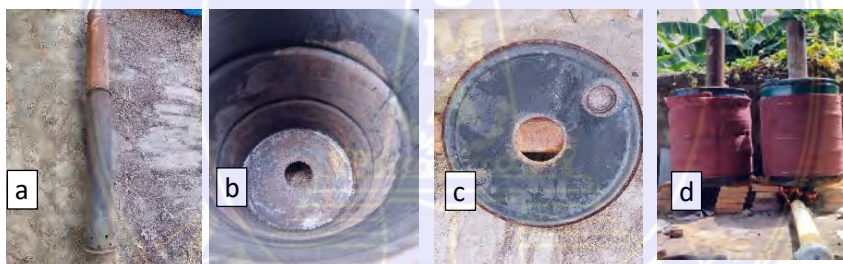
#### 3.2. Alat dan Bahan

##### 3.2.1. Alat

Pirolisis dilakukan dengan menggunakan *drum retort kiln* (Gambar 2), sistem reaktor drum berkapasitas 200 liter. Bagian tengah drum dilubangi pada bagian atas (tutup) dan pada bagian bawah (lantai) dipasang pipa. Pipa tersebut memiliki lubang di bagian bawah sekitar 10 cm dari dasar pipa, yang memungkinkan asap keluar dan biomassa langsung memanaskan dengan membakar kayu di tempat pembakaran. Drum tersebut membentuk isolasi ke udara yang diperlukan agar karbonisasi dapat terjadi. Drum diselubungi dengan kain isolasi panas untuk menjaga agar panas tidak merambat keluar. Pembacaan suhu ditunjukkan pada termometer inframerah digital (BNQ, BN 1000), setiap 1 jam dilakukan pengamatan suhu. Untuk menjaga agar suhu selama proses karbonisasi diantara  $300 - 400^{\circ}\text{C}$  dilakukan dengan memonitor suhu dan menambah

bahan bakar. Apabila suhu  $< 300\text{ }^{\circ}\text{C}$  dilakukan penambahan bahan bakar dan penambahan bahan bakar dihentikan pada suhu  $\geq 320\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Biochar hasil karbonisasi digiling hingga ukuran partikel  $< 20\text{ }\mu\text{m}$  dan tiga sampel representatif (BBKS bawah, tengah, dan atas) diambil untuk analisis. Kristalografi BBKS dikarakterisasi menggunakan analisis difraksi sinar-X (XRD) di SHIMADZU Lab X 6100, Jepang. Pola sinar-X dilengkapi dengan radiasi  $\text{Cu K}\alpha$  ( $\lambda = 1,5406\text{ \AA}$ ) dengan tegangan target  $45\text{ kV}$  dan arus  $40\text{ mA}$ . Pemindaian dikumpulkan dari  $5\text{--}70^{\circ}$  dan menggunakan ukuran langkah  $0,02^{\circ}$   $2\theta$  dan kecepatan pemindaian  $1,0^{\circ}$   $2\theta/\text{menit}$ . Morfologi dan spesies mineral dari biochar diidentifikasi menggunakan mikroskop elektron pemindaian (SEM) (ZEISS EVO MA 10 Jerman) dan analisis spektroskopi sinar-X dispersif energi (EDX) (BRUKER 129 eV Jerman), dengan tegangan percepatan  $15\text{ kV}$  dan  $180\text{ Pa}$  dan arus berkas, masing-masing dalam ruang hampa  $25\text{ Pa}$  dengan lapisan Au.



Gambar 2. Tungku reaktor drum : a.corong, b.drum, c.tutup drum, d. Tungku reaktor drum

Analisis proksimat untuk kadar air (oven ruang bebas minimum Carbolite), abu (tungku muffle horizontal Carbolite), dan kandungan volatil (tungku muffle Ishizuka Denki) ditentukan menurut metode standar ASTM D1762-84. *Fixed carbon* ditentukan menurut ASTM D3172-17. Analisis elemen (CHN) dilakukan dalam rangkap dua menggunakan penganalisis unsur (Leco CHN 628 AS) dan unsur S menggunakan Leco S144-DR. Kelompok kimia fungsional organik dari biochar diidentifikasi menggunakan spektroskopi inframerah transformasi Fourier (FTIR), Nicolet IS 10 ATR USA (38/IKA/MT). Kelompok kimia fungsional dalam biochar sangat penting untuk memahami karakteristik kimia dari biochar yang dihasilkan. Spektrum direkam dengan resolusi  $4\text{ cm}^{-1}$  antara bilangan gelombang  $4000\text{--}500\text{ cm}^{-1}$ . Grafik digambar

menggunakan Origin 8 Pro Excel. Analisis kandungan logam berat dilakukan menggunakan pencernaan  $\text{HNO}_3$  (CEM Mars 6) dan diikuti oleh penentuan dengan spektrofotometri serapan atom (Hitachi ZA 3000, Jepang).

### 3.2.2. Bahan

Batang kelapa sawit yang digunakan untuk karbonisasi terdiri dari dua jenis bahan yakni bahan campuran dan bahan terpisah batang bagian bawah, tengah dan atas. Untuk bahan campuran, BKS berasal dari tanaman berumur 20 tahun, dengan panjang sekitar 15 m dan diameter 47 cm. Batang kelapa sawit mengandung serat, besar, dan memiliki kadar air tinggi sekitar 76%. Sebelum dibuat biochar, batang kelapa sawit dipotong-potong secara manual berukuran sekitar 35 x 15 x 10 cm (panjang x lebar x tinggi), dikeringkan di bawah sinar matahari untuk mengurangi kadar air hingga  $\pm 15\%$  (basis basah).

Biomassa batang kelapa sawit yang digunakan berukuran 25 – 30 cm dengan tebal 10 – 15 cm setelah dikeringkan (kelembaban  $\pm 15\%$ ), dimasukkan ke dalam drum. Susunan bahan di dalam drum diupayakan padat, agar tidak banyak rongga udara dan rambatan aliran panas tetap terjaga. Tutup dipasang setelah bahan tersusun dan mengisi drum penuh. Rongga di sekitar tutup drum dan cerobong disumbat dengan tanah liat (agar tidak masuk oksigen). Kemudian tutup drum dikunci dengan pengikat dengan ketat. Bahan bakar kayu disiapkan secukupnya pada bagian bawah tungku, kemudian mulai dibakar sampai api menyala dengan baik. Untuk menjaga nyala api tetap baik, digunakan kompresor agar oksigen cukup. Temperatur drum akan naik perlahan-lahan, sampai cerobong mengeluarkan suara khas pembakaran tungku. Karbonisasi dilaksanakan selama 7 jam pada temperatur interval  $300^\circ\text{C}$  hingga  $400^\circ\text{C}$ . Pembacaan suhu ditunjukkan pada termometer inframerah digital (BNQ, BN 1000). Setelah lama pembakaran sekitar 7 jam, dilakukan pendinginan dibiarkan satu malam ( $\pm 12$  jam), drum dibuka dan biochar dikeluarkan.

Untuk karbonisasi bahan terpisah, BKS dibagi menjadi tiga bagian: bagian bawah, tengah, dan atas. Batas ketiga bagian batang masing-masing untuk bagian bawah, tengah dan atas adalah 0–30%, 30–60%, dan 60–100% dari pangkal batang ke ujung batang. BKS dipotong-potong (dicacah) dengan pencacah alat berat menjadi potongan-potongan

setebal sekitar 10–15 cm. BKS kemudian dijemur sehari selama sepuluh hari untuk mengurangi kadar air menjadi sekitar 15% berat.

Tanah yang digunakan untuk penelitian di pembibitan adalah tanah ultisol perkebunan kelapa sawit dari Desa Tambunan A, Kecamatan Selapian, Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara dengan koordinat 3°26'6" LU dan 98°18'53" BT. Tanah ini diklasifikasikan sebagai *Typic Kandiodults* USDA Soil Taxonomy (Soil Survey Staff 2010). Pengambilan tanah dikompositkan dari kedalaman 0 – 40 cm. Kemudian tanah dipersiapkan dengan baik, dikeringangin selama 1 minggu, diayak dengan ayakan 2 mm.

Bibit kelapa sawit yang digunakan adalah varietas turunan SP540 PPKS yakni DxP Simalungun yang mempunyai adaptasi sangat baik pada daerah marjinal. Pemilihan varietas turunan SP540 DxP Simalungun PPKS disesuaikan dengan varietas yang telah ditanam di perkebunan. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah polibag ukuran 14 x 22 cm, timbangan analitik, oven, gelas ukur 250 ml, penggaris, hand sprayer, bambu, cangkul dan beberapa peralatan untuk analisis tanah dan tanaman di laboratorium yaitu labu *kjeldahl digestion*, destilator dan labunya, *spectrophotometer*, *flamephotometer*, *atomic absorption spectrophotometer* (AAS) serta alat-alat analisis lainnya.

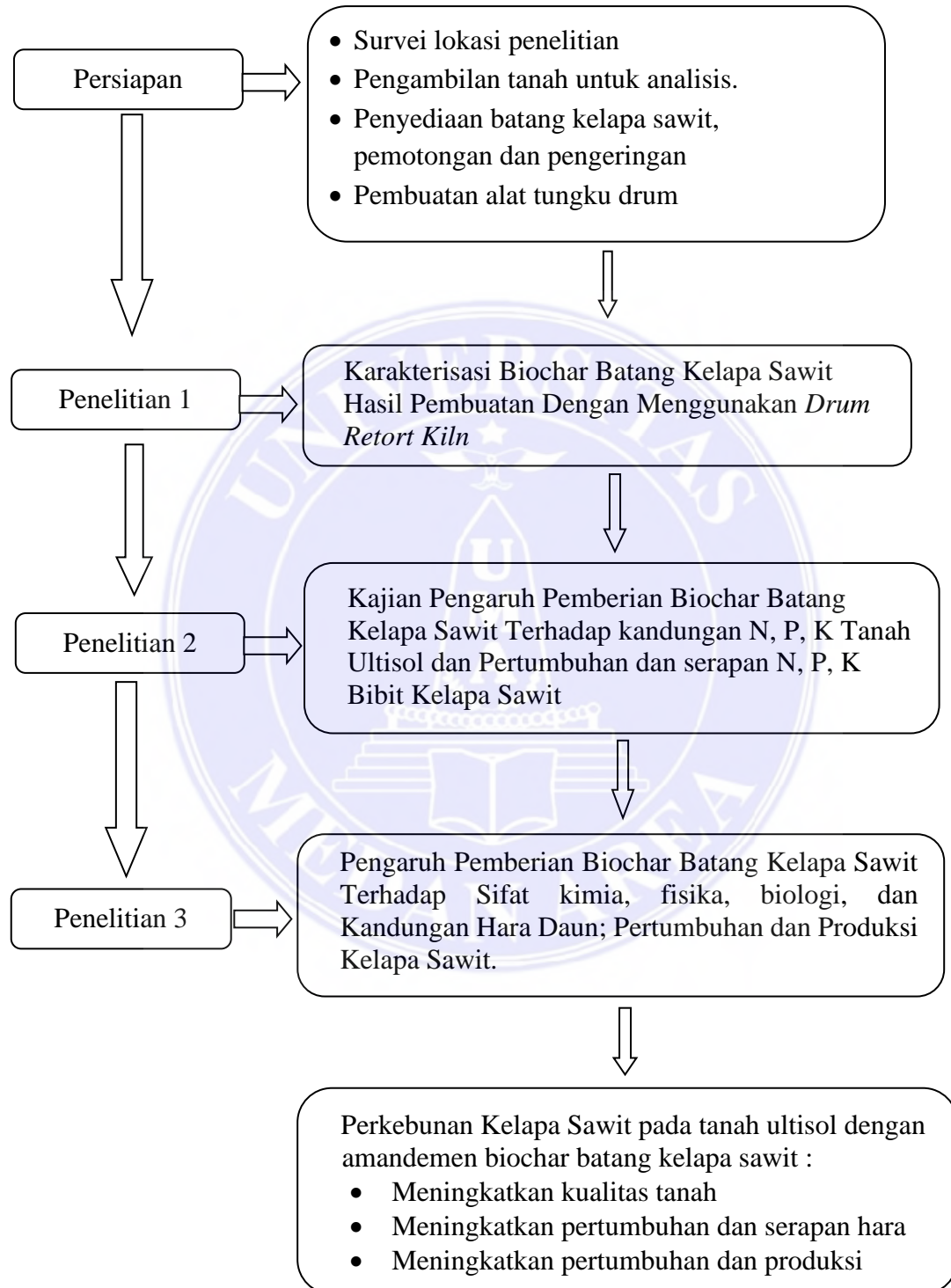
### 3.3. Teknik Pengumpulan Data dan Analisis Data

Penelitian dilaksanakan melalui 3 tahapan kegiatan yaitu : 1) Karakterisasi biochar batang kelapa sawit yang berasal dari bagian bawah, tengah, dan atas hasil pirolisis dengan menggunakan *drum retort kiln*. Data diperoleh dari hasil analisis laboratorium meliputi analisis proksimat, elemental, FTIR, SEM, XRD, EDX dan kandungan logam berat; 2) Kajian pengaruh biochar batang kelapa sawit terhadap retensi kandungan N, P, K tanah Ultisol, serapan N, P, K dan pertumbuhan bibit kelapa sawit di *pre-nusery*. Data diperoleh dari analisis tanah dan tanaman, untuk pertumbuhan diperoleh dengan melakukan pengukuran tinggi tanaman dan menimbang berat kering akar dan tajuk tanaman; 3) Pengaruh pemberian biochar batang kelapa sawit terhadap sifat kimia, fisika dan biologi tanah ultisol, kandungan unsur hara daun dan produksi kelapa sawit. Data dikumpulkan adalah sebagai berikut: 1) analisis kimia tanah meliputi pH, C-organik, KTK, KB, Ca-dd, Mg-dd, K-dd, Na-dd, kandungan Boron, dan P-tersedia; 2) analisis

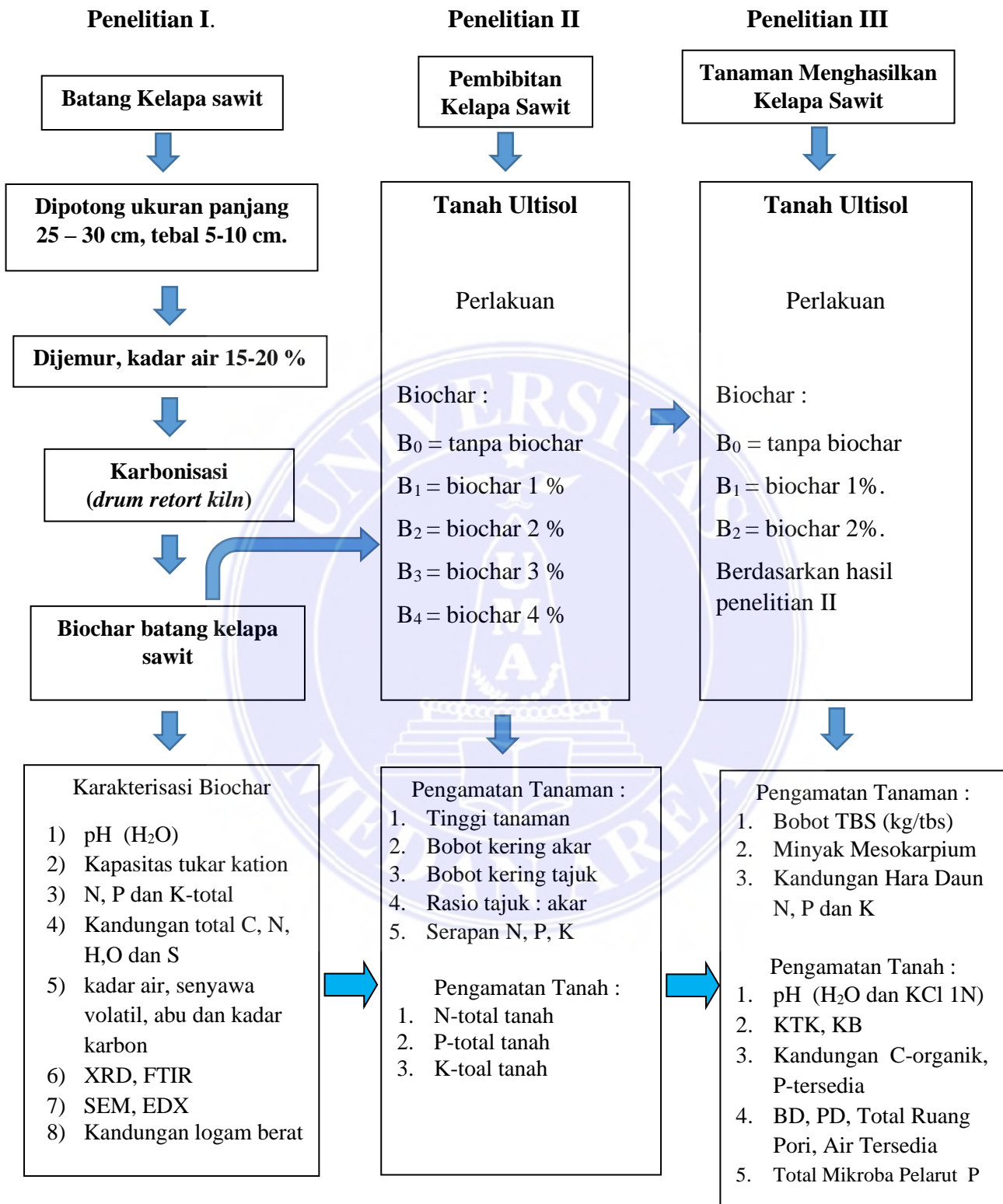
fisika tanah meliputi BD, PD, porositas, kapasitas simpan air (pF-1, pF-2, pF-2,54, pF-4,2); 3) analisis sifat biologi tanah meliputi total mikroba pelarut P, respirasi mikroba tanah, 4) analisis kandungan hara meliputi kandungan N, P, K, Mg, Ca dan B daun; dan 5) data produksi diperoleh dengan menimbang berat TBS, menghitung jumlah berondolan dan bunga partenokarpi, analisis kandungan minyak mesokarpium dan menimbang berondolan kelapa sawit.



### 3.4. Prosedur Kerja



Gambar 3. Bagan Alur Penelitian



Gambar 4. Prosedur Kerja Penelitian

## VIII. SIMPULAN DAN REKOMENDASI

### 8.1. Simpulan

Sifat fisikokimia menunjukkan kandungan karbon yang tinggi > 60% kondusif untuk simpanan karbon, memiliki struktur permukaan berpori, kaya unsur makro seperti P, K, S, Ca dan Mg. Rasio H/C > 0,6 mengindikasikan kemungkinan tidak sepenuhnya terkarbonisasi. Biochar dari batang bagian bawah memiliki kandungan karbon yang paling tinggi, sedangkan jumlah pori tertinggi pada biochar dari batang bagian atas. Tersusun dari gugus fungsional untuk implikasi dalam immobilisasi logam berat dan retensi unsur hara. Logam berat terkonsentrasi dalam BBKS masih memenuhi ambang batas standar EBC dan IBI. Batang kelapa sawit sebagai bahan baku dapat diperbarui dan tersedia, serta produk biochar ramah lingkungan. Lebih jauh, penelitian nilai aplikasi biochar untuk operasi pertanian merupakan tantangan mengingat manfaat biochar yang bervariasi dan mungkin jangka panjang pengelola lahan.

Pemberian BBKS signifikan meningkatkan pertumbuhan bibit kelapa sawit (tinggi tanaman, bahan kering tajuk dan akar), kandungan N, P, K tanah dan serapan nutrisi N, P, K oleh bibit. Penambahan BBKS bagian atas menghasilkan pertumbuhan dan serapan N, P, K yang lebih baik daripada BBKS bagian bawah dan tengah. Temuan mengungkapkan bahwa aplikasi BBKS pada 2% (b/b) lebih efisien untuk perbaikan tanah pada tanah ultisol. BBKS berpotensi meningkatkan pertumbuhan bibit kelapa sawit untuk diaplikasikan pada tanah ultisol. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menyelidiki mekanisme bagaimana BBKS berinteraksi dengan tanah, terutama di zona akar.

Aplikasi BBKS pada dosis 2% di lapangan pada tanaman kelapa sawit menghasilkan, menunjukkan bahwa BBKS dapat meningkatkan kondisi kimia, fisika dan biologi tanah Ultisol. BBKS mempunyai pengaruh positif meningkatkan pH, C-organik, KTK, Kejenuhan Basa, dan P-tersedia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi biochar secara signifikan meningkatkan kandungan air tersedia (KAT) untuk tanah bertekstur kasar (lempung berpasir). Peningkatan KAT secara langsung terkait dengan peningkatan kapasitas lapang (KL) dan titik layu permanen (TLP) dan secara tidak

langsung dikaitkan dengan penurunan kerapatan massa (yang menandakan perbaikan struktur tanah).

Untuk sifat biologi tanah, aplikasi BBKS meningkatkan aktivitas mikroba dengan melihat meningkatnya respirasi dan P-tersedia dengan meningkatnya total mikroba pelarut P. Pemberian BBKS signifikan meningkatkan berat 1 berondolan, tetapi tidak signifikan meningkatkan berat TBS, kandungan minyak mesokarpium, *fruit set*, dan *fruit to bunch*. Namun demikian terjadi tendensi peningkatan berat TBS, kandungan minyak mesokarpium, *fruit set*, dan *fruit to bunch* dengan meningkatnya pemberian BBKS.

Novelti penelitian yang diperoleh adalah BBKS memiliki kandungan karbon tetap (*fix carbon*) paling tinggi 62,05% pada BBKS dari bagian bawah batang, sedangkan BBKS dari bagian atas memiliki kadar abu paling tinggi 12,34% dan struktur pori paling banyak. Kemudian temuan penelitian mengungkapkan bahwa pemberian BBKS pada dosis 2% (b/b) signifikan memperbaiki sifat kimia tanah pH, KTK dan KB sehingga meningkatkan kandungan N, P, K tanah, serapan N, P, K baik di *pre-nursery* maupun di lapangan pada tanaman menghasilkan. Untuk sifat fisika tanah meningkatkan porositas tanah sehingga meningkatkan air tersedia bagi tanaman. Serta memperbaiki sifat biologi tanah yakni meningkatkan total mikroba pelarut tanah dan aktivitas mikroba tanah. Pengaruh pemberian BBKS hingga 2% signifikan meningkatkan berat 1 berondolan.

## 8.2. Rekomendasi

Pemberian biochar 2% merupakan yang terbaik menjadi rekomendasi pada pembibitan di *pre-nursery* pada tanah ultisol. Penelitian di masa mendatang perlu difokuskan pada uji coba lapangan jangka panjang, pengaruh lama biochar pada lingkungan perkebunan kelapa sawit. Tingkat aplikasi biochar yang optimal di berbagai tanah perkebunan kelapa sawit. Penelitian yang memungkinkan pengembangan aplikasi dosis rendah dengan efisiensi tinggi. Aplikasi jumlah biochar yang relatif kecil menghasilkan efek besar pada retensi air tanah, adalah yang paling mungkin diadopsi dalam praktik perkebunan kelapa sawit. Oleh karena itu, disarankan penerapan BBKS pada tanah yang mengalami pelapukan lanjut dan tekstur berpasir akan meningkatkan sifat kimia, fisika dan biologi tanah.

## IX. DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, S., and Mulyadi, J. 1993. *Alternatif teknik rehabilitasi dan pemanfaatan lahan alang-alang*. Proseeding Seminar Lahan Alang-alang, pp. 29-50.
- Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S. S. and Ok, Y. S. 2014. *Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review*. Chemosphere, 99: 19–33. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.071>.
- Amonette, J. E., and Joseph, S. 2009. *Characterisitcs of biochar: Microchemical properties*. In Lehman, J and Joseph, S (Eds). *Biochar for environmental management science and technology*. Earthscan, London, 33-52.
- Andalusia, B. dan Arabia, T. 2016. *Karakteristik Tanah Ordo Ultisol Di Perkebunan Kelapa Sawit PT. Perkebunan Nusantara I (Persero) Cot Girek Kabupaten Aceh Utara*. Jurnal Kawista 1(1): 45–49.
- Antal, M. J., and Grønli, M. 2003. *The art, science, and technology of charcoal production*. Industrial and Engineering Chemistry Research, 42: 1619–1640.
- Antoniadis, V., Levizou, E., Shaheen, S. M., Ok, Y. S., Sebastian, A., Baum, C., Prasad, M. N., Wenzel, W. W., and Rinklebe, J. 2017. *Trace elements in the soil-plant interface: phytoavailability, translocation, and phytoremediation—a review*. Earth Sci. Rev. 171, 621–645. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.06.005>.
- ASTM Standard D1762-84. 2007. *Chemical analysis of wood charcoal*. ASTM International, West Chonshohocken, PA, USA. <https://doi.org/10.1520/D1762-84R07>
- Awad, Y. M., Blagodatskaya, E., Ok, Y. S. and Kuzyakov, Y. 2013. *Effects of polyacrylamide, biopolymer and biochar on the decomposition of 14C-labelled maize residues and on their stabilization in soil aggregates*. Europe Journal Soil Science. 64: 488–499. <https://doi.org/10.1111/ejss.12034>.
- Bahng M. K., Mukarakate C., Robichaud D. J., and Nimlos, M. R. 2009. *Current technologies for analysis of biomass thermochemical processing: a review*. Analytica Chimica Acta. 651: 117–138.
- Balat, M., Kirtay E., and Balat, H. 2009. *Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. Part 1: Pyrolysis systems*. Energy Conversion and Management. 50: 3147–3157.

- Baldock, J. A., and Smernik, R. J. 2002. *Chemical composition and bioavailability of thermally altered Pinus resinosa (red pine) wood*. *Organic Geochemistry*, 33: 1093–1109.
- Bensidhom, G., Hassen-Trabelsia, A. B., Alper, K., Sghairoun, M., Zaafour, K., and Trabelsi, I. 2018. *Pyrolysis of date palm waste in a fixed-bed reactor: Characterization of pyrolytic products*. *Bioresource Technology*. 247:363-369.
- Bockheim, J. G., and Hartemink, A. E. 2013. *Distribution and classification of soils with clay-enriched horizons in the USA*. *Geoderma*. 209:153-160. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2013.06.009>.
- BPS. 2024. *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2023*. Penyunting Direktorat Statistik Tanaman Pangan, Hortikultura dan Perkebunan. Badan Pusat Statistik Indonesia, Jakarta.
- Brebu, M., and Vasile, C. 2010. *Thermal degradation of lignin—a review*. *Cellulose Chemistry and Technology*. 44 (9):353 - 363.
- Butnan, S., Deenik, J. L., Toomsan, B., Antal, M. J., and Vitayakon, P. 2015. *Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soil contrasting in texture and mineralogy*. *Geoderma*. 237-238:105-116.
- Carlson, J., Saxena, J., Basta, N., Hundal, L., Busalacchi, D., and Dick, R. P. 2015. *Application of organic amendments to restore degraded soil: effects on soil microbial properties*. *Environmental Monitoring and Assessment*. 187(3):1–15. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4293-0>.
- Chabbi, A., Lehmann, J., Ciais, P., Loescher, H. W., Cotrufo, M. F., Don, A., and Clements, M., Schipper, L., Six, J., and Smith, P. 2017. *Aligning agriculture and climate policy*. *Nature and Climate Change*. 7: 307.
- Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A. and Joseph, S. 2007. *Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment*. *Australian Journal of Soil Research*. 45:629-634.
- Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., and Joseph, S. 2008. *Using poultry litter biochars as soil amendments*. *Australian Journal of Soil Research*. 46:437-444.
- Chen, C. P., Cheng, C. H., Huang, Y. H., Chen, C. T., Lai, C. M., Menyailo, O. V., Fan, L. J., and Yang, Y. W. 2014. *Converting leguminous green manure into biochar: changes in chemical composition and C and N mineralization*. *Geoderma*. 232-234:581-88.
- Cheng, C. H., Lehmann, J., Thies, J. E., and Burton, S. D. 2008. *Stability of black carbon in soils across a climatic gradient*. *Journal of Geophysical Research* 113, G02027.

- Choppala, G. K., Bolan, N. S., Megharaj, M., Chen, Z. and Naidu, R. 2012. *The influence of biochar and black carbon on reduction and bioavailability of chromate in soils.* Journal Environment Quality. 41:1175–1184. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0145>.
- Clough, T. J., Condrón, L. M., Kammann, C., and Müller, C. 2013. *A Review of Biochar and Soil Nitrogen Dynamics.* Agronomy. 3(2):275-293. <https://doi.org/10.3390/agronomy3020275>.
- Collard, F. X., and Blin, J. 2014. *A review on pyrolysis of biomass constituents: mechanisms and composition of the products obtained from the conversion of cellulose, hemicelluloses and lignin.* Renewable Sustainable Energy Review. 38, 594–608.
- Conz, R. F., Abbruzzini, T. F., de Andrade, C. A., Milori, D. M. B. P., and Cerri, C. E. P. 2017. *Effect of pyrolysis temperature and feedstock type on agricultural properties and stability of biochars.* Agriculture Sciences. 8:914–933. <https://doi.org/10.4236/as.2017.89067>.
- Cross, A., and Schlesinger, W. H. 1995. *A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems.* Geoderma. 64(3–4):197–214. doi:10.1016/0016-7061(94)00023-4.
- Czimczik, C. I., and Masiello, C. A. 2007. *Controls on black carbon storage in soils.* Global Biogeochemical Cycles. 21: GB 3005. doi:10.1029/2006GB002798.
- Dai, Z., Zhang, X., Tang, C., Muhammad, N., Wu, J., Brookes, P. C., and Xu, J. 2017. *Potential role of biochars in decreasing soil acidification—a critical review.* Science Total Environment. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.169>.
- Demirbas, A. 2004. *Combustion characteristics of different biomass fuels.* Progress in Energy and Combustion Science, 30: 219–230.
- Departemen Pertanian. 2006. *Pedoman pengolahan limbah industri kelapa sawit.* Direktorat Pengolahan Hasil Pertanian, Jakarta.
- FAO (The Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2020. FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/en/?#data/>.
- FAO. 2011. *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW)—Managing Systems at Risk.* Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy. Earthscan, London, UK Available online. <http://www.fao.org/docrep/017/i1688e/i1688e.pdf>.

- Filiberto, D. M., and Gaunt, J. L. 2013. *Practicality of biochar additions to enhance soil and crop productivity*. Agriculture. 3(4):715-725. <https://doi.org/10.3390/agriculture3040715>
- Fuss, S., Lamb, W. F., Callaghan, M. W., Hilaire, J., Creutzig, F., Amann, T., Beringer, T., Garcia, W. O., Hartmann, J., and Khanna, T. 2018. *Negative emissions—Part 2: costs, potentials and side effects*. Environmental Research Letter. 13(6):063002.
- Gani, A. 2009. *Potensi arang hayati biochar sebagai komponen teknologi perbaikan produktivitas Lahan Pertanian*. Iptek Tanaman Pangan. 4 (1): 33 – 48.
- Gautam, D. K., Bajracharya, R. M., and Sitaula, B.cK. 2017. *Effects of Biochar and Farm Yard Manure on Soil Properties and Crop Growth in an Agroforestry System in the Himalaya*. Sustainable Agriculture Research. 6 (4) : 74.
- Gao, S., and De Luca, T. H. 2016. *Influence of biochar on soil nutrient transformations, nutrient leaching, and crop yield*. Advance Plants and Agriculture Research. 4(5):1-16. <https://10.15406/apar.2016.04.00150>.
- Gezahegn, S., Sain, M., and Thomas, S. C. 2020. *Phytotoxic condensed organic compounds are common in fast but not slow pyrolysis biochars*. Bioresource Technology Reports. 13:100613.
- Glaser, B. 2007. *Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London-Series B. Biological Science. 362(1478):187–196. <https://doi.org/10.1098/rstb.2006.1978>.
- Glaser, B., Guggenberger, G., Haumaier, L., and Zech, W. 2001. *Persistence of Soil Organic Matter in Archaeological Soils (Terra Preta) of the Brazilian Amazon Region*. In Rees, R. M; Ball, B. C; Campbell, C. D; and Watson, C. A.: Sustainable management of soil organic matter. CABI Publishing, Wallingford. 190–194.
- Glaser, B., and Birk, J. J. 2012. *State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Indio)*. Geochim Cosmochim Acta, 82:39–51. doi: 10.1016/j.gca.2010.11.029.
- Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., and Zech, W. 2001. *The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics*. The Science of Nature. 88(1):37-41. <https://doi.org/10.1007/s001140000193>.
- Glaser, B., Lehmann, J., and Zech, W. 2002. *Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - A review*. Biology Fertility Soils, 35:219–230.

- Glaser, B., and Woods, W. I. 2004. *Amazonian dark earths: Explorations in space and time*. Springer Berlin, Heidelberg. 216
- Gruba, P., and Mulder, J. 2015. *Tree species affect cation exchange capacity (CEC) and cation binding properties of organic matter in acid forest soils*. *Science Total Environment*. 511:655–662.
- Guillaume, T., Holtkamp, A. M., Damris, M., Bernhard Brümmer, B., and Kuzyakov, Y. 2016. *Soil degradation in oil palm and rubber plantations under land resource scarcity*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 232:110–118.
- Guizani, C., Haddad, K., Limousy, L., and Jeguirim, M. 2017. *New insights on the structural evolution of biomass char upon pyrolysis as revealed by the Raman spectroscopy and elemental analysis*. *Carbon*. 119: 519-521.
- Gul, S., and Whalen, J. K. 2016. *Biochemical cycling of nitrogen and phosphorus in biochar amended soils - review paper*. *Soil Biology and Biochemistry*. 103: 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.001>.
- Hale, S. E., Alling, V., Martinsen, V., Mulder, J., Breedveld, G. D., and Cornelissen, G. 2013. *The sorption and desorption of phosphate-P, ammonium-N and nitrate-N in cacao shell and corn cob biochars*. *Chemosphere*. 91:1612–1619.
- Hammes, K., and Schmidt, M. W. I. 2009. *Changes of biochar in soil*. In: Lehmann J, Joseph S (eds) *Biochar Environment Management Science Technology*, 1st edn. Earthscan, United Kingdom, London, pp 169–178.
- He, Y. Q., and Sun, B. 2008. *Evolution and regulation of red soil quality (in Chinese)*. Science Press, Beijing, p 375.
- Hou, D., Bolan, N. S., Tsang, D. C. W., Kirkham, M. B., and O'Connor, D. 2020. *Sustainable soil use and management: An interdisciplinary and systematic approach*. *Science of The Total Environment*. 729:138961.
- Hussain, M., Farooq, M., Nawaz, A., Al-Sadi, A. M., Solaiman, Z. M., Alghamdi, S. S., Ammara, U., Ok, Y. S., and Siddique, K. H. 2017. *Biochar for crop production: potential benefits and risks*. *Journal Soils and Sediments*. 17 : 685–716.
- Iswaran, V., Jauhri, K. S., and Sen, A. 1980. *Effect of charcoal, coal and peat on the yield of moong, soybean and pea*. *Soil Biology and Biochemistry*. 12:191-192.
- Jeffery, S., Verheijen, F. G. A., Velde, M., and Bastos, A. C. 2011. *A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis*. *Agriculture Ecosystem and Environment*. 144: 175–187. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.015>.

- Jeffery, S., Bezemer, M., Cornelissen, G., Kuyper, T. W., Lehmann, J., Mommer, L., Sohi, S. P., Van De Voorde, T. F. J., Wardle, D. A. and Van Groenigen, J. W. 2015. *The way forward in biochar research: targeting trade-offs between the potential wins*. *Global Change Biology and Bioenergy*. 7:1–13. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12132>.
- Jien, S. H., and Wang, C. S. 2013. *Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil*. *Catena*. 110:225–233.
- Jabborova, D., Annapurna, K., Paul, S., Kumar, S., Saad, H. A. H., Desouki, S., Ibrahim, M. F. M., and Elkelish, A. 2021. *Beneficial features of biochar and arbuscular mycorrhiza for improving spinach plant growth, root morphological traits, physiological properties, and soil enzymatic activities*. *Journal of Fungi*, 7(7):571. <https://doi.org/10.3390/jof7070571>
- Joseph, S., Peacocke, C., Lehmann, J., and Munroe, P. 2009. *Developing a biochar classification and test methods*. In J. Lehmann and S. Joseph (Eds.): *Biochar for Environmental Management*. Earthscan Pub. Co. London, UK. 107-126.
- Keiluweit, M., Nico, P. S., Johnson, M. G., and Kleber, M. 2010. *Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (Biochar)*. *Environmental Science Technology*. 44 (4) : 1247-1253.
- Khan, S., Reid, B. J., Li, G., and Zhu, Y. G. 2014. *Application of biochar to soil reduces cancer risk via rice consumption: a case study in Miaoqian village, Longyan, China*. *Environment International*. 68:154–161.
- Khor, K., Lim, K., and Zainal, Z. A. 2010. *Laboratory-scale pyrolysis of oil palm trunks. Energy Sources: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 32(6):518–31.
- Kimetu, J., Lehmann, J., Ngoze, S., Mugendi, D., Kinyangi, J., Riha, S., Verchot, L., Recha, J. W., and Pell, A. N. 2008. *Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient*. *Ecosystems*. 11:726-739. <https://doi.org/10.1007/s10021-008-9154-z>.
- Knowles, O. A., Robinson, B. H., Contangelo, A., and Clucas, L. 2011. *Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil amended with biosolids*. *Science of The Total Environment*. 409(17):3206-3210.
- Kuzyakov, Y., Subbotina, I., Chen, H., Bogomolova, I., and Xu, X., 2009. *Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by <sup>14</sup>C labeling*. *Soil Biology and Biochemistry*. 41: 210–219.
- Kuppusamy, S., Thavamani, P., Megharaj, M., Venkateswarlu, K. and Naidu, R. 2016. *Agronomic and remedial benefits and risks of applying biochar to soil: current*

*knowledge and future research directions*. Environment International. 87: 1–12.  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.08.013>.

Laghari, M., Mirjat, M. S., Hu, Z., Fazal, S., Xiao, B., Hu, M., Chen, Z., and Guo, D. 2015. *Effects of biochar application rate on sandy desert soil properties and sorghum growth*. Catena. 135:313–320.  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.08.013>.

Laird, D. A., Fleming, P., Wang, B., Horton, R. and Karlen, D. 2010. *Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil*. Geoderma. 158:436–442. doi: 10.1016/j.geoderma.2010.05.012.

Lal, R. 2015. *Restoring soil quality to mitigate soil degradation*. Sustainability, 7:5875–5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>.

Lam, S. S., Liew, R. K., Lim, X. Y., Ani, F. N., and Jusoh, A. 2016. *Fruitwaste as feedstock for recovery by pyrolysis technique*. International Biodeterior and Biodegradation. 113:325–333.

Lee, X. J., Lee, L. Y., Gan, S., Thangalazhy-Gopakumar, S., and Ng, H. K. 2017. *Biochar potential evaluation of palm oil wastes through slow pyrolysis: thermochemical characterization and pyrolytic kinetic studies*. Bioresource Technology. 236: 155–163.

Lehmann, J., da Silva, Jr. J. P., Rondon, M. Cravo, Md. S., Greenwood, J., Nehls, T., Steiner, C., and Glaser, B. 2002. *Slash and char - A feasible alternative for soil fertility management in the central Amazon?* In '17<sup>th</sup> World Congress of Soil Science'. Bangkok, Thailand. (Ed. Sciences TIUoS) pp 1–12. (The International Union of Soil Science).

Lehmann, J., da Silva Jr, J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., and Glaser, B. 2003. *Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments*. Plant Soil, 249:343–357.

Lehmann, J., Gaunt, J., and Rondon, M., 2006. *Biochar sequestration in terrestrial ecosystems—a review*. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 11: 395–419.

Lehmann, J. 2007. *A handful of carbon*. Nature 447, 143–144.  
<https://doi.org/10.1038/447143a>.

Lehmann, J., Gaunt, J., and Rondon, M. 2006. *Biochar sequestration in terrestrial ecosystem; A review*. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 11: 403–427. doi: 10.1007/s11027-005-9006-5.

- Lehmann, J., Skjemstad, J. O., Sohi, S., Carter, J., Barson, M., Falloon, P., Coleman, K., Woodbury, P., and Krull, E. 2008. *Australian climate-carbon cycle feedback reduced by soil black carbon*. *Nature Geoscience*. 1:832–835.
- Lehmann, J., and Joseph, S. 2009. *Biochar for environmental management—an introduction*. In J. Lehmann and S. Joseph (Eds) : *Biochar for environmental management : Science and Technology*. Earthscan Pub. Co. London. UK. 1–18.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., and Crowley, D. 2011. *Biochar effects on soil biota- A review*. *Soil Biology and Biochemistry*. 43: 1812-1836.
- Lei, O., and Zhang, R. 2013. *Effects of biochars derived from different feedstocks and pyrolysis temperatures on soil physical and hydraulic properties*. *Journal Soils Sediments*. 13:1561–1572.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O’Neill, B., Skjemstad, J. O., Thies, J., Luizao, F. J., Petersen, J., and Neves, E. G. 2006. *Black carbon increases cation exchange capacity in soils*. *Soil Science Society of America Journal*. 70:1719-1730.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Sohi, S., Thies, J. E., Skjemstad, J. O., Luizão, F. J., Engelhard, M. H., Neves, E. G., and Wirick, S. 2008. *Stability of biomass-derived black carbon in soils*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 72: 6078–6096.
- Liew, R. K., Nam, W. L., Chong, M. Y., Phang, X. Y., Su, M. H., Yek, P. N. Y., Ma, N. L., Cheng, C. K., Chong, C. T., and Lam, S. S. 2017. *Oil palm waste: an abundant and promising feedstock for microwave pyrolysis conversion into good quality biochar with potential multi-applications*. *Process Safety and Environmental Protection*. 115:57–69.
- Lima, H. N., Schaefer, C. E. R., Mello, J. W. V., Gilkes, R. J., and Ker, J. C. 2002. *Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) of Western Amazonia*. *Geoderma*. 110:1–17.
- Lin, Z., Liu, Q., Liu, G., Cowie, A. L., Bei, Q., Liu, B. I. U., Wang, X., Ma, J., Zhu, J., and Xie, Z. 2017. *Effects of different biochars on Pinus elliottii growth, N use efficiency, soil N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions and C storage in a subtropical area of China*. *Pedosphere* 27, 248–261. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60314-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60314-X).
- Liu, X., Zhang, A., Ji, C., Joseph, S., Bian, R., Li, L., Pan, G., and Paz-Ferreiro, J. 2013. *Biochar’s effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions. A meta-analysis of literature data*. *Plant and Soil*. Doi:10.1007/s11104-013-1806-x.

- Lu, S. G., Sun, F. F., and Zong, Y. T. 2014. *Effect of rice husk biochar and coal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol)*. *Catena*. 114:37–44. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.10.014>.
- Lubis, A. U. 2008. *Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq) di Indonesia*. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Medan. Indonesia.
- Madhiyanon, T., Sathitruangsak, P., Sungworagarn, S., Fukuda, S., and Tia, S. 2013. *Ash and deposit characteristics from oil-palm empty-fruit-bunch (EFB) firing with kaolin additive in a pilot-scale grate-fired combustor*. *Fuel Processing Technology*. 115: 182–191.
- Major, J., Lehmann, J., Rondon, M., and Goodale, C. 2010. *Fate of soil-applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration*. *Global Change Biology*. 16:1366–1379. doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.02044.x.
- Martinsen, V., Alling, V., Nurida, N. L., Mulder, J., Hale, S. E., Ritz, C., Rutherford, D. W., Heikens, A., Breedveld, G. D., and Cornelissen, G. 2015. *pH effects of the addition of three biochars to acidic Indonesian mineral soils*. *Soil Science and plant Nutrition*. 61:821–834.
- Mukherjee, A., and Lal, R. 2013. *Biochar Impacts on Soil Physical Properties and Greenhouse Gas Emissions*. *Agronomy*. 3(2):313-339.
- Neves, E. G., Peterson, J. B., Bartone, R. N., and da Silva, C.A. 2003. *Historical and socio-cultural origins of Amazonian Dark Earths*. In: Lehmann J, Kern DC, Glaser B, Woods WI (eds) *Amaz. Dark Earths Orig. Prop. Manag.* Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 29–49.
- Niazi, N. K., Bibi, I., Shahid, M., Ok, Y. S., Burton, E. D., Wang, H., Shaheen, S. M., Rinklebe, J., and Luttge, A. 2017. *Arsenic removal by perilla leaf biochar in aqueous solutions and groundwater: an integrated spectroscopic and microscopic examination*. *Environmental Pollution*. 232(2):31 – 41.
- Novak, J. M., Busscher, W. J., Laird, D. L., Ahmedna, M., Watts, D. W., and Niandou. M. A. S. 2009. *Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain*. *Soil Science*. 174:105-111.
- Nudri, N. A., Bachmann, R. T., Ghani, W. A. W. A. K., Sum, D. N. K., and Azni, A. A. 2020. *Characterization of oil palm trunk biocoal and its suitability for solid fuel applications*. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 10(1): 45-55.
- Obia, A., Mulder, J., Martinsen, V., Cornelissen, G., and Børresen, T. 2016. *In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils*. *Soil and Tillage Research*. 155:35–44.

- Oh, W. K., Yoon, H., and Jang, J. 2010. *Size control of magnetic carbon nanoparticles for drug delivery*. *Biomaterials*. 31(6):1342-48.
- Ok, Y. S., Chang, S. X., Gao, B., and Chung, H. J. 2015. *SMART biochar technology—a shifting paradigm towards advanced materials and healthcare research*. *Environmental Technology & Innovation*. 4:206–209.
- Omondi, M. O., Xia, X., Nahayo, A., Liu, X., Korai, P. K., and Pan, G. 2016. *Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data*. *Geoderma*. 274:28–34.
- Palamanit, A., Khongphakdi, P., Tirawanichakul, Y., and Phusunti, N. 2019. *Investigation of yields and qualities of pyrolysis products obtained from oil palm biomass using an agitated bed pyrolysis reactor*. *Biofuel Research Journal*. 6 (4) :1065-1079.
- Papilo, P., Hambali, E. M., and Sitanggang, I. S. 2018. *Sustainability index assessment of palm oil-based bioenergy in Indonesia*. *Journal of Cleaner Production*. 196:808–820.
- Paramanathan, S. 2013. *Managing marginal soils for sustainable growth of oil palms in the tropics*. *Journal of Oil Palm & The Environment*. 4:1–16.
- Powelson, D. S., Whitmore, A. P., and Goulding, K. W. T. 2011. *Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false*. *Europe Journal of Soil Science*. 62:42–55. doi: 10.1111/j.1365-2389.2010.01342.x.
- Prasetyo, B. H., dan Suriadikarta, D. A. 2006. *Karakteristik, potensi, dan teknologi pengelolaan Ultisol untuk pengembangan pertanian lahan kering di Indonesia*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian dan Balai Penelitian Tanah. Bogor. *Jurnal Litbang Pertanian*. 25(2): 39-42.
- Puga, A. P., Abreu, C. A., Melo, L. C. A. and Beesley, L. 2015. *Biochar application to a contaminated soil reduces the availability and plant uptake of zinc, lead and cadmium*. *Journal Environmental Management*. 159:86–93. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.05.036>.
- Purakayastha, T. J., Kumari, S., and Pathak, H. 2015. *Characterisation, stability, and microbial effects of four biochars produced from crop residues*. *Geoderma*. 239:293–303. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.11.009>.
- Purwanto, S., Gani, R. A., and Suryani, E. 2020. *Characteristics of ultisols derived from basaltic andesite materials and their association with old volcanic landforms in Indonesia*. *SAINS TANAH-J Soil Sci Agroclimatology* 17: 135-143. doi: <https://doi.org/10.20961/STJSSA.V17I2.38301>.

- Qiu, M., Liu, L., Ling, Q., Cai, Y., Yu, S., Wang, S., Fu, D., Hu, B., and Wang, X. 2022. *Biochar for the removal of contaminants from soil and water: a review*. *Biochar*. 4 :19.
- Raboin, L. M., Razafimahafaly, A. H. D., Rabenjarisoa, M. B., Rabary, B., Dusserre, J., and Becquer, T. 2016. *Improving the fertility of tropical acid soils: Liming versus biochar application? A long term comparison in the highlands of Madagascar*. *Field Crop Research*. 199: 99–108. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.005>.
- Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A.R. and Lehmann, J. 2012. *Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil*. *Biol. Fertil. Soils* 48:271–284. <https://doi.org/10.1007/s00374-011-0624-7>.
- Randolph, P., Bansode, R. R., Hassan, O. A., Rehrh, D., Ravella, R., Reddy, M. R., Watts, D. W., Novak, J. M. and Ahmedna, M. 2017. *Effect of biochars produced from solid organic municipal waste on soil quality parameters*. *J. Environ. Manag.* 192:271–280.
- Raveendran, K., Ganesh, A. and Khilar, K. C. 1995. *Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristics*. *Fuel*. 74 (12) : 1812–1822.
- Rizwan, M., Ali, S., Qayyum, M. F., Ibrahim, M., Zia-ur-Rehman, M., Abbas, T., and Ok YS. 2016. *Mechanisms of biochar-mediated alleviation of toxicity of trace elements in plants: a critical review*. *Environmental Science and Pollution Research*, 23:2230–2248.
- Robb, S., Joseph, S., Abdul Aziz, A., Dargusch, P., and Tisdell, C. 2020. *Biochar's cost constraints are overcome in small-scale farming on tropical soils in lower-income countries*. *Land Degradation Development*. 31:1713–1726.
- Sadaka, S., Sharara, M. A., Ashworth, A., Keyser, P., Allen, F., and Wright, A. 2014. *Characterization of biochar from switchgrass carbonization*. *Energies*. 7(2):548–567.
- Santi, L. P. dan Goenadi D. H. 2012. *Pemanfaatan biochar asal cangkang kelapa sawit sebagai bahan pembawa mikroba pemantap agregat*. In Handayanto (Ed). *Proceeding Seminar Nasional Biochar*, Malang 26-27 Juni 2012. Buana Sains. Tribuana Press. 12(1):7-14.
- Santi, L. P. 2017. *Pemanfaatan arang pirolisis asal cangkang kelapa sawit untuk retensi hara dan karbon pada media tanah Typic Hapludult*. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 41(1):9-16. <https://doi.org/10.21082/jti.v41n1.2017.9-16>.
- Santoso, A. 2018. *Evaluasi kinerja pabrik kelapa sawit dalam produksi energi terbarukan*. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 19:213–220.

- Selvamani, V., Ravikumar, R., Suryanarayanan, V., Velayutham, D., and Gopukumar, S. 2016. *Garlic peel derived high capacity hierarchical N-doped porous carbon anode for sodium/lithium ion cell*. *Electrochimica Acta*. 190:337-345.
- Shaheen, S. M., and Rinklebe, J. 2015. *Impact of emerging and low cost alternative amendments on the (im)mobilization and phytoavailability of Cd and Pb in a contaminated floodplain soil*. *Ecological Engineering*. 74 : 319–326.
- Shariff, A., Hakim, R., and Abdullah, N. 2016. *Rubber wood as potential biomass feedstock for biochar via slow pyrolysis*. *International Journal of Chemical Molecular Engineering*. 10(12):1415-1420.
- Shrivastava, P., Khongphakdi, P., Palamanit, A., Kumar, A., and Tekasakul, P. 2021. *Investigation of physicochemical properties of oil palm biomass for evaluating potential of biofuels production via pyrolysis processes*. *Biomass Conversion and Biorefination*. 11:1987–2001.
- Sianipar, E. M., Hutapea, S., and Mardiana, S. 2022. *Characterization of oil palm trunk biochar as soil amendment produced by using drum retort kiln*. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*. 22:10-14.
- Sianipar, E. M., Hutapea, S., Panjaitan, E., and Mardiana, S. 2024. *Applicability Assessment of Oil Palm Trunk Biochar for Use as Soil Amendment: Morphology, Structure, and Chemical Properties*. *Science & Technology Asia*. 256–270. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/SciTechAsia/article/view/250287>.
- Sika, M. P., and Hardie, A. G. 2014. *Effect of pine wood biochar on ammonium nitrate leaching and availability in a South African sandy soil*. *European Journal of Soil Science*. 65:113–119. <https://doi.org/10.1111/ejss.12082>.
- Singh, R., Babu, J.N., Kumar, R., Srivastava, P., Singh, P. and Raghubanshi, A. S. 2015. *Multifaceted application of crop residue biochar as a tool for sustainable agriculture: an ecological perspective*. *Ecological Engineering*. 77:324–347. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.01.011>.
- Soil Survey Staf. 2014. *Key to Soil Taxonomy Twelfth Edition*. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. USA.
- Sombroek, W. G., Nachtergaele, F. O., and Hebel, A. 1993. *Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils*. *Ambio*. 22(7):417-426.
- Sparrevik, M., Lindhjem, H., Andria, V., Fet, A. M., and Cornelissen, G. 2014. *Environmental and socioeconomic impacts of utilizing waste for biochar in rural areas in Indonesia—A systems perspective*. *Environment Science Technology*. 48:4664–4671.

- Sparrevik, M., Adam, C., Martinsen, V., and Cornelissen, G. 2015. *Emissions of gases and particles from charcoal/biochar production in rural areas using medium-sized traditional and improved "retort" kilns*. Biomass and Bioenergy. 72, 65–73.
- Steiner, C., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Nehls, T., Macêdo, J. L. V. d., Blum, W. E. H. and Zech, W. 2007. *Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil*. Plant Soil. 291:275–290.
- Steiner, C., Glaser, B., Teixeira, W. G., Lehman, J., Blum, W. E. H., and Zech, W. 2008. *Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal*. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 171:893–899. <https://doi.org/10.1002/jpln.200625199>.
- Subagyo, H., Suharta, N., and Siswanto, A. B. 2004. *Tanah-tanah pertanian di Indonesia*. In: A Adimihardja, LI Amien, F Agus and D Djaenudin (eds). Sumberdaya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor. 21-66.
- Sukiran, M. A., Abnisa, F., Daud, W. M. A. W., Bakar, N. A., and Loh, S. K. 2017. *A review of torrefaction of oil palm solid wastes for biofuel production*. Energy Conversion and Management. 149:101–20.
- Sutono dan Nurida, N. L. 2012. *Kemampuan biochar memegang air pada tanah bertekstur pasir*. Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Kelaman: Buana Sains. Tribhuana Press.12(1):45-52.
- Thies, J. E., and Rillig, M. C. 2009. *Characteristics of biochar: biological properties (Ch. 6)*. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), Biochar for Environmental Management. Gateshead, UK, Earthscan. 85–105.
- Thomsen, I. K., Hansen, J. F., Kjellerup, V. and Christensen, B. T. 1993. *Effects of cropping system and rates of nitrogen in animal slurry and mineral fertilizer on nitrate leaching from a sandy loam*. Soil Use and Management. 9(2):53–58.
- Tripathi, M., Sahu, J. N., and Ganesan, P. 2016. *Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: a review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 55:467–481.
- Uexkull, H. R., and Mutert, E. 1995. *Global extent, development and economic impact of acid soils*. Plant and Soil. 171(1):1–15.
- Vaccari, F. P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F. and Miglieta, F. 2011. *Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in*

- durum wheat*. European Journal of Agronomy. 34:231–238. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.01.006>.
- Van Wambeke, A. 1992. *Soils of the Tropics*. McGraw-Hill, New York.
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K. Y., Downie, A., Rust, J., Joseph, S., and Cowie, A. 2010. *Effect of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility*. Plant and Soil. 327: 235-246.
- Verheijen, F. G. A., Jeffery, S., Bastos, A. C., van der Velde, M., and Diafas, I. 2009. *Biochar Application to Soils: A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions*. EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, UK, pp. 149.
- Weber, K., and Quicker, P. 2018. *Properties of biochar*. Fuel. 217 : 240 - 261.
- Werner, K., Pommer, L., and Broström, M. 2014. *Thermal decomposition of hemicelluloses*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 110:130–137. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2014.08.013>.
- Wood, W., and Denevan, W. 2009. *Amazonian Dark Earths: The First Century of Report*. In: Woods, W. I., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Steiner, C., WinklerPrins, A., and Rebellato, L. (Eds.), *Amazonian Dark Earths: Wim Sambroek's Vision*. Springer, Dordrecht. pp 1-14. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9031-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9031-8_1).
- Woods, W. I., and McCann, J. M. 1999. *The Anthropogenic Origin and Persistence of Amazonian Dark Earths*. In: Caviedes C (ed) *Yearbook 1999 — Conference of Latin Americanist Geographers 25*. Austin: University of Texas Press. pp 7–14.
- Xie, X., Goodell, B., Zhang, D., Nagle, D. C., Qian, Y., Peterson, M. L., and Jellison, J. 2009. *Characterization of carbons derived from cellulose and lignin and their oxidative behavior*. Bioresource Technology. 100(5):1797-1802. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.09.057>.
- Yang, H., Kerne, P., Liang, X., Strush, E., Mirkouei, A., and You, Y. 2025. *Biochar amendment modulates root metabolome and rhizosphere microbiome of wheat*. Biochar, 7(1): 46. <https://doi.org/10.1007/s42773-025-00434-6>.
- Yana, S., Nizar, M., and Mulyati, I. D. 2022. *Biomass waste as a renewable energy in developing bio-based economies in Indonesia: a review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews.160:112268.
- Yao, Y., Gao, B., Zhang, M., Inyang, M., and Zimmerman, A. R. 2012. *Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil*. Chemosphere, 89:1467–1471.

- Yu, O. Y., Raichle, B., dan Sink, S. 2013. *Impact of biochar on the water holding capacity of loamy sand soil*. International Journal of Energy and Environmental Engineering. 4:1-9.
- Yuan, J. H., Xu, R. K., and Zhang, H. 2011. *The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures*. Bioresources Technology, 102:3488–3497
- Yuan, J. H., Xu, R. K., Wang, N., and Li, J. Y. 2011. *Amendment of Acid Soils with Crop Residues and Biochars*. Pedosphere. 21:302–308. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(11\)60130-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(11)60130-6).
- Zhang, R., Zhang, Y., Song, L., Song, X., Hanninen, H., and Wu, J. 2017. *Biochar enhances nut quality of *Torreya grandis* and soil fertility under simulated nitrogen deposition*. Forest Ecology and Management. 391:321–329. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.036>.
- Zhang, H., Chen, C., Gray, E. M., and Boyd, S. E. 2017a. *Effect of feedstock and pyrolysis temperature on properties of biochar governing end use efficacy*. Biomass and Bioenergy. 105:136–146.
- Zheng, J., Han, J., Liu, Z., Xia, W., Zhang, X., Li, L., Liu, X., Bian, R., Cheng, K., Zheng, J. and Pan, G. 2017. *Biochar compound fertilizer increases nitrogen productivity and economic benefits but decreases carbon emission of maize production*. Agriculture, Ecosystem and Environment. 241:70–78. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.034>.
- Zimmerman, A. R. 2010. *Abiotic and Microbial Oxidation of Laboratory-Produced Black Carbon (Biochar)*. Environmental Science & Technology. 44(4): 1295-1301. <https://doi.org/10.1021/es903140c>.

## LAMPIRAN

Lampiran 1. Jadwal Pelaksanaan Penelitian

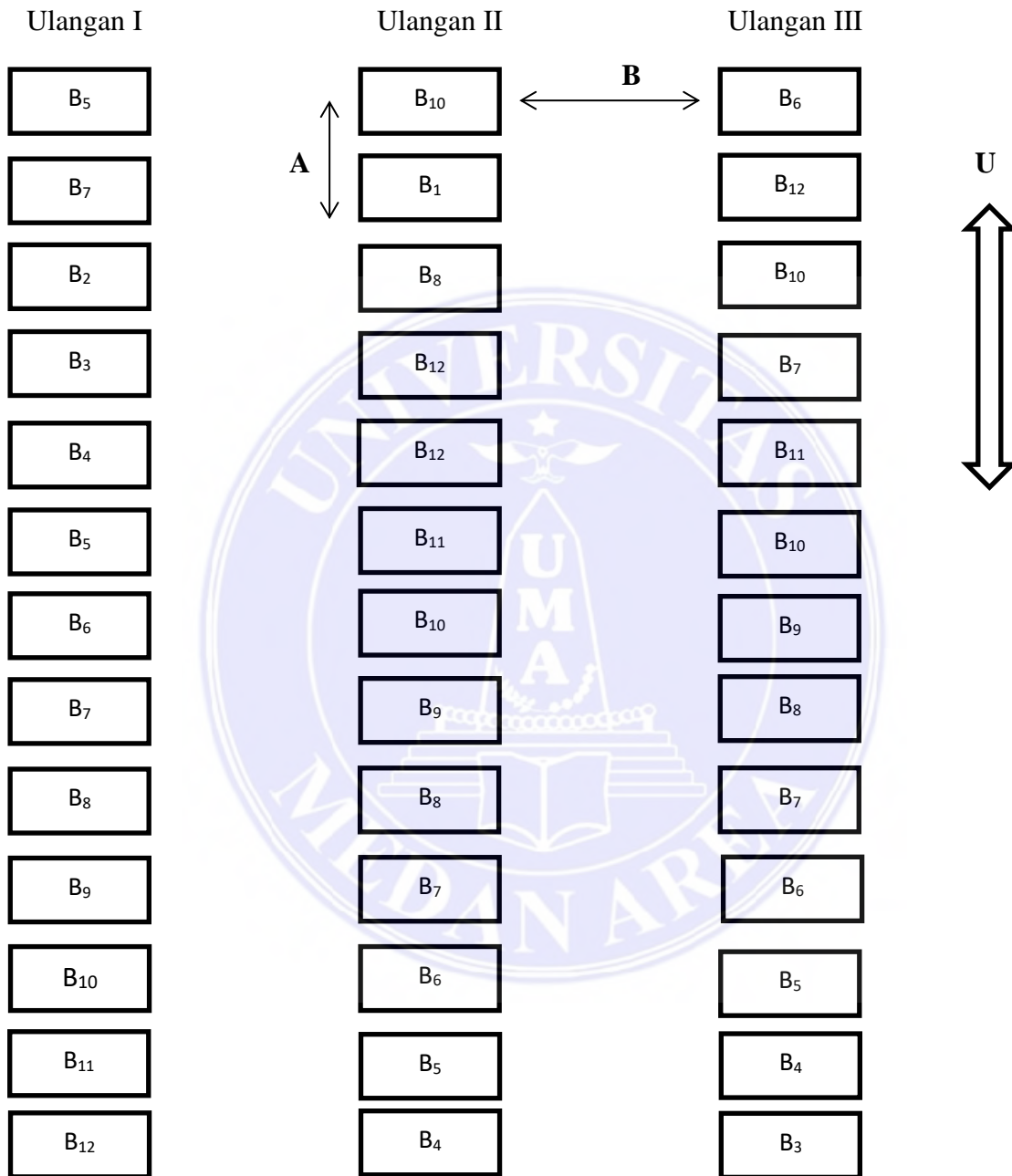
No	Uraian	2021						2022						2023													
		5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
1	Persiapan																										
	Pembuatan Alat	■																									
	Pengambilan Batang K. Sawit		■	■																							
	Pengambilan Tanah				■	■																					
	Pemesanan Kecambah					■	■																				
2	Pembuatan Biochar				■	■																					
3	Pembuatan Media tanam					■	■																				
4	Analisis biochar dan tanah awal					■	■	■																			
5	Pembibitan Awal					■	■	■	■																		
	Pengamatan									■	■																
	Analisis tanah / tanaman											■	■														
6	Penelitian Lapangan																	■	■	■	■	■	■				
	Pengamatan																							■			
7	Pengolahan Data																								■	■	
8	Internasional Konferensi									■	■																
9	Publikasi																									■	■

## Lampiran 2. Deskripsi Bibit Kelapa Sawit Turunan SP 540

Varietas Turunan SP540 merupakan varietas yang dihasilkan dari persilangan antara Dura dan Deli lini PA 131 D self /TI221 D x GB 30 D dengan tetua pisifera keturunan SP540T murni. Karakter unggulan dari varietas ini adalah *quik starter* dan persentase mesokarp per buah yang sangat tinggi (88-90%). Potensi produksi CPO dari varietas ini mencapai 8-9 ton /ha/tahun.

Rata-rata Jumlah Tanda	= 14 tandan/pohon/tahun
Rata-rata Berat Tandan	= 15,4 kg/tandan
Potensi Produksi Tandan Buah Segar (TBS)	= 35 ton/ha/tahun
Rendemen	= 27,4%
Potensi CPO	= 9,6 ton/ha/tahun
Potensi PKO	= 0,5 ton/ha/tahun
Potensi CPO + PKO (palm product)	= 10,1 ton/ha/tahun
Iodine Value	= 56,5
Kandungan beta karoten	= 354 ppm
Pertumbuhan meninggi	= 72 cm/tahun
Panjang Pelepah	= 5,5 m
Kerapatan Tanam	= 143 pohon/ha
Umur Panen	= 28-30 bulan
Adaptasi pada daerah marjinal	= Sangat baik (daya adaptasi luas)

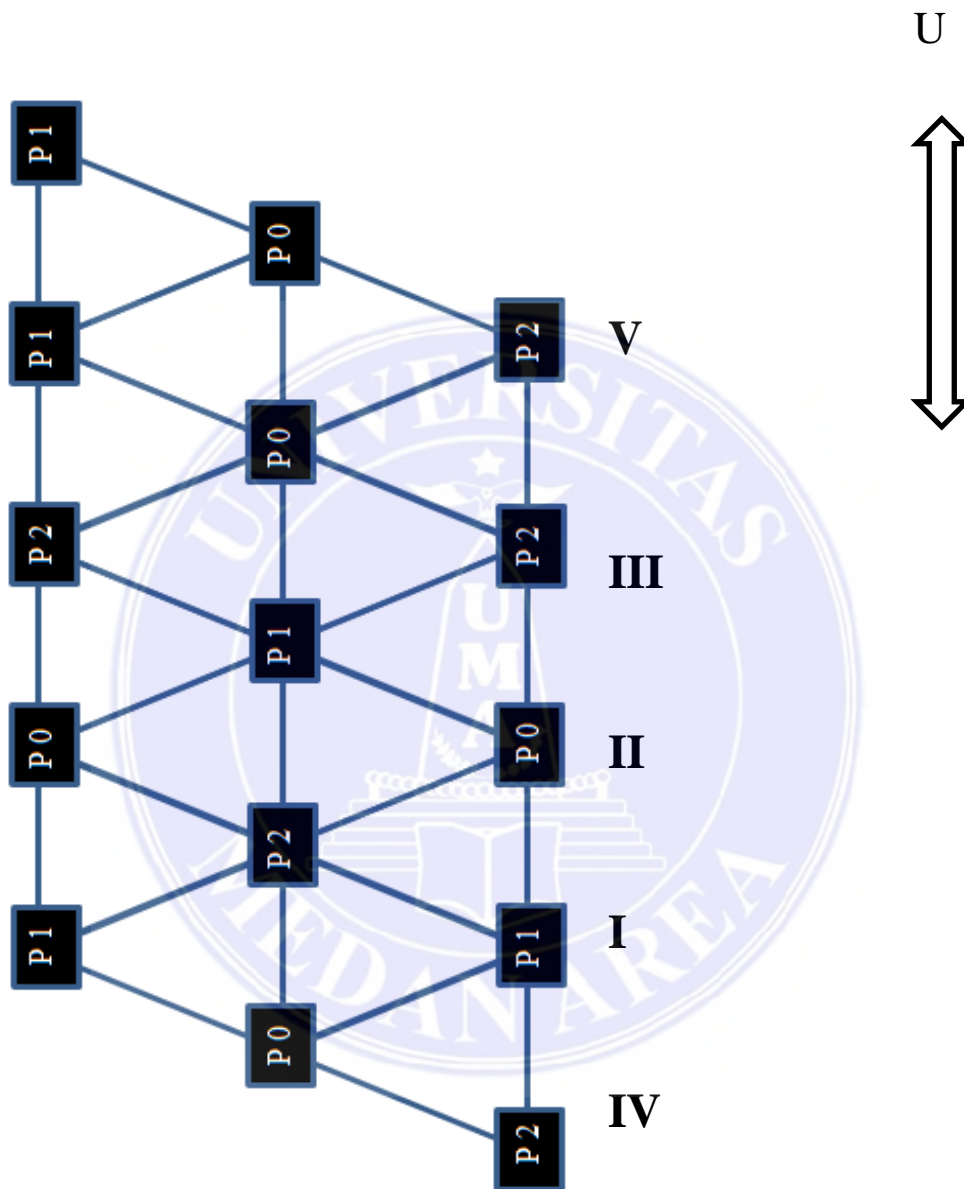
Lampiran 3. Bagan Penelitian Pada Pembibitan



Keterangan : A : Jarak antar plot 20 cm

B : Jarak antar ulangan 50 cm

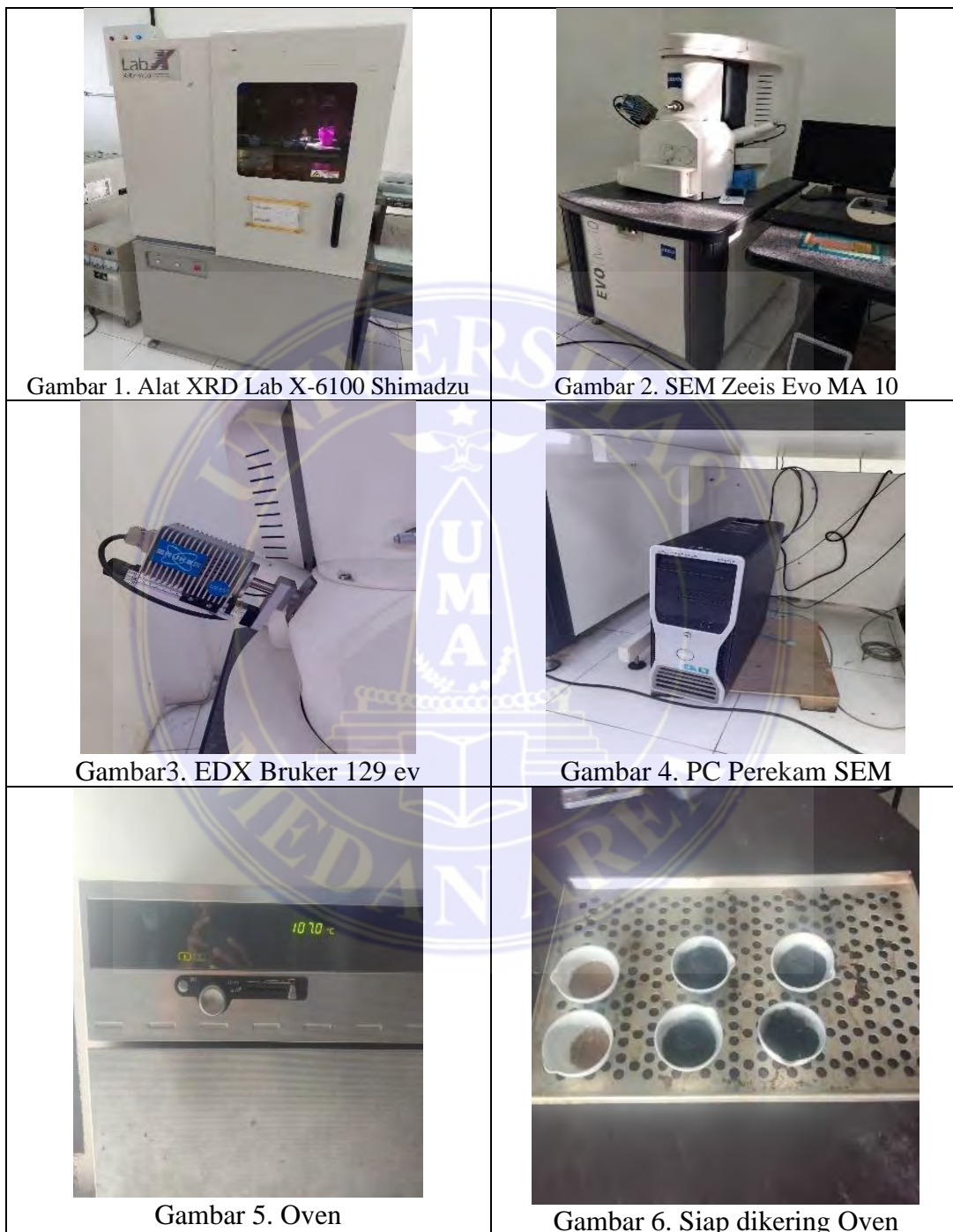
Lampiran 4. Denah Penelitian Pada Tanaman Menghasilkan



## Lampiran 5. Data Curah Hujan Daerah Penelitian Periode 2020-2023.

Tahun :2020													
Uraian	Tahun												Total
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des	
Curah hujan (mm)	50	72	195	212	280	116	212	123	224	190	454	285	2413
Hari hujan (hari)	6	7	10	13	14	11	17	9	13	13	21	18	152
Terpjt. tdk hujan (hari)	9	8	4	8	3	5	2	10	5	7	4	3	68
Cadangan awal (mm)	200	0	0	45	137	200	196	200	0	104	174	200	1456
Evapotranspiration (mm)	150	150	150	120	120	120	120	150	120	120	120	120	1560
Keseimbangan (mm)	100	-78	45	137	297	196	288	173	104	174	508	365	2309
Cadangan akhir (mm)	100	0	45	137	200	196	200	173	104	174	200	200	1729
Kelebihan air (mm)	0	0	0	0	97	0	88	0	0	0	308	165	658
Defisit air (mm)	0	78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78
Tahun :2021													
Uraian	Tahun												Total
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des	
Curah hujan (mm)	241	56	357	141	411	273	321	348	251	347	514	206	3465
Hari hujan (hari)	15	6	14	13	21	15	12	20	12	14	23	10	175
Terpjt. tdk hujan (hari)	4	17	5	5	3	3	7	8	3	11	2	9	77
Cadangan awal (mm)	200	0	0	200	200	200	200	200	0	131	200	200	1731
Evapotranspiration (mm)	120	150	120	120	120	120	120	120	120	120	120	150	1500
Keseimbangan (mm)	321	-94	237	221	491	353	401	428	131	358	594	256	3696
Cadangan akhir (mm)	200	0	200	200	200	200	200	200	131	200	200	200	2131
Kelebihan air (mm)	121	0	37	21	291	153	201	228	0	158	394	56	1659
Defisit air (mm)	0	94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94
Tahun :2022													
Uraian	Tahun												Total
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des	
Curah hujan (mm)	211	110	395	598	105	217	155	245	190	147	298	376	3047
Hari hujan (hari)	13	14	15	21	14	17	8	14	17	19	20	20	192
Terpjt. tdk hujan (hari)	5	4	6	3	4	3	5	3	2	3	5	2	45
Cadangan awal (mm)	200	0	0	200	200	185	200	200	0	70	97	200	1552
Evapotranspiration (mm)	120	120	120	120	120	120	150	120	120	120	120	120	1470
Keseimbangan (mm)	291	-10	275	678	185	282	205	325	70	97	275	456	3129
Cadangan akhir (mm)	200	0	200	200	185	200	200	200	70	97	200	200	1952
Kelebihan air (mm)	91	0	75	478	0	82	5	125	0	0	75	256	1187
Defisit air (mm)	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10

## Lampiran 6. Foto-Foto Pelaksanaan Penelitian

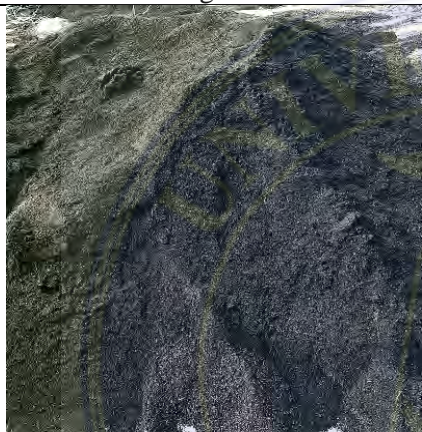




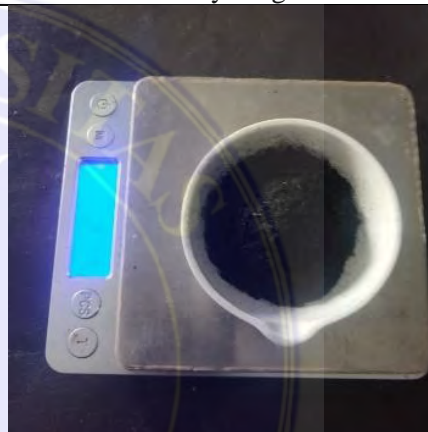
Gambar 7. Penghalusan Biochar



Gambar 8. Penyaringan Biochar



Gambar 9. Biochar Halus



Gambar 10. Penimbangan Biochar



Gambar 11. Penanaman Kecambah



Gambar 12. Pengukuran Pertumbuhan Bibit



Gambar 13. Batang Kelapa Sawit



Gambar 14. Pengangkutan BKS



Gambar 15. Pengeringan BKS



Gambar 16. Biochar Hasil Pirolisis



Gambar 17. Penghalus Biochar



Gambar 18. Penyaringan Biochar



Gambar 19. Biochar untuk diaplikasikan



Gambar 20. Penimbangan biochar



Gambar 21. Sesuai Perlakuan



Gambar 22. Aplikasi Biochar



Gambar 23. Setelah diaplikasi Biochar



Gambar 24. Ulangan 1 Tanpa Biochar



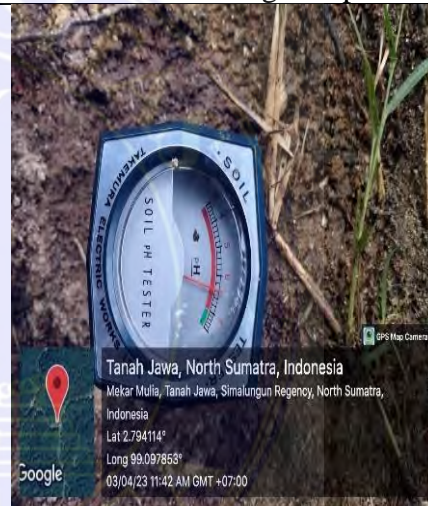
Gambar 25. Ulangan 2 Biochar 1%



Gambar 26. Ring Sampler



Gambar 27. Ring Sampler Siap Kirim



Gambar 28. Pengamatan pH tanah



Gambar 29. Pelepasan Brondolan



Gambar 30. Penimbangan Brondolan



BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL  
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA  
GEOLOGI, MINERAL DAN BATUBARA

**LABORATORIUM PENGUJIAN**  
**BALAI PENDIDIKAN DAN PELATIHAN TAMBANG BAWAH TANAH**  
JALAN SOEKARNO HATTA DURIAN II, SAWAHLUNTO - SUMATERA BARAT

TELEPON : (0754) 61604 / HP:08217770417      website : bdtbt.esdm.go.id      e-mail : lab.bdtbt@esdm.go.id

**SERTIFIKAT ANALISIS**  
**(Certificate of Analysis)**  
**NO. RA/043/09/2021**

**Tanggal/** : 16 September 2021  
*Date*

**Dibuat untuk/** : Ebsan Marihot Sianipar  
*Certified for*

**Alamat/** : Universitas Methodist Indonesia.  
*Address* Jl. Harmonika Baru, Tanjung Sari Medan 20132

**Jenis Sampel/** : Arang dari Batang Kelapa Sawit /  
*Type of Sample* Charcoal from oil palm trunk

**Kode Sampel/** : BT  
*Code of Sample*

**Asal Sampel/** : Medan  
*Origin of Sample*

**Sifat dan Kondisi Sampel/** : ≤ 4.75 mm, Kering, Dalam kemasan kedap uap air /  
*Description of Sample* ≤ 4.75 mm, Dry, In vapour resistance container

**Tanggal Penerimaan Sampel/** : 09 September 2021  
*Date of Sample Reception*

**Tanggal Pelaksanaan Analisis /** : 15 – 16 September 2021  
*Date of Analysis*

**HASIL ANALISIS / ANALYSIS RESULTS:**

Parameter Uji/ Testing Parameter	Adb	DB	Satuan/ Unit	StandarAcuan / Reference Standards
<i>Inherent Moisture</i>	5.22	-	%	ASTM D1762-84
<i>Ash Content</i>	10.27	10.84	%	ASTM D1762-84
<i>Volatile Matter</i>	29.60	31.23	%	ASTM D1762-84
<i>Fixed Carbon*</i>	54.91	57.93	%	ASTM D3172-17
<i>Sulfur</i>	0.35	0.36	%	ASTM D 4239-17 combustion method A (1350°C)
<i>Carbon</i>	63.80	67.31	%	ASTM D3178-98 ASTM D3179-02
<i>Hidrogen</i>	4.54	4.79	%	
<i>Nitrogen</i>	4.62	4.87	%	

*Keterangan / Explanation:*  
\*Diluar lingkup akreditasi ISO/IEC 17025:2005 / Out of scope ISO/IEC 17025:2017  
- DB (Dry Basis)  
- Adb (As determined basis)

Kepala  
  
Syaiful Anwar, ST

*Catatan/Notes :*

- Hasil analisis ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji  
*This analysis result are valid only for the tested samples*
- Sertifikat ini tidak boleh diperbanyak (digandakan) tanpa izin dari Manajer Teknis  
*This Certificate shall not be reproduced or duplicated without a written permission of The Technical Manager*

043-1

Sartek/LP/FR-07.08-01



BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL  
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA  
GEOLOGI, MINERAL DAN BATUBARA  
**LABORATORIUM PENGUJIAN**  
BALAI PENDIDIKAN DAN PELATIHAN TAMBANG BAWAH TANAH  
JALAN SOEKARNO HATTA DURIAN II, SAWAHLUNTO - SUMATERA BARAT



---

TELEPON : (0754) 61604 / HP:08217770417      website : bdtbt.esdm.go.id      e-mail : lab.bdtbt@esdm.go.id

### SERTIFIKAT ANALISIS (Certificate of Analysis) NO. RA/044/09/2021

**Tanggal/** : 16 September 2021  
*Date*

**Dibuat untuk/** : Ebsan Marihot Sianipar  
*Certified for*

**Alamat/** : Universitas Methodist Indonesia.  
*Address* Jl. Harmonika Baru, Tanjung Sari Medan 20132

**Jenis Sampel/** : Arang dari Batang Kelapa Sawit /  
*Type of Sample* Charcoal from oil palm trunk

**Kode Sampel/** : BB  
*Code of Sample*

**Asal Sampel/** : Medan  
*Origin of Sample*

**Sifat dan Kondisi Sampel/** : ≤ 4.75 mm, Kering, Dalam kemasan kedap uap air /  
*Description of Sample* ≤ 4.75 mm, Dry, In vapour resistance container

**Tanggal Penerimaan Sampel/** : 09 September 2021  
*Date of Sample Receiving*

**Tanggal Pelaksanaan Analisis /** : 15 – 16 September 2021  
*Date of Analysis*

**HASIL ANALISIS / ANALYSIS RESULTS:**

Parameter Uji/ <i>Testing Parameter</i>	Adb	DB	Satuan/ <i>Unit</i>	Standar Acuan / <i>Reference Standards</i>
<i>Inherent Moisture</i>	4.54	-	%	ASTM D1762-84
<i>Ash Content</i>	7.48	7.83	%	ASTM D1762-84
<i>Volatile Matter</i>	28.75	30.12	%	ASTM D1762-84
<i>Fixed Carbon*</i>	59.23	62.05	%	ASTM D3172-17
<i>Sulfur</i>	0.24	0.25	%	ASTM D 4239-17 combustion method A (1350°C)
<i>Carbon</i>	66.07	69.21	%	ASTM D3178-98 ASTM D3179-02
<i>Hydrogen</i>	4.22	4.42	%	
<i>Nitrogen</i>	6.75	7.07	%	

*Keterangan / Explanation:*  
\*Diluar lingkup akreditasi ISO/IEC 17025:2005 / Out of scope ISO/IEC 17025:2017  
- DB (Dry Basis)  
- Adb (As determined basis)

Kepala



Syaiful Anwar, ST

**Catatan/Notes :**

- Hasil analisis ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji  
*This analysis result are valid only for the tested samples*
- Sertifikat ini tidak boleh diperbanyak (digandakan) tanpa izin dari Manajer Teknis  
*This Certificate shall not be reproduced or duplicated without a written permission of The Technical Manager*

044-1

Sartek/LP/FR-07.08-01



BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL  
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA  
GEOLOGI, MINERAL DAN BATUBARA  
**LABORATORIUM PENGUJIAN**  
BALAI PENDIDIKAN DAN PELATIHAN TAMBANG BAWAH TANAH  
JALAN SOEKARNO HATTA DURIAN II, SAWAHLUNTO - SUMATERA BARAT

TELEPON : (0754) 61604 / HP:08217770417      website : bdtbt.esdm.go.id      e-mail : lab.bdtbt@esdm.go.id



## SERTIFIKAT ANALISIS (Certificate of Analysis) NO. RA/045/09/2021

**Tanggal/** : 16 September 2021  
*Date*

**Dibuat untuk/** : Ebsan Marihot Sianipar  
*Certified for*

**Alamat/** : Universitas Methodist Indonesia.  
*Address* Jl. Harmonika Baru, Tanjung Sari Medan 20132

**Jenis Sampel/** : Arang dari Batang Kelapa Sawit /  
*Type of Sample* Charcoal from oil palm trunk

**Kode Sampel/** : BC  
*Code of Sample*

**Asal Sampel/** : Medan  
*Origin of Sample*

**Sifat dan Kondisi Sampel/** : ≤ 4.75 mm, Kering, Dalam kemasan kedap uap air /  
*Description of Sample* ≤ 4.75 mm, Dry, In vapour resistance container

**Tanggal Penerimaan Sampel/** : 09 September 2021  
*Date of Sample Receiving*

**Tanggal Pelaksanaan Analisis /** : 15 – 16 September 2021  
*Date of Analysis*

**HASIL ANALISIS / ANALYSIS RESULTS:**

Parameter Uji/ <i>Testing Parameter</i>	Adb	DB	Satuan/ <i>Unit</i>	StandarAcuan / <i>Reference Standards</i>
<i>Inherent Moisture</i>	3.17	-	%	ASTM D1762-84
<i>Ash Content</i>	8.28	8.55	%	ASTM D1762-84
<i>Volatile Matter</i>	25.31	26.14	%	ASTM D1762-84
<i>Fixed Carbon*</i>	63.24	65.31	%	ASTM D3172-17
<i>Sulfur</i>	0.32	0.33	%	ASTM D 4239-17 combustion method A (1350°C)
<i>Carbon</i>	69.55	71.83	%	ASTM D3178-98 ASTM D3179-02
<i>Hidrogen</i>	4.01	4.14	%	
<i>Nitrogen</i>	8.53	8.81	%	

*Keterangan / Explanation:*  
\*Diluar lingkup akreditasi ISO/IEC 17025:2005 / Out of scope ISO/IEC 17025:2017  
- DB (Dry Basis)  
- Adb (As determined basis)

Kepala

  
Syaiful Anwar, ST

**Catatan/Notes :**

- Hasil analisis ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji  
*This analysis result are valid only for the tested samples*
- Sertifikat ini tidak boleh diperbanyak (digandakan) tanpa izin dari Manajer Teknis  
*This Certificate shall not be reproduced or duplicated without a written permission of The Technical Manager*

045-1

Sartek/LP/FR-07.08-01



BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL  
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA  
GEOLOGI, MINERAL DAN BATUBARA

**LABORATORIUM PENGUJIAN**

**BALAI PENDIDIKAN DAN PELATIHAN TAMBANG BAWAH TANAH**

JALAN SOEKARNO HATTA DURIAN II, SAWAHLUNTO - SUMATERA BARAT

TELEPON : (0754) 61604 / HP:08217770417      website : bdtbt.esdm.go.id      e-mail : lab.bdtbt@esdm.go.id



**SERTIFIKAT ANALISIS**  
*(Certificate of Analysis)*  
**NO. RA/046/09/2021**

**Tanggal/** : 16 September 2021  
*Date*

**Dibuat untuk/** : Ebsan Marihot Sianipar  
*Certified for*

**Alamat/** : Universitas Methodist Indonesia.  
*Address* Jl. Harmonika Baru, Tanjung Sari Medan 20132

**Jenis Sampel/** : Arang dari Batang Kelapa Sawit /  
*Type of Sample* Charcoal from oil palm trunk

**Kode Sampel/** : BA  
*Code of Sample*

**Asal Sampel/** : Medan  
*Origin of Sample*

**Sifat dan Kondisi Sampel/** : ≤ 4.75 mm, Kering, Dalam kemasan kedap uap air /  
*Description of Sample* ≤ 4.75 mm, Dry, In vapour resistance container

**Tanggal Penerimaan Sampel/** : 09 September 2021  
*Date of Sample Receiving*

**Tanggal Pelaksanaan Analisis /** : 15 – 16 September 2021  
*Date of Analysis*

**HASIL ANALISIS / ANALYSIS RESULTS:**

Parameter Uji/ <i>Testing Parameter</i>	Adb	DB	Satuan/ <i>Unit</i>	StandarAcuan / <i>Reference Standards</i>
<i>Inherent Moisture</i>	6.07	-	%	ASTM D1762-84
<i>Ash Content</i>	11.60	12.34	%	ASTM D1762-84
<i>Volatile Matter</i>	31.30	33.32	%	ASTM D1762-84
<i>Fixed Carbon*</i>	51.04	54.34	%	ASTM D3172-17
<i>Sulfur</i>	0.30	0.32	%	ASTM D 4239-17 combustion method A (1350°C)
<i>Carbon</i>	61.51	65.49	%	ASTM D3178-98 ASTM D3179-02
<i>Hidrogen</i>	4.16	4.43	%	
<i>Nitrogen</i>	4.17	4.44	%	

*Keterangan / Explanation:*  
\*Diluar lingkup akreditasi ISO/IEC 17025:2005 / Out of scope ISO/IEC 17025:2017  
- DB (Dry Basis)  
- Adb (As determined basis)

Kepala



Syaiful Anwar, ST

Catatan/Notes :

- Hasil analisis ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji  
*This analysis result are valid only for the tested samples*
- Sertifikat ini tidak boleh diperbanyak (digandakan) tanpa izin dari Manajer Teknis  
*This Certificate shall not be reproduced or duplicated without a written permission of The Technical Manager*

046-1

Sartek/LP/FR-07.08-01

## Lampiran 8. Perhitungan Statistik Excel Penelitian di Pembibitan

Tabel 1. Data Tinggi Tanaman 3 MST

Perlakuan	Ulangan			Total	Rataan	Standard Deviasi
	I	II	III			
B <sub>0</sub>	3,6	2,9	4	10,50	3,50	0,56
B <sub>1</sub>	4,1	3,8	2,8	10,70	3,57	0,68
B <sub>2</sub>	4,5	2,9	3,2	10,60	3,53	0,85
B <sub>3</sub>	3,2	3,5	4,3	11,00	3,67	0,57
B <sub>4</sub>	4,1	3,9	2,8	10,80	3,60	0,70
B <sub>5</sub>	3,5	4,2	2,9	10,60	3,53	0,65
B <sub>6</sub>	3,9	2,9	4,1	10,90	3,63	0,64
B <sub>7</sub>	4,3	3,6	2,8	10,70	3,57	0,75
B <sub>8</sub>	3,5	4,4	2,9	10,80	3,60	0,75
B <sub>9</sub>	3,3	4,2	3	10,50	3,50	0,62
B <sub>10</sub>	2,9	3,7	4,2	10,80	3,60	0,66
B <sub>11</sub>	3,8	2,9	4,1	10,80	3,60	0,62
B <sub>12</sub>	3	4,4	3,5	10,90	3,63	0,71
Total	47,7	47,3	44,6	139,60		
Rataan	3,67	3,64	3,43	10,74	3,58	

Tabel 2. Data Tinggi Tanaman 6 MST

Perlakuan	Ulangan			Total	Rataan	Standard Deviasi
	I	II	III			
B <sub>0</sub>	9,8	9,6	11,1	30,50	10,17	0,81
B <sub>1</sub>	11,3	10,8	9,7	31,80	10,60	0,82
B <sub>2</sub>	12,5	11,1	11,9	35,50	11,83	0,70
B <sub>3</sub>	11,5	11,8	12,3	35,60	11,87	0,40
B <sub>4</sub>	12,1	12,6	10,9	35,60	11,87	0,87
B <sub>5</sub>	10,4	11,4	10,1	31,90	10,63	0,68
B <sub>6</sub>	12,1	11,2	12,2	35,50	11,83	0,55
B <sub>7</sub>	13	11,7	10,8	35,50	11,83	1,11
B <sub>8</sub>	11,6	12,8	11,5	35,90	11,97	0,72
B <sub>9</sub>	11,1	12,1	10,2	33,40	11,13	0,95
B <sub>10</sub>	10,9	12,1	12,5	35,50	11,83	0,83
B <sub>11</sub>	11,8	10,9	12,9	35,60	11,87	1,00
B <sub>12</sub>	11,2	12,6	11,8	35,60	11,87	0,70
Total	149,3	150,7	147,9	447,90		
Rataan	11,48462	11,59231	11,37692	34,45	11,48	

Tabel 3. Data Tinggi Tanaman 9 MST

Perlakuan	Ulangan			Total	Rataan	Standard Deviasi
	I	II	III			
B <sub>0</sub>	17,6	16,7	18,1	52,40	17,47	0,71
B <sub>1</sub>	19,8	19,5	18,2	57,50	19,17	0,85
B <sub>2</sub>	22,6	19,9	20,9	63,40	21,13	1,37
B <sub>3</sub>	20,2	21,3	21,7	63,20	21,07	0,78
B <sub>4</sub>	21,9	20,8	20,4	63,10	21,03	0,78
B <sub>5</sub>	18,2	20,4	18,8	57,40	19,13	1,14
B <sub>6</sub>	20,7	19,3	21,9	61,90	20,63	1,30
B <sub>7</sub>	21,4	19,8	21,1	62,30	20,77	0,85
B <sub>8</sub>	21,7	20,9	19,8	62,40	20,80	0,95
B <sub>9</sub>	19,1	20,7	18,1	57,90	19,30	1,31
B <sub>10</sub>	20,1	20,6	22,4	63,10	21,03	1,21
B <sub>11</sub>	20,2	19,4	21,8	61,40	20,47	1,22
B <sub>12</sub>	18,8	21,1	22,1	62,00	20,67	1,69
Total	262,3	260,4	265,3	788,00		
Rataan	20,17692	20,03077	20,40769	60,62	20,21	

Tabel 4. Data Tinggi Tanaman 12 MST

Perlakuan	Ulangan			Total	Rataan	Standard Deviasi
	I	II	III			
B <sub>0</sub>	25,5	23,8	25,3	74,60	24,87	0,93
B <sub>1</sub>	27,8	28,2	26,9	82,90	27,63	0,67
B <sub>2</sub>	32,6	28,5	30,4	91,50	30,50	2,05
B <sub>3</sub>	28,9	29,5	32	90,40	30,13	1,64
B <sub>4</sub>	31,9	29,9	28,4	90,20	30,07	1,76
B <sub>5</sub>	26,4	29,8	27,1	83,30	27,77	1,80
B <sub>6</sub>	29,3	27,6	31,8	88,70	29,57	2,11
B <sub>7</sub>	29,5	28,1	30,6	88,20	29,40	1,25
B <sub>8</sub>	30,7	29,2	28,3	88,20	29,40	1,21
B <sub>9</sub>	27,1	30,1	26,1	83,30	27,77	2,08
B <sub>10</sub>	27,6	29,2	31,7	88,50	29,50	2,07
B <sub>11</sub>	29,1	28,5	30,9	88,50	29,50	1,25
B <sub>12</sub>	27,8	29,1	30,8	87,70	29,23	1,50
Total	374,2	371,5	380,3	1126,00		
Rataan	28,78462	28,57692	29,25385	86,62	28,87	

Tabel 5. Data Berat Kering Akar

Perlakuan	Ulangan			Total	Rataan	Standard Deviasi
	I	II	II			
B0	0,86	0,76	0,91	2,53	0,84	0,08
B1	0,9	0,89	0,99	2,78	0,93	0,06
B2	1,35	1,29	1,15	3,79	1,26	0,10
B3	1,28	1,34	1,17	3,79	1,26	0,09
B4	1,18	1,35	1,24	3,77	1,26	0,09
B5	0,91	1,03	0,84	2,78	0,93	0,10
B6	1,14	1,35	1,26	3,75	1,25	0,11
B7	1,34	1,24	1,16	3,74	1,25	0,09
B8	1,18	1,34	1,23	3,75	1,25	0,08
B9	0,84	0,91	1,06	2,81	0,94	0,11
B10	1,14	1,33	1,28	3,75	1,25	0,10
B11	1,19	1,23	1,34	3,76	1,25	0,08
B12	1,27	1,33	1,16	3,76	1,25	0,09
Total	14,58	15,39	14,79	44,76		
Rataan	1,121538	1,183846	1,137692	3,443077	1,147692	

Tabel 6. Data Berat Kering Tajuk

Perlakuan	Ulangan			Total	Rataan	Standard Deviasi
	I	II	III			
B0	1,62	1,64	1,79	5,05	1,68	0,09
B1	1,81	1,86	1,95	5,62	1,87	0,07
B2	2,99	2,91	2,82	8,72	2,91	0,09
B3	2,89	2,99	2,83	8,71	2,90	0,08
B4	2,84	3,00	2,86	8,7	2,90	0,09
B5	1,85	1,99	1,79	5,63	1,88	0,10
B6	2,78	2,99	2,92	8,69	2,90	0,11
B7	2,98	2,89	2,81	8,68	2,89	0,09
B8	2,84	3,00	2,87	8,71	2,90	0,09
B9	1,80	1,85	2,01	5,66	1,89	0,11
B10	2,80	2,99	2,89	8,68	2,89	0,10
B11	2,83	2,89	2,98	8,7	2,90	0,08
B12	2,89	2,99	2,81	8,69	2,90	0,09
Total	32,92	33,99	33,33	100,24		
Rataan	2,53	2,61	2,56	7,71	2,57	

Tabel 7. Data Berat Kering Tanaman

Perlakuan	Ulangan			Total	Rataan	Standard Deviasi
	I	II	III			
B0	2,48	2,40	2,70	7,58	2,53	0,16
B1	2,71	2,75	2,94	8,4	2,80	0,12
B2	4,34	4,20	3,97	12,51	4,17	0,19
B3	4,17	4,33	4,00	12,5	4,17	0,17
B4	4,02	4,35	4,10	12,47	4,16	0,17
B5	2,76	3,02	2,63	8,41	2,80	0,20
B6	3,92	4,34	4,18	12,44	4,15	0,21
B7	4,32	4,13	3,97	12,42	4,14	0,18
B8	4,02	4,34	4,10	12,46	4,15	0,17
B9	2,64	2,76	3,07	8,47	2,82	0,22
B10	3,94	4,32	4,17	12,43	4,14	0,19
B11	4,02	4,12	4,32	12,46	4,15	0,15
B12	4,16	4,32	3,97	12,45	4,15	0,18
Total	47,50	49,38	48,12	145,00		
Rataan	3,65	3,80	3,70	11,15	3,72	

Tabel 8. Data Rasio Tajuk:Akar

Perlakuan	Ulangan			Total	Rataan	Standar Deviasi
	I	II	II			
B0	1,88	2,16	1,97	6,01	2,00	0,14
B1	2,01	2,09	1,97	6,07	2,02	0,06
B2	2,21	2,26	2,45	6,92	2,31	0,13
B3	2,26	2,23	2,42	6,91	2,30	0,10
B4	2,41	2,22	2,31	6,94	2,31	0,09
B5	2,03	1,93	2,13	6,10	2,03	0,10
B6	2,44	2,21	2,32	6,97	2,32	0,11
B7	2,22	2,33	2,42	6,98	2,33	0,10
B8	2,41	2,24	2,33	6,98	2,33	0,08
B9	2,14	2,03	1,90	6,07	2,02	0,12
B10	2,46	2,25	2,26	6,96	2,32	0,12
B11	2,38	2,35	2,22	6,95	2,32	0,08
B12	2,28	2,25	2,42	6,95	2,32	0,09
Total	29,13	28,55	29,12	86,80		
Rataan	2,24	2,20	2,24	6,68	2,23	

Tabel 9. Data Kandungan N-total Tanah (%)

Perlakuan	Ulangan			Total	Rataan	Standard Deviasi
	I	II	III			
B0	0,39	0,35	0,37	1,11	0,37	0,02
B1	0,48	0,41	0,44	1,33	0,44	0,04
B2	0,48	0,44	0,5	1,42	0,47	0,03
B3	0,5	0,44	0,49	1,43	0,48	0,03
B4	0,45	0,51	0,49	1,45	0,48	0,03
B5	0,39	0,47	0,45	1,31	0,44	0,04
B6	0,46	0,52	0,48	1,46	0,49	0,03
B7	0,45	0,48	0,42	1,35	0,45	0,03
B8	0,49	0,41	0,48	1,38	0,46	0,04
B9	0,48	0,41	0,44	1,33	0,44	0,04
B10	0,47	0,42	0,49	1,38	0,46	0,04
B11	0,45	0,42	0,49	1,36	0,45	0,04
B12	0,5	0,43	0,47	1,4	0,47	0,04
Total	5,99	5,71	6,01	17,71		
Rataan	0,46	0,44	0,46	1,36	0,45	

Tabel 10. Data Kandungan P-Total (%)

Perlakuan	Perlakuan			Total	Rataan	Standard Deviasi
	I	II	III			
B0	0,25	0,19	0,24	0,68	0,23	0,03
B1	0,28	0,25	0,29	0,82	0,27	0,02
B2	0,26	0,29	0,31	0,86	0,29	0,03
B3	0,32	0,35	0,31	0,98	0,33	0,02
B4	0,43	0,39	0,37	1,19	0,40	0,03
B5	0,28	0,21	0,26	0,75	0,25	0,04
B6	0,32	0,3	0,33	0,95	0,32	0,02
B7	0,33	0,36	0,35	1,04	0,35	0,02
B8	0,36	0,35	0,39	1,1	0,37	0,02
B9	0,27	0,22	0,25	0,74	0,25	0,03
B10	0,3	0,26	0,29	0,85	0,28	0,02
B11	0,35	0,37	0,33	1,05	0,35	0,02
B12	0,35	0,31	0,37	1,03	0,34	0,03
Total	4,1	3,85	4,09	12,04		
Rataan	0,32	0,30	0,31	0,93	0,31	

Tabel 11. Data Kandungan K-total Tanah

Perlakuan	Ulangan			Total	Rataan	Standard Deviasi
	I	II	III			
B0	0,09	0,04	0,05	0,18	0,06	0,03
B1	0,08	0,09	0,11	0,28	0,09	0,02
B2	0,09	0,13	0,1	0,32	0,11	0,02
B3	0,13	0,09	0,12	0,34	0,11	0,02
B4	0,11	0,09	0,13	0,33	0,11	0,02
B5	0,08	0,07	0,1	0,25	0,08	0,02
B6	0,09	0,13	0,12	0,34	0,11	0,02
B7	0,12	0,1	0,13	0,345	0,12	0,01
B8	0,15	0,15	0,11	0,41	0,14	0,02
B9	0,09	0,08	0,11	0,28	0,09	0,02
B10	0,1	0,08	0,11	0,29	0,10	0,02
B11	0,12	0,09	0,12	0,33	0,11	0,02
B12	0,15	0,08	0,11	0,34	0,11	0,04
Total	1,4	1,22	1,415	4,035		
Rataan	0,11	0,09	0,11	0,31	0,10	

Tabel 12. Data Serapan N (mg/tanaman)

Perlakuan	Ulangan			Total	Rataan	Standard Deviasi
	I	II	III			
B0	62,992	56,880	70,740	190,61	63,54	6,95
B1	73,441	72,875	77,616	223,93	74,64	2,59
B2	114,576	112,980	109,572	337,13	112,38	2,56
B3	112,173	116,910	112,000	341,08	113,69	2,79
B4	107,334	122,235	109,880	339,45	113,15	7,97
B5	76,176	78,822	68,906	223,90	74,63	5,13
B6	105,448	119,350	109,516	334,31	111,44	7,15
B7	114,480	115,640	105,602	335,72	111,91	5,49
B8	106,128	116,312	113,980	336,42	112,14	5,34
B9	68,904	74,244	78,592	221,74	73,91	4,85
B10	102,046	117,504	109,254	328,80	109,60	7,73
B11	103,716	110,828	114,480	329,02	109,67	5,47
B12	111,904	115,344	102,426	329,67	109,89	6,69
Total	1259,32	1329,92	1282,56	3871,81		
Rataan	96,87	102,30	98,66	297,83	99,28	

Tabel 13. Data Serapan P

Perlakuan	Ulangan			Total	Rataan	Standard Deviasi
	I	II	III			
B0	3,97	3,36	4,05	11,38	3,793	0,38
B1	4,34	4,68	5,29	14,30	4,768	0,48
B2	7,81	7,98	7,54	23,34	7,778	0,22
B3	7,51	8,23	7,60	23,33	7,778	0,39
B4	7,64	7,83	7,79	23,26	7,753	0,10
B5	4,97	4,83	4,21	14,01	4,669	0,41
B6	6,27	7,81	7,94	22,03	7,342	0,93
B7	7,34	7,43	7,54	22,32	7,440	0,10
B8	7,64	7,81	6,97	22,42	7,473	0,44
B9	4,22	4,42	5,22	13,86	4,620	0,53
B10	7,09	7,34	7,92	22,36	7,453	0,43
B11	7,64	7,42	7,34	22,40	7,466	0,15
B12	7,90	7,78	6,75	22,43	7,476	0,63
Total	84,34	86,91	86,17	257,43		
Rataan	6,49	6,69	6,63	19,80	6,60	

Tabel 14. Data Serapan K

Perlakuan	Ulangan			Total	Rataan	Standar Deviasi
	I	II	III			
B0	39,43	40,32	46,98	126,73	42,24	4,13
B1	55,01	54,45	56,15	165,62	55,21	0,87
B2	87,23	83,58	83,77	254,58	84,86	2,06
B3	82,98	85,30	85,60	253,88	84,63	1,43
B4	84,82	83,96	84,05	252,83	84,28	0,48
B5	54,65	58,59	48,39	161,63	53,88	5,14
B6	81,93	91,14	81,93	255,00	85,00	5,32
B7	89,86	79,30	79,00	248,16	82,72	6,18
B8	78,79	91,14	85,28	255,21	85,07	6,18
B9	53,86	54,65	58,94	167,45	55,82	2,74
B10	78,01	91,15	80,06	249,23	83,08	7,07
B11	80,80	80,75	90,72	252,27	84,09	5,74
B12	84,03	85,10	82,58	251,71	83,90	1,27
Total	951,41	979,43	963,46	2894,29		
Rataan	73,19	75,34	74,11	222,64	74,21	

## Lampiran 9. SPSS Out Put Penelitian di Pembibitan

Tabel 1. Analisis sidik ragam tinggi tanaman 3 mst

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,534 <sup>a</sup>	14	,038	,079	1,000
Intercept	499,696	1	499,696	1038,399	,000
PERLAKUAN	,097	12	,008	,017	1,000
KELOMPOK	,437	2	,219	,455	,640
Error	11,549	24	,481		
Total	511,780	39			
Corrected Total	12,084	38			

a. R Squared = ,044 (Adjusted R Squared = -,513)

Tabel 2. Analisis sidik ragam tinggi tanaman 6 mst

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	14,312 <sup>a</sup>	14	1,022	1,494	,187
Intercept	5143,959	1	5143,959	7519,281	,000
PERLAKUAN	14,011	12	1,168	1,707	,128
KELOMPOK	,302	2	,151	,220	,804
Error	16,418	24	,684		
Total	5174,690	39			
Corrected Total	30,731	38			

a. R Squared = ,466 (Adjusted R Squared = ,154)

Tabel 3. Analisis sidik ragam tinggi tanaman 9 mst

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	43,989 <sup>a</sup>	14	3,142	2,463	,025
Intercept	15949,941	1	15949,941	12501,586	,000
PERLAKUAN	42,849	12	3,571	2,799	,015
KELOMPOK	1,140	2	,570	,447	,645
Error	30,620	24	1,276		
Total	16024,550	39			
Corrected Total	74,609	38			

a. R Squared = ,590 (Adjusted R Squared = ,350)

Lampiran 1. Lanjutan

Tabel 4. Uji Duncan tinggi tanaman 9 mst

Perlakuan	Subset	
	1	2
B0	17,4667	
B5	19,1333	19,1333
B1	19,1667	19,1667
B9		19,5333
B11		20,4667
B6		20,6333
B12		20,6667
B7		20,7667
B8		20,8000
B4		21,0333
B10		21,0333
B3		21,0667
B2		21,1333
Sig.	,093	,077

Tabel 5. Analisis sidik ragam tinggi tanaman 12 mst

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	86,072 <sup>a</sup>	14	6,148	2,243	,040
Intercept	32509,641	1	32509,641	11860,023	,000
PERLAKUAN	82,946	12	6,912	2,522	,026
KELOMPOK	3,127	2	1,563	,570	,573
Error	65,787	24	2,741		
Total	32661,500	39			
Corrected Total	151,859	38			

a. R Squared = ,567 (Adjusted R Squared = ,314)

Tabel 6. Uji Duncan tinggi tanaman 12 mst

Perlakuan	Subset	
	1	2
B0	24,8667	
B1	27,6333	27,6333
B5	27,7667	27,7667
B9	27,7667	27,7667
B12		29,2333
B8		29,4000
B7		29,4000
B10		29,5000
B11		29,5000
B6		29,5667
B4		30,0667
B3		30,1333
B2		30,5000
Sig.	,059	,083

Tabel 7. Analisis sidik ragam berat kering akar

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1,038 <sup>a</sup>	14	,074	9,711	,000
Intercept	51,371	1	51,371	6726,774	,000
PERLAKUAN	1,011	12	,084	11,032	,000
KELOMPOK	,027	2	,014	1,780	,190
Error	,183	24	,008		
Total	52,592	39			
Corrected Total	1,221	38			

a. R Squared = ,850 (Adjusted R Squared = ,762)

Tabel 8. Hasil uji Duncan SPSS berat kering akar

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
B0	3	,8433	
B1	3	,9267	
B5	3	,9267	
B9	3	,9367	
B7	3		1,2467
B6	3		1,2500
B8	3		1,2500
B10	3		1,2500
B11	3		1,2533
B12	3		1,2533
B4	3		1,2567
B2	3		1,2633
B3	3		1,2633
Sig.		,243	,841

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,008.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

Tabel 9. Analisis sidik ragam berat kering tajuk

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9,630 <sup>a</sup>	14	,688	98,325	,000
Intercept	257,643	1	257,643	36828,556	,000
PERLAKUAN	9,585	12	,799	114,179	,000
KELOMPOK	,045	2	,022	3,205	,058
Error	,168	24	,007		
Total	267,440	39			
Corrected Total	9,798	38			

a. R Squared = ,983 (Adjusted R Squared = ,973)

Tabel 10. Hasil uji Duncan SPSS berat kering tajuk (g)

Duncan

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
B0	3	1,6833		
B1	3		1,8733	
B5	3		1,8767	
B9	3		1,8867	
B7	3			2,8933
B10	3			2,8933
B6	3			2,8967
B12	3			2,8967
B4	3			2,9000
B11	3			2,9000
B8	3			2,9033
B3	3			2,9033
B2	3			2,9067
Sig.		1,000	,856	,867

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,007.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

Tabel 11. Analisis sidik ragam berat kering tanaman (akar + tajuk)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	16,857 <sup>a</sup>	14	1,204	84,055	,000
Intercept	543,349	1	543,349	37931,844	,000
PERLAKUAN	16,787	12	1,399	97,659	,000
KELOMPOK	,070	2	,035	2,432	,109
Error	,344	24	,014		
Total	560,550	39			
Corrected Total	17,200	38			

a. R Squared = ,980 (Adjusted R Squared = ,968)

Tabel 12. Hasil uji Duncan SPSS berat kering tanaman (g)

Duncan

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
B0	3	2,5267		
B5	3		2,8133	
B1	3		2,8300	
B9	3		2,8533	
B7	3			4,0867
B2	3			4,1167
B12	3			4,1600
B3	3			4,1667
B10	3			4,1867
B8	3			4,1933
B11	3			4,1933
B6	3			4,1967
B4	3			4,2000
Sig.		1,000	,704	,326

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,014.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

Tabel 13. Analisis sidik ragam rasio tajuk:akar

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,715 <sup>a</sup>	14	,051	9,141	,000
Intercept	192,963	1	192,963	34527,528	,000
PERLAKUAN	,714	12	,059	10,641	,000
KELOMPOK	,002	2	,001	,144	,867
Error	,134	24	,006		
Total	193,813	39			
Corrected Total	,849	38			

a. R Squared = ,842 (Adjusted R Squared = ,750)

Tabel 14. Hasil uji Duncan SPSS rasio tajuk:akar

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
B0	3	2,0100	
B1	3	2,0200	
B5	3	2,0267	
B9	3	2,0300	
B12	3		2,3067
B2	3		2,3100
B3	3		2,3100
B11	3		2,3100
B4	3		2,3133
B10	3		2,3167
B6	3		2,3200
B8	3		2,3200
B7	3		2,3233
Sig.		,768	,815

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,006.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

Tabel 15. Analisis sidik ragam kandungan N-total tanah (%)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,036 <sup>a</sup>	14	,003	2,422	,027
Intercept	8,042	1	8,042	7518,436	,000
Perlakuan	,032	12	,003	2,489	,028
Kelompok	,004	2	,002	2,023	,154
Error	,026	24	,001		
Total	8,104	39			
Corrected Total	,062	38			

a. R Squared = ,586 (Adjusted R Squared = ,344)

Tabel 16. Hasil uji Duncan SPSS kandungan N-total tanah

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
Bo	3	,3700	
B5	3		,4367
B1	3		,4433
B9	3		,4433
B7	3		,4500
B11	3		,4533
B8	3		,4600
B10	3		,4600
B12	3		,4667
B2	3		,4733
B3	3		,4767
B4	3		,4833
B6	3		,4867
Sig.		1,000	,123

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,001.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

Tabel 17. Analisis sidik ragam kandungan P-total tanah (%)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,100 <sup>a</sup>	14	,007	13,107	,000
Intercept	3,717	1	3,717	6835,125	,000
Perlakuan	,097	12	,008	14,819	,000
Kelompok	,003	2	,002	2,834	,079
Error	,013	24	,001		
Total	3,830	39			
Corrected Total	,113	38			

a. R Squared = ,884 (Adjusted R Squared = ,817)

Tabel 18. Hasil uji Duncan SPSS kandungan P-total tanah

Perlakuan	N	Subset						
		1	2	3	4	5	6	7
Bo	3	,2267						
B9	3	,2467	,2467					
B5	3	,2500	,2500					
B1	3		,2733					
B10	3		,2833	,2833				
B2	3		,2867	,2867	,2867			
B6	3			,3167	,3167	,3167		
B3	3				,3267	,3267	,3267	
B12	3					,3433	,3433	
B7	3					,3467	,3467	
B11	3					,3500	,3500	
B8	3						,3667	,3667
B4	3							,3967
Sig.		,258	,070	,110	,057	,129	,070	,128

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,001.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

Tabel 19. Analisis sidik ragam kandungan K-total tanah (%)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,014 <sup>a</sup>	14	,001	2,644	,018
Intercept	,419	1	,419	1068,517	,000
PERLAKUAN	,013	12	,001	2,687	,019
KELOMPOK	,002	2	,001	2,383	,114
Error	,009	24	,000		
Total	,442	39			
Corrected Total	,024	38			

a. R Squared = ,607 (Adjusted R Squared = ,377)

Tabel 20. Hasil uji Duncan SPSS kandungan K-total tanah (%)

Perlakuan	N	Subset			Sig.
		1	2	3	
B0	3	,0600			
B5	3	,0833	,0833		
B1	3	,0933	,0933		
B9	3	,0933	,0933		
B10	3	,0967	,0967		
B2	3		,1067		,1067
B4	3		,1100		,1100
B11	3		,1100		,1100
B3	3		,1133		,1133
B6	3		,1133		,1133
B12	3		,1133		,1133
B7	3		,1167		,1167
B8	3				,1367
Sig.		,051	,090		,120

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = 0,05.

Tabel 21. Analisis sidik ragam serapan N (mg/tanaman)

Dependent Variable: SERAPAN N

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	13719,600 <sup>a</sup>	14	979,971	35,924	,000
Intercept	384381,582	1	384381,582	14090,778	,000
PERLAKUAN	13520,407	12	1126,701	41,303	,000
KELOMPOK	199,194	2	99,597	3,651	,041
Error	654,695	24	27,279		
Total	398755,877	39			
Corrected Total	14374,295	38			

a. R Squared = ,954 (Adjusted R Squared = ,928)

Tabel 22. Hasil Uji Duncan SPSS Serapan N Tanaman

PERLAKUAN	N	Subset		
		1	2	3
B0	3	63,53733		
B9	3		73,91333	
B5	3		74,63467	
B1	3		74,64400	
B10	3			109,60133
B11	3			109,67467
B12	3			109,89133
B6	3			111,43800
B7	3			111,90733
B8	3			112,14000
B2	3			112,37600
B4	3			113,14967
B3	3			113,69433
Sig.		1,000	,873	,415

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 27,279.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

Tabel 23. Analisis Sidik Ragam Serapan P Tanaman (mg/tanaman)

Dependent Variable: SERAPAN P

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	81,964 <sup>a</sup>	14	5,855	27,327	,000
Intercept	1699,104	1	1699,104	7930,711	,000
PERLAKUAN	81,694	12	6,808	31,776	,000
KELOMPOK	,270	2	,135	,631	,541
Error	5,142	24	,214		
Total	1786,210	39			
Corrected Total	87,106	38			

a. R Squared = ,941 (Adjusted R Squared = ,907)

Tabel 24. Hasil Uji Duncan Serapan P Tanaman

PERLAKUAN		N	Subset		
			1	2	3
Duncan <sup>a,b</sup>	B0	3	3,7933		
	B9	3		4,6200	
	B5	3		4,6700	
	B1	3		4,7700	
	B6	3			7,3400
	B7	3			7,4367
	B10	3			7,4500
	B11	3			7,4667
	B8	3			7,4733
	B12	3			7,4767
	B4	3			7,7533
	B2	3			7,7767
	B3	3			7,7800
	Sig.			1,000	,712

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,214.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

Tabel 25. Analisis Sidik Ragam Serapan K Tanaman (mg/tanaman)

Dependent Variable: SERAPAN\_K

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9135,612 <sup>a</sup>	14	652,544	33,718	,000
Intercept	214791,198	1	214791,198	11098,499	,000
PERLAKUAN	9105,195	12	758,766	39,206	,000
KELOMPOK	30,417	2	15,208	,786	,467
Error	464,476	24	19,353		
Total	224391,286	39			
Corrected Total	9600,088	38			

a. R Squared = ,952 (Adjusted R Squared = ,923)

Tabel 26. Hasil Uji Duncan Serapan K Tanaman

PERLAKUAN	N	Subset		
		1	2	3
B0	3	42,2433		
B5	3		53,8767	
B1	3		55,2033	
B9	3		55,8167	
B7	3			82,7200
B10	3			83,0733
B12	3			83,9033
B11	3			84,0900
B4	3			84,2767
B3	3			84,6267
B2	3			84,8600
B6	3			85,0000
B8	3			85,0700
Sig.		1,000	,616	,576

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 19,353.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

## Lampiran 10. Perhitungan Statistik Excel Penelitian di Tanaman Menghasilkan

Tabel 1. pH (H<sub>2</sub>O) tanah

Perlakuan	Ulangan					Total	Rataan	Standard Deviasi
	I	II	III	IV	V			
B0	5,19	5,16	5,22	5,21	5,31	26,09	5,22	0,06
B1	5,76	5,69	5,81	5,98	5,87	29,11	5,82	0,11
B2	6,07	6,09	6,18	6,11	5,98	30,43	6,09	0,07
Total	17,02	16,94	17,21	17,3	17,16	85,63		
Rataan	5,67	5,65	5,74	5,77	5,72	28,54	5,71	

Tabel 2. pH (KCl) tanah

Perlakuan	Ulangan					Total	Rataan	Standard Deviasi
	I	II	III	IV	V			
B0	4,73	4,74	5,02	4,74	5,03	24,26	4,85	0,16
B1	5,09	5,11	5,38	5,1	5,52	26,2	5,24	0,20
B2	5,61	5,72	5,74	5,75	5,66	28,48	5,70	0,06
Total	15,43	15,57	16,14	15,59	16,21	78,94		
Rataan	5,14	5,19	5,38	5,20	5,40	26,31	5,26	

Tabel 3. C-Organik tanah (%)

Perlakuan	Ulangan					Total	Rataan	Standard Deviasi
	I	II	III	IV	V			
B0	1,56	1,59	1,67	1,51	1,54	7,87	1,57	0,06
B1	1,96	1,91	1,9	1,92	2,02	9,71	1,94	0,05
B2	2,24	2,17	2,22	2,25	2,14	11,02	2,20	0,05
Total	5,76	5,67	5,79	5,68	5,7	28,6		
Rataan	1,92	1,89	1,93	1,89	1,90	9,53	1,91	

Tabel 4. Kapasita Tukar Kation (KTK) tanah (Cmol/kg)

Perlakuan	Ulangan					Total	Rataan	Standard Deviasi
	I	II	III	IV	V			
B0	6,16	6,03	6,18	6,19	6,17	30,73	6,15	0,07
B1	7,61	7,81	7,76	7,87	7,79	38,84	7,77	0,10
B2	9,14	9,04	9,13	9,17	9,15	45,63	9,13	0,05
Total	22,91	22,88	23,07	23,23	23,11	115,2		
Rataan	7,64	7,63	7,69	7,74	7,70	38,40	7,68	

Tabel 5. Kejenuhan Basa (KB) tanah (%)

Perlakuan	Ulangan					Total	Rataan	Standard Deviasi
	I	II	III	IV	V			
B0	25,20	28,05	26,58	28,59	24,96	133,38	26,68	1,63
B1	30,37	29,19	31,61	31,23	30,42	152,82	30,56	0,93
B2	35,03	35,71	34,66	33,26	35,37	174,03	34,81	0,95
Total	90,6	92,95	92,85	93,08	90,75	460,23		
Rataan	30,20	30,98	30,95	31,03	30,25	153,41	30,68	

Tabel 6. P-tersedia (ppm)

Perlakuan	Ulangan					Total	Rataan	Standard Deviasi
	I	II	III	IV	V			
B0	9,23	21,13	4,5	12,81	14,13	61,8	12,36	6,16
B1	15,01	24,42	3,95	13,91	39,17	96,46	19,29	13,27
B2	15,83	25,44	11,4	29,11	28,02	109,8	21,96	7,89
Total	40,07	70,99	19,85	55,83	81,32	268,06		
Rataan	13,36	23,66	6,62	18,61	27,11	89,35	17,87	

Tabel 7. Boron (ppm)

Perlakuan	Ulangan					Total	Rataan	Standard Deviasi
	I	II	III	IV	V			
B0	0,27	0,21	0,28	0,35	0,22	1,33	0,27	0,06
B1	0,32	0,3	0,39	0,33	0,34	1,68	0,34	0,03
B2	0,52	0,35	0,43	0,55	0,4	2,25	0,45	0,08
Total	1,11	0,86	1,1	1,23	0,96	5,26		
Rataan	0,37	0,29	0,37	0,41	0,32	1,75	0,35	

Tabel 8. K-dd (Cmol/kg)

Perlakuan	Ulangan					Total	Rataan	Standard Deviasi
	I	II	III	IV	V			
B0	0,18	0,19	0,17	0,22	0,21	0,97	0,19	0,02
B1	0,25	0,29	0,28	0,29	0,28	1,39	0,28	0,02
B2	0,37	0,35	0,37	0,35	0,39	1,83	0,37	0,02
Total	0,8	0,83	0,82	0,86	0,88	4,19		
Rataan	0,27	0,28	0,27	0,29	0,29	1,40	0,28	

## Lampiran 11. Out Put SPSS Penelitian Tanaman Menghasilkan

Tabel 1. Analisis Sidik Ragam pH (H<sub>2</sub>O)

Dependent Variable: pH\_H2O

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2,098 <sup>a</sup>	6	,350	80,366	,000
Intercept	490,090	1	490,090	112621,181	,000
Perlakuan	2,065	2	1,032	237,210	,000
Ulangan	,034	4	,008	1,943	,197
Error	,035	8	,004		
Total	492,223	15			
Corrected Total	2,133	14			

a. R Squared = ,984 (Adjusted R Squared = ,971)

Tabel 2. Hasil Uji Duncan SPSS pH (H<sub>2</sub>O)

pH\_H2O

Duncan

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
B0	5	5,2180		
B1	5		5,8220	
B2	5			6,0860
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,004.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,000.

b. Alpha = ,05.

Tabel 3. Analisis Sidik Ragam pH (KCl)

Dependent Variable: pH\_KCl

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1,957 <sup>a</sup>	6	,326	26,435	,000
Intercept	415,435	1	415,435	33670,261	,000
Perlakuan	1,785	2	,892	72,323	,000
Ulangan	,172	4	,043	3,491	,062
Error	,099	8	,012		
Total	417,491	15			
Corrected Total	2,056	14			

a. R Squared = ,952 (Adjusted R Squared = ,916)

Tabel 4. Hasil Uji Duncan SPSS pH (KCl)

pH_KCl				
Duncan				
Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
B0	5	4,8520		
B1	5		5,2400	
B2	5			5,6960
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,012.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,000.

b. Alpha = ,05.

Tabel 5. Analisis Sidik Ragam Kandungan Boron

Dependent Variable: Boron					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,114 <sup>a</sup>	6	,019	8,782	,004
Intercept	1,845	1	1,845	853,938	,000
Perlakuan	,086	2	,043	19,966	,001
Ulangan	,028	4	,007	3,190	,076
Error	,017	8	,002		
Total	1,976	15			
Corrected Total	,131	14			

a. R Squared = ,868 (Adjusted R Squared = ,769)

Tabel 6. Hasil Uji Duncan SPSS Kandungan Boron

Boron				
Duncan				
Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
B0	5	,2660		
B1	5		,3360	
B2	5			,4500
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,002.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,000.

b. Alpha = ,05.

Tabel 7. Analisis Sidik Ragam C-Organik

Dependent Variable: C_Organik					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1,002 <sup>a</sup>	2	,501	179,286	,000
Intercept	54,531	1	54,531	19521,718	,000
Perlakuan	1,002	2	,501	179,286	,000
Error	,034	12	,003		
Total	55,566	15			
Corrected Total	1,035	14			

a. R Squared = ,968 (Adjusted R Squared = ,962)

Tabel 8. Hasil Uji Duncan SPSS C-Organik

C_Organik					
Perlakuan		N	Subset		
			1	2	3
Duncan <sup>a,b</sup>	B0	5	1,5740		
	B1	5		1,9420	
	B2	5			2,2040
	Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,003.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,000.

b. Alpha = ,05.