

Volume 2 No. 1 Maret 2025



# JOURNAL ARUNASITA

Soil Health and Soil Management

**Publisher:**

WBS Laboratory

<https://ejournal.arunasita.com/jasita>



## **Pengaruh Penambahan Biochar Kulit Kopi dan Abu Vulkanis dalam Memperbaiki Sifat Kimia Ultisol**

### ***Effect of Addition of Coffee Husk Biochar and Vulkanis Ash in Improving the Chemical Properties of Ultisol***

**Vivin Auliadesti<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Universitas, Limau Manis, Pauh, Padang, Indonesia, 25175

\*auliadestivivin@gmail.com

#### **ABSTRAK**

Ultisol, yang mencakup 25% luas dataran Indonesia, memiliki masalah kesuburan seperti pH masam, rendah bahan organik, dan unsur hara seperti fosfor. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penambahan biochar kulit kopi dan abu vulkanis dalam memperbaiki sifat kimia Ultisol. Penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika dan Kimia Tanah, Fakultas Pertanian Unand, menggunakan Ultisol dari kebun percobaan Unand kedalaman 0-20 cm. Biochar kulit kopi dan abu vulkanis diberikan dosis 5 ton/ha dan diinkubasi selama satu bulan. Analisis kimia tanah meliputi pengukuran pH, C-organik, P tersedia, N total, dan Kapasitas Tukar Kation (KTK). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan biochar dan abu vulkanis meningkatkan pH tanah (5.04-6.31), menetralkan keasaman. Biochar secara signifikan meningkatkan kandungan C-organik menjadi 2,5%, menunjukkan peningkatan kesuburan tanah. Peningkatan signifikan dalam P tersedia juga teramati oleh penambahan biochar kulit kopi metode Olsen (17,62 ppm) dan metode Mechlic (15,83) dan abu vulkanis metode olsen dan mechlic (19,69 ppm dan 15,23 ppm). Peningkatan signifikan dalam KTK oleh biochar (17,52 me/100g) menunjukkan peningkatan kapasitas tanah untuk menahan kation. Biochar memberikan hasil tertinggi dalam kandungan N total (0,28%), dan biochar serta abu vulkanis menunjukkan rasio C/N yang rendah dibandingkan kontrol (8,96 dan 11,20), mengindikasikan bahan organik yang telah terdekomposisi ditandai dengan tingginya kandungan Nitrogen.

Kata kunci: Abu Vulkanis, Biochar Kulit kopi, Ultisol, Bahan Pembenah Tanah

#### **ABSTRACT**

*Ultisols, which cover 25% of Indonesia's land area, have fertility problems such as acid pH, low organic matter, and nutrients such as phosphorus. This study aims to assess the effect of the addition of coffee husk biochar and volcanic ash in improving the chemical properties of Ultisol. The research was conducted at the Soil Physics and Chemistry Laboratory, Faculty of Agriculture, Unand, using Ultisol from the Unand experimental garden at a depth of 0-20 cm. Coffee husk biochar and volcanic ash were applied at a dose of 5 tonnes/ha and incubated for one month. Soil chemical analysis included measurement of pH, C-organic, available P, total N, and Cation Exchange Capacity (CEC). The results showed that the addition of biochar and volcanic ash increased soil pH (5.04-6.31), neutralising acidity. Biochar significantly increased the C-organic content to 2.5%, indicating improved soil fertility. A significant increase in available P was also observed by the addition of coffee husk biochar Olsen method (17.62 ppm) and Mechlic method (15.83) and volcanic ash Olsen and Mechlic methods (19.69 ppm and 15.23 ppm). The significant increase in CEC by biochar (17.52 me/100g) indicates an increase in soil capacity to hold cations. Biochar gave the highest results in total N content (0.28%), and biochar and volcanic ash showed low C/N ratios compared to the control (8.96 and 11.20), indicating decomposed organic matter characterised by high Nitrogen content.*

**Keywords:** Volcanic ash, coffee husk biochar, Ultisol, soil amendments

## PENDAHULUAN

Ultisol adalah salah satu jenis tanah terluas di Indonesia mencapai 45.794.000 ha setara dengan 25% luas dataran di Indonesia (Rifki *et al.*, 2022). Secara umum Ultisol berwarna kuning kecoklatan sampai merah, memiliki penampang tanah yang dalam, fraksi liat meningkat seiring dengan kedalaman tanah (Syaputra *et al.*, 2015). Ultisol memiliki masalah dalam hal kesuburan, seperti pH tanah yang masam, rendahnya kandungan bahan organik dan C-organik, rendahnya unsur hara P, serta tanah yang rentan terhadap erosi (Akasah *et al.*, 2018). Ultisol merupakan lahan dengan tingkat produktivitas rendah, memiliki hara yang rendah dikarenakan mengalami pencucian basa secara terus-menerus, kemudian kandungan bahan organik rendah dikarenakan proses dekomposisi berlangsung cepat terutama di daerah tropika seperti di Indonesia (Alibasyah, 2016). Oleh karena itu, peningkatan produktivitas Ultisol dapat dilakukan dengan penambahan bahan amelioran seperti biochar, abu vulkanis dan pemberian bahan organik ke dalam tanah (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006).

Biochar merupakan bahan pembenah tanah yang berguna untuk meningkatkan produktivitas tanah. Bahan utama untuk pembuatan biochar adalah limbah-limbah pertanian dan perkebunan seperti sekam padi, tempurung kelapa, kulit buah kopi, serta kayu-kayu yang berasal dari tanaman hutan industri. Biochar dibuat dari bahan-bahan organik yang sulit terdekomposisi, yang dibakar secara tidak sempurna (*pyrolysis*) atau tanpa oksigen pada suhu yang tinggi. Kualitas senyawa organik yang terkandung dalam *biochar* tergantung pada asal bahan organik dan metode karbonisasi. Dengan kandungan senyawa organik dan inorganik yang terdapat di dalamnya, biochar banyak digunakan sebagai bahan amelioran untuk meningkatkan kualitas tanah, khususnya Ultisol (Rondon *et al.*, 2007).

Berdasarkan penelitian Kiggundu dan Sittamukyoto (2019), biochar kulit buah kopi hasil pirolisis mengandung karbon 60-67% dan abu 10-15% dengan kandungan P 0,39%, K 1,97%, dan N 0,96. Aplikasi biochar kulit buah kopi ke dalam tanah sebanyak 20% volume tanah meningkatkan kapasitas menahan air dari 32% menjadi 52% dan tanah mampu mempertahankan lengas lebih lama. Selain itu Asfaw *et al.* (2019), juga melaporkan bahwa pemberian biochar kulit buah kopi pada lahan pertanaman dapat meningkat pH dan kapasitas tukar kation yang mengindikasikan peningkatan kesuburan tanah. Kelebihan lain dari menggunakan biochar kulit kopi adalah harga yang lebih murah dan mudah didapat dibandingkan dengan bahan biochar lainnya.

Penambahan abu vulkanis diasumsikan juga dapat meningkatkan kesuburan pada Ultisol. Abu vulkanis terdiri gelas vulkanis, labrodonit, augit, dan sedikit bitounit, hiperstin, hornblende, dan opak. Selain mineral opak, semua mineral tersebut mudah lapuk dan melepaskan banyak hara ke dalam tanah (Anda *et al.*, 2012). Abu vulkanik yang menutupi permukaan tanah dapat memberikan proses peremajaan dan peningkatan kesuburan tanah (Hasanah *et al.*, 2015). Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penambahan biochar kulit kopi dan abu vulkanis dalam memperbaiki sifat kimia pada Ultisol.

## MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2024 – Juni 2024 di Laboratorium Fisika dan Laboratorium Kimia Tanah Jurusan Tanah Fakultas dan Sumberdaya Lahan Pertanian Unand. Tanah yang digunakan adalah Ultisol kebun percobaan Unand yang diambil pada

kedalaman 0-20cm dari permukaan tanah. Bahan pembenah tanah yang digunakan adalah biochar kulit kopi dan abu vulkanis Gunung Marapi. Penelitian ini menggunakan metode rancangan acak lengkap (RAL) dengan menginkubasikan Ultisol dengan amelioran menggunakan 3 ulangan selama 1 bulan. Perlakuan-perlakuan yang diberikan yaitu kontrol (Ultisol tanpa amelioran), Ultisol + abu gunung Marapi setara 5 ton/ha, dan Ultisol + biochar kulit kopi setara 5 ton/ha. Analisis kimia tanah untuk penelitian ini meliputi pengukuran pH tanah dengan perbedaan perbandingan tanah dengan pelarut (1:5 dan 1:10) dan lama pengocokan (30 menit dan 60 menit); P-tersedia metode Olsen dan Mechlic; KTK (ammonium asetat pH 7); % C-organik (Walkey and Black); % N-total (Khjedal); dan % C/N . Data hasil penelitian dianalisis secara statistik menggunakan aplikasi statistik dengan uji t taraf 5 %.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Sifat Kimia Tanah Awal

Berdasarkan Tabel 1. Hasil penlitian tanah awal berdasarkan penelitian Gusnidar *et al.* (2019), Ultisol yang berada di lahan percobaan Universitas Andalas memiliki tingkat kesuburan yang rendah.

Tabel 1. Hasil Analisis Tanah Awal

| Analisis Tanah      | Nilai | Kriteria      |
|---------------------|-------|---------------|
| pH H <sub>2</sub> O | 5,15  | Masam         |
| C-Organik (%)       | 0,87  | Sangat Rendah |
| P-Tersedia (ppm)    | 13,56 | Rendah        |
| N-Total (%)         | 0,14  | Rendah        |
| KTK (me/100g)       | 11,92 | Rendah        |

Sumber: (Gusnidar *et al.*, 2019).

Ultisol yang digunakan untuk penelitian memiliki kesuburan yang rendah, pH tanah yang masam, KTK tanah yang rendah. Kondisi tanah ini disebabkan oleh curah hujan yang tinggi sehingga menyebabkan tanah bereaksi masam. P-tersedia yang rendah pada Ultisol karena pH tanah yang masam dan terjadinya fiksasi P oleh Al dan Fe yang bermuatan positif, dan menyebabkan P kurang tersedia bagi tanaman (Hardjowigeno, 2003). Ultisol yang merupakan tanah tua memiliki kandungan bahan organik yang sangat rendah sehingga tidak menyumbangkan hara dan menyebabkan kandungan C-Organik, N-total dan C/N pada Ultisol rendah.

### B. Komposisi Biochar Kulit Kopi dan Abu Vulkanis

Hasil analisis biochar kulit kopi berdasarkan penelitian Maulida *et al.* (2024), sedangkan analisis abu vulkanis berdasarkan penelitian Fiantis *et al.* (2010), komposisi biochar kulit kopi dan abu vulkansi yang akan dijadikan sebagai acuan dalam penelitian ini (Tabel 2).

Tabel 2. Analisis Kimia Biochar Kulit Kopi dan Abu Vulkanis

| Parameter           | Perlakuan          |              |
|---------------------|--------------------|--------------|
|                     | Biochar Kulit Kopi | Abu Vulkanis |
| pH H <sub>2</sub> O | 9,34*              | 7,26**       |
| pH KCl              | 8,73*              | 7,12**       |
| C-Organik (%)       | 49,75*             | -            |
| N-Total (%)         | 0,36*              | -            |
| P-Tersedia (%)      | 0,02*              | -            |
| KTK (me/100g)       | 33,27*             | 5,75**       |
| P-Retensi (%)       | -                  | 52,84**      |

Sumber: \*Wulandari, *et al.* (2018); \*\* Fiantis *et al.* (2010).

Berdasarkan penelitian Wulandari *et al.* (2018), biochar kulit kopi memiliki pH H<sub>2</sub>O 9,54, pH KCl 8,73. Nilai C-organik 49,74%, N-total 0,36%, P-tersedia 0,02%, dan KTK 33,27 me/100g. Sedangkan analisis awal abu vulkanis berdasarkan Fiantis *et al.* (2010), abu vulkanis memiliki nilai pH H<sub>2</sub>O 7,26, pH KCl 7,12, KTK 5,76 me/100g dan P-retensi 52,84 %.

### C. Sifat Kimia Tanah Setelah Inkubasi

#### 1. Reaksi Tanah (pH Tanah)

Reaksi tanah menunjukkan sifat kemasaman atau alkalinitas tanah yang dinyatakan dengan nilai pH. Pengaruh pemberian biochar kulit kopi dan abu vulkanis dengan konsentrasi dan waktu pengocokan yang berbeda disajikan pada Tabel 3. Pengukuran pH H<sub>2</sub>O tanah dengan konsentrasi (1:5) dan (1:10) menunjukkan bahwa penambahan biochar kulit kopi dan abu vulkanis meningkatkan pH tanah Ultisol dibandingkan dengan kontrol. Pada pH H<sub>2</sub>O (1:5), kontrol memiliki pH awal 4,65 yang meningkat menjadi 5,34 setelah 30 hari inkubasi. Penambahan abu vulkanis meningkatkan pH dari 5,54 menjadi 5,72, sedangkan biochar kulit kopi meningkatkan pH dari 5,87 menjadi 5,67. Pada pH H<sub>2</sub>O (1:10), kontrol menunjukkan peningkatan dari 5,12 menjadi 5,64, abu vulkanis dari 5,92 menjadi 5,72, dan biochar kulit kopi dari 6,31 menjadi 5,04.

Tabel 3. Rata-Rata Nilai Reaksi Tanah (pH Tanah)

| Perlakuan          | pH H <sub>2</sub> O (1:5) |       | pH H <sub>2</sub> O (1:10) |       | pH KCl (1:5) |       | pH KCl (1:10) |       |
|--------------------|---------------------------|-------|----------------------------|-------|--------------|-------|---------------|-------|
|                    | 30                        | 60    | 30                         | 60    | 30           | 60    | 30            | 60    |
|                    | Menit                     | Menit | Menit                      | Menit | Menit        | Menit | Menit         | Menit |
| Kontrol            | 4,65                      | 5,34  | 5,12                       | 5,64  | 3,36         | 3,62  | 3,31          | 3,67  |
| Abu Vulkanis       | 5,54                      | 5,72  | 5,92                       | 5,72  | 3,12         | 3,58  | 3,23          | 3,63  |
| Biochar Kulit Kopi | 5,87                      | 5,67  | 6,31                       | 5,04  | 3,12         | 3,59  | 3,23          | 3,69  |

Peningkatan pH tanah dengan penambahan biochar dan abu vulkanis menunjukkan bahwa kedua bahan tersebut efektif dalam menetralkan keasaman tanah Ultisol Berdasarkan penelitian oleh Novak *et al.* (2009), biochar memiliki kapasitas tinggi untuk meningkatkan pH tanah karena kandungan karbonat dan oksida logam alkali yang dapat mengurangi keasaman tanah. Abu vulkanis juga diketahui mengandung mineral yang dapat melepaskan basa ke dalam tanah sehingga pH tanah meningkat (Rondon *et al.*, 2007). Liu *et al.* (2020), juga menyatakan bahwa biochar mampu meningkatkan pH tanah secara signifikan, bahkan pada tanah yang sangat masam. Aplikasi biochar tidak hanya meningkatkan pH tetapi juga meningkatkan aktivitas mikrobiologi tanah dan ketersediaan nutrisi.

Pengukuran pH KCl konsentasi (1:5) dan (1:10) memberikan perubahan pH tanah setelah perlakuan. Pada pH KCl (1:5), kontrol memiliki pH awal 3,36 yang meningkat menjadi 3,62 setelah inkubasi. Penambahan abu vulkanis menunjukkan peningkatan pH dari 3,12 menjadi 3,58, sedangkan biochar kulit kopi dari 3,12 menjadi 3,59. Pada pH KCl (1:10), kontrol menunjukkan peningkatan dari 3,31 menjadi 3,67, abu vulkanis dari 3,23 menjadi 3,63, dan biochar kulit kopi dari 3,23 menjadi 3,69 (Tabel 1). Pengukuran pH menggunakan KCl biasanya memberikan nilai pH yang lebih rendah dibandingkan dengan H<sub>2</sub>O, karena KCl mengurangi aktivitas ion H<sup>+</sup> di dalam larutan tanah. Penelitian oleh Liang *et al.* (2006) menunjukkan bahwa biochar dapat meningkatkan pH tanah secara efektif dan stabil dalam jangka panjang karena sifatnya yang tahan terhadap dekomposisi. Pernyataan Zhang *et al.* (2017), aplikasi abu vulkanis dapat meningkatkan pH tanah secara signifikan, mirip dengan biochar. Abu vulkanis menyediakan kation basa yang dapat meningkatkan pH tanah, mengurangi aktivitas ion H<sup>+</sup>, dan mengurangi toksisitas aluminium di tanah masam.

Waktu pengocokan yang berbeda dapat mempengaruhi nilai pH tanah karena proses tersebut mempengaruhi tingkat pelarut ion-ion yang ada dalam tanah serta kesetimbangan kimia antara fase padat dan cair dalam larutan tanah. Pengukuran pH H<sub>2</sub>O melibatkan pengocokan tanah dengan air, yang mengukur aktivitas ion H<sup>+</sup> di dalam larutan tanah. Waktu pengocokan yang lebih lama dapat meningkatkan waktu kontak antara air dan partikel tanah, memungkinkan lebih banyak ion H<sup>+</sup> terlarut ke dalam air. Waktu pengocokan yang lebih lama cenderung meningkatkan pH yang diukur karena ion H<sup>+</sup> dapat semakin banyak terdisosiasi dari permukaan partikel tanah (Ross *et al.*, 2006). Pengukuran pH KCl melibatkan penggunaan larutan KCl, yang menggantikan ion H<sup>+</sup> dengan ion K<sup>+</sup> dalam larutan tanah. Waktu pengocokan yang lebih lama dalam larutan KCl dapat meningkatkan desorpsi ion H<sup>+</sup> dari kompleks pertukaran kation di tanah, sehingga mengurangi aktivitas ion H<sup>+</sup> bebas dalam larutan. Waktu pengocokan yang lebih lama dengan KCl dapat menyebabkan penurunan nilai pH yang diukur karena lebih banyak ion H<sup>+</sup> dipertukarkan dengan ion K<sup>+</sup>, sehingga lebih banyak ion H<sup>+</sup> dihilangkan dari larutan. Hal tersebut menghasilkan nilai pH KCl yang lebih rendah dibandingkan dengan waktu pengocokan yang lebih pendek (McLean, 1982).

## 2. C-Organik Tanah

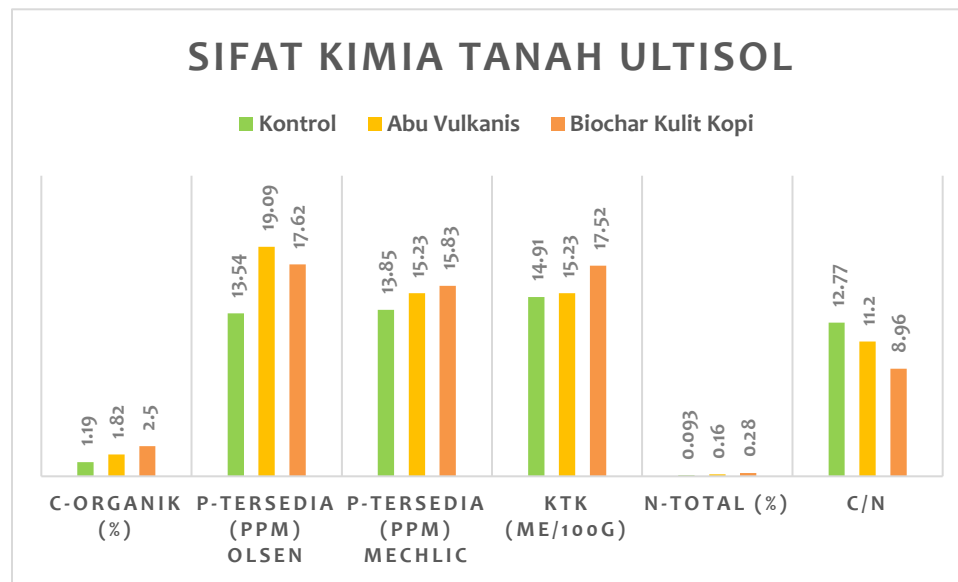
Perlakuan pemberian biochar kulit kopi dan abu vulkanis memberikan pengaruh terhadap peningkatan kandungan C-organik pada Ultisol. Kandungan C-organik tertinggi dicapai oleh perlakuan biochar kulit kopi 2,5% (Sedang) diikuti oleh abu vulkanis 1,82% (Rendah) dan Kontrol 1,19 (Rendah) (Tabel 4) (Gambar 1).



Tabel 4. Rata-Rata Nilai Sifat Kimia Tanah Ultisol

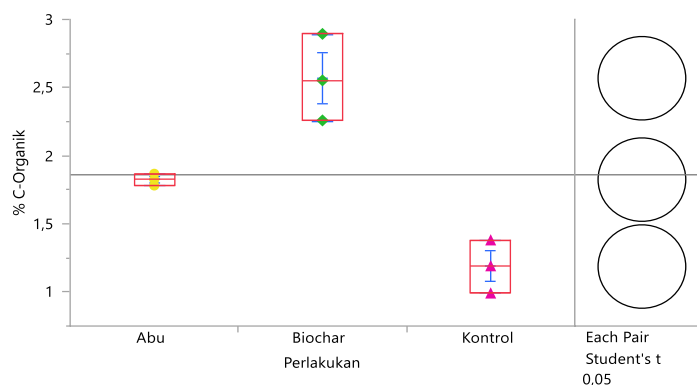
| Perlakuan          | C-Organik (%)     | P-Tersedia (ppm)   |                    | KTK (me/100g)       | N-Total (%)        | C/N                 |
|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
|                    |                   | Olsen              | Mechlic            |                     |                    |                     |
| Kontrol            | 1,19 <sup>c</sup> | 13,54 <sup>a</sup> | 13,85 <sup>b</sup> | 14,91 <sup>b</sup>  | 0,093 <sup>c</sup> | 12,77 <sup>a</sup>  |
| Abu Vulkanis       | 1,82 <sup>b</sup> | 19,09 <sup>a</sup> | 15,23 <sup>a</sup> | 15,23 <sup>ab</sup> | 0,16 <sup>b</sup>  | 11,20 <sup>ab</sup> |
| Biochar Kulit Kopi | 2,5 <sup>a</sup>  | 17,62 <sup>a</sup> | 15,83 <sup>a</sup> | 17,52 <sup>a</sup>  | 0,28 <sup>a</sup>  | 8,96 <sup>b</sup>   |

Keterangan: huruf a,b,c,d,e Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada baris menunjukkan perbedaan yang nyata pada uji t 5%.



Gambar 1. Rata-rata Hasil Sifat Kimia Tanah Ultisol

Berdasarkan uji t kandungan C-organik biochar berbeda nyata dengan dan penambahan abu vulkanis (Gambar 2). Peningkatan kandungan C-organik oleh biochar menunjukkan bahwa biochar meningkatkan kesuburan tanah. Menurut penelitian oleh Lehmann *et al.* (2011), biochar dapat meningkatkan kandungan karbon organik tanah karena stabilitasnya yang tinggi dan resistensi terhadap dekomposisi.



Gambar 2. Rata-rata nilai C-Organik tanah

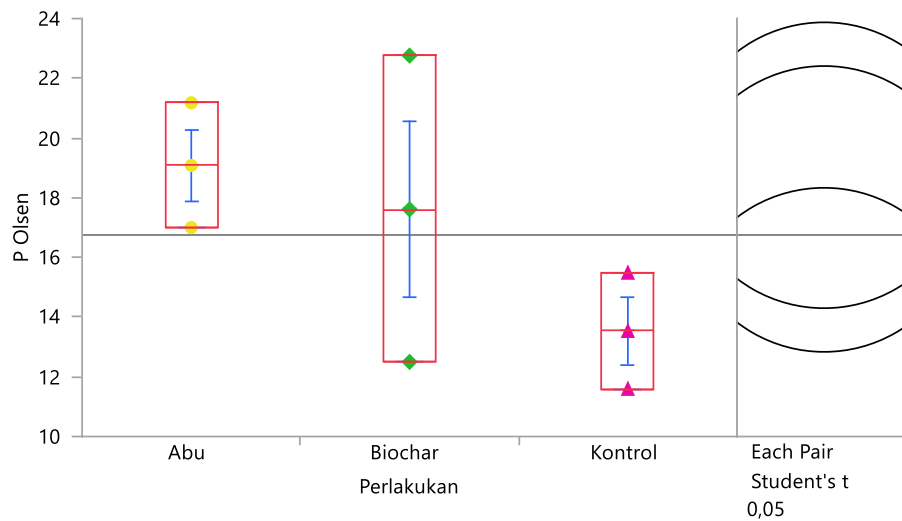
Biochar dapat meningkatkan aktivitas mikrobiologi tanah, sehingga meningkatkan dekomposisi residu tanaman menjadi bahan organik yang lebih stabil (Singh *et al.*, 2010). Biochar kulit memiliki mengandung senyawa organik kompleks (lignin dan selulosa) yang telah terkarbonisasi sehingga tidak mudah terurai dan menambah kandungan C-organik tanah dalam jangka panjang (Spokas & Reicosky, 2009).

Rendanya nilai C-Organik pada penambahan abu cenderung memiliki sifat mineral yang tidak memberikan kontribusi langsung terhadap kandungan bahan organik tanah. Studi oleh Rondon *et al.* (2007) menunjukkan bahwa abu vulkanis cenderung lebih bersifat sebagai sumber mineral dan bahan penyubur daripada sebagai bahan organik stabil. Abu vulkanis secara tidak langsung memiliki peran dalam meningkatkan kandungan bahan organik dalam tanah. Partikel abu vulkanis membantu memperbaiki struktur tanah dengan meningkatkan aerasi dan drainase, yang mendukung aktivitas mikroorganisme tanah dalam proses dekomposisi bahan organik (Delmelle *et al.*, 2014).

### 3. P-Tersedia Tanah

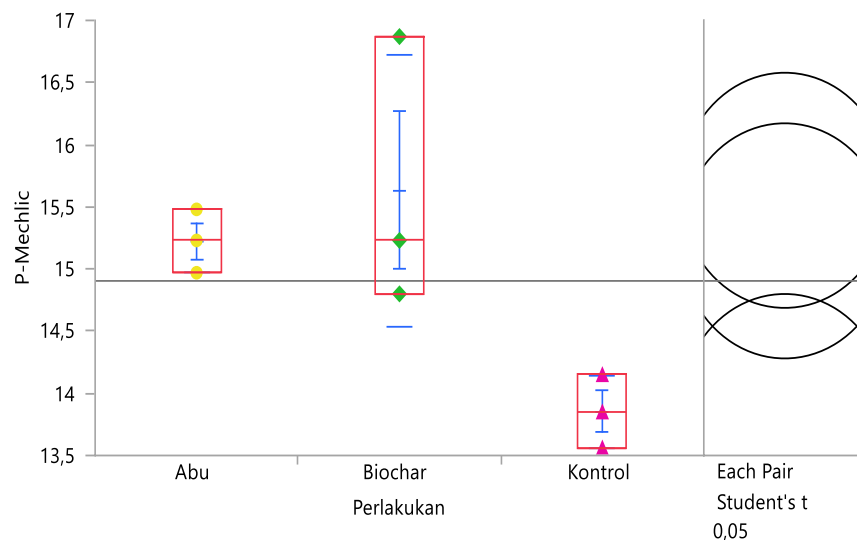
Pengukuran P-tersedia tanah menggunakan metode Olsen menunjukkan bahwa perlakuan abu vulkanis dan biochar kulit kopi secara signifikan meningkatkan P-tersedia dalam tanah dibandingkan dengan kontrol. Perlakuan abu vulkanis menghasilkan nilai tertinggi sebesar 19,09 ppm tergolong tinggi, diikuti oleh biochar kulit kopi sebesar 17,62 ppm tergolong tinggi, dan kontrol dengan nilai terendah 13,54 ppm tergolong sedang. Metode Mechlic, perlakuan penambahan biochar kulit kopi juga memberikan nilai tertinggi sebesar 15,83 ppm, diikuti oleh abu vulkanis 15,23 ppm dan kontrol 13,85 ppm (Tabel 4). Berdasarkan uji t P-tersedia metode Olsen antara penambahan abu vulkanis dan biochar kulit kopi terhadap kontrol memiliki nilai yang berbeda tidak nyata (Gambar 3), sedangkan metode Mehlic P-tersedia setelah penambahan abu vulkanis dan biochar kulit kopi memiliki nilai yang berbeda nyata terhadap kontrol (Gambar 4).





Gambar 3. Rata-rata nilai P-Tersedia Metode Olsen

Ketersediaan P di dalam tanah dapat meningkat seiring dengan meningkatnya pH pada tanah. Glaser *et al.* (2002), menyatakan bahwa biochar terkhususnya biochar kulit kopi dapat meningkatkan ketersediaan fosfor dengan meningkatkan pH tanah dan mengurangi ikatan fosfor oleh besi dan aluminium. Berdasarkan penelitian Biederman dan Harpole (2013), menunjukkan bahwa biochar dapat meningkatkan ketersediaan fosfor dalam tanah dengan menyediakan situs adsorpsi yang mengurangi fiksasi fosfor.



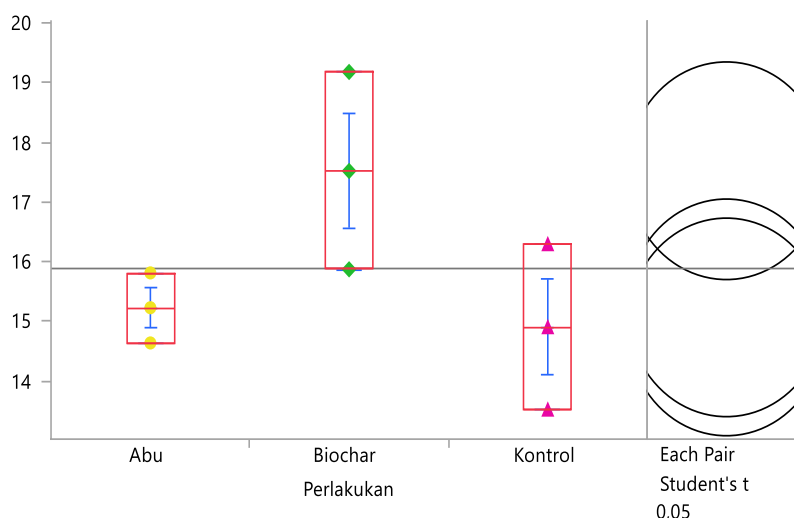
Gambar 4. Rata-rata nilai P-Tersedia Metode Mehlich

Peningkatan P-tersedia oleh abu vulkanis disebabkan oleh kandungan mineral dalam abu vulkanis yang dapat larut dan menjadi sumber fosfor bagi tanaman. Berdasarkan penelitian oleh Cao *et al.* (2011), menunjukkan bahwa aplikasi abu vulkanis pada tanah meningkatkan aktivitas enzim fosfatase, yang berperan penting dalam proses pencernaan dan

penyerapan fosfor oleh tanaman. Abu vulkanis juga dapat meningkatkan populasi mikroba tanah yang dapat membantu dalam mineralisasi dan mobilisasi fosfor organik (Zhang *et al.*, 2015).

#### 4. Kapasitas Tukar Kation Tanah

Berdasarkan penelitian perlakuan penambahan aplikasi biochar kulit kopi menunjukkan peningkatan KTK yang signifikan (17,52 me/100g) dibandingkan dengan kontrol (14,91 me/100g) dan abu vulkanis (15,23 me/100g) (Tabel 4). Peningkatan KTK oleh biochar kulit kopi mengindikasikan bahwa biochar efektif dalam meningkatkan kapasitas tanah untuk menahan dan menyediakan kation-kation penting bagi tanaman, yang berperan dalam meningkatkan kesuburan tanah. Berdasarkan uji t nilai KTK tanah yang diaplikasikan biochar kulit kopi dan abu vulkanis memiliki nilai yang berbeda nyata dengan kontrol (Gambar 5).



Gambar 5. Rata-rata nilai KTK tanah

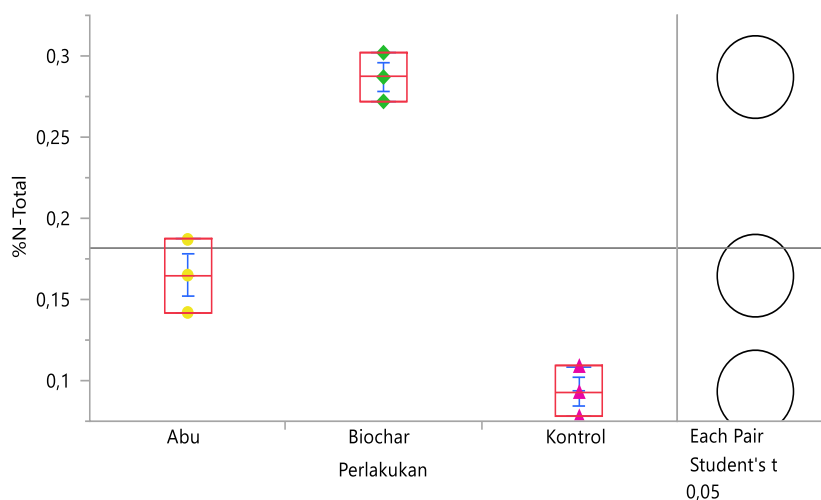
Nilai Kapasitas tukar kation tanah yang meningkat akibat penambahan biochar karena struktur porusnya yang kompleks, yang menyediakan lebih banyak situs untuk pertukaran kation (Major *et al.* 2010). Peningkatan KTK juga berhubungan dengan peningkatan retensi nutrisi dalam tanah, yang dapat mengurangi kehilangan nutrisi melalui pencucian. Chan *et al.* (2007), menemukan bahwa aplikasi biochar pada tanah dapat meningkatkan retensi nutrisi seperti Kalium, Magnesium, dan Kalsium, yang penting untuk pertumbuhan tanaman. Penambahan abu vulkanis pada tanah terkhususnya Ultisol juga mampu meningkatkan nilai KTK tanah karena Abu vulkanis mengandung berbagai mineral seperti zeolit dan bentonit yang memiliki kapasitas tinggi dalam pertukaran ion. (Zhang *et al.*, 2019).

#### 5. N-Total Tanah

Berdasarkan penelitian perlakuan penambahan biochar kulit kopi juga memberikan hasil tertinggi dalam kandungan N-total (0,28%), diikuti oleh penambahan abu vulkanis

(0,16%) dan kontrol (0,093%) (Tabel 4). Berdasarkan uji t dengan penambahan biochar kulit kopi nilai N-total biochar kulit kopi terhadap kontrol berbeda nyata begitu juga dengan penambahan abu vulkanis memiliki nilai yang berbeda nyata terhadap kontrol (Gambar 6).

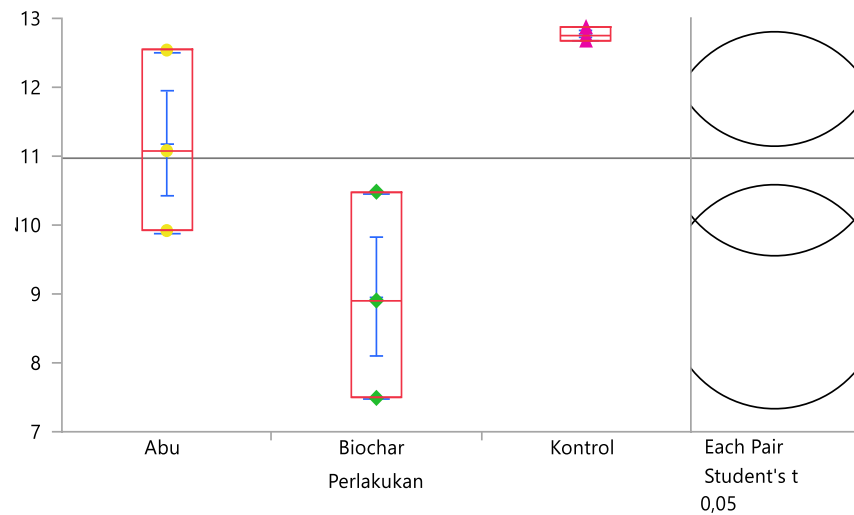
Penambahan biochar kulit kopi mampu meningkatkan nilai N-total walaupun tidak signifikan penambahan biochar dapat meningkatkan retensi nitrogen dalam tanah dengan mengurangi kehilangan nitrogen melalui leaching dan volatilization (Steiner *et al.*, 2008). Biochar kulit kopi dan abu vulkanis dapat meningkatkan aktivitas mikroba tanah yang berperan penting dalam siklus nitrogen. Meningkatnya aktivitas mikroba ini dapat meningkatkan mineralisasi nitrogen dari sumber organik yang tersedia di tanah (Lehmann *et al.*, 2011). Ketersediaan N pada tanah juga dapat dipengaruhi oleh pH tanah, Perubahan pH dapat mengoptimalkan kondisi untuk aktivitas mikroba tertentu yang membantu dalam transformasi nitrogen dalam tanah (Biederman dan Harpole, 2013).



Gambar 6. Rata-rata nilai N-Total Tanah

## 6. Rasio C/N Tanah

Rasio C/N adalah perbandingan antara jumlah karbon (C) dan nitrogen (N) dalam bahan organik tanah. Rasio C/N yang tinggi menunjukkan bahan organik yang lebih lambat terdekomposisi. Berdasarkan penelitian penambahan abu vulkanis menunjukkan rasio C/N (11,27), penambahan biochar kulit kopi menunjukkan rasio C/N (30,06) dan kontrol dengan rasio C/N (22,51) (Tabel 4). Berdasarkan uji t penambahan biochar kulit kopi dan abu vulkanis memiliki nilai yang berbeda nyata terhadap kontrol (Gambar 7). Rasio C/N yang lebih rendah pada perlakuan abu vulkanis dan biochar kulit kopi dibandingkan dengan kontrol menunjukkan bahwa penambahan bahan organik (abu dan biochar) mengubah dinamika karbon dan nitrogen dalam tanah, yang dapat mempengaruhi proses mineralisasi dan ketersediaan nutrisi untuk tanaman.



Gambar 7. Rata-rata nilai Rasio C/N Tanah

Rasio C/N dengan penambahan biochar kulit kopi yang rendah karena kulit kopi memiliki kandungan nitrogen yang cukup tinggi dibandingkan dengan karbon, memungkinkan dekomposisi yang lebih cepat oleh mikroorganisme tanah. Proses tersebut melepaskan nutrisi penting seperti nitrogen yang dapat langsung digunakan oleh tanaman, serta berfungsi sebagai sumber energi tambahan yang mendukung aktivitas mikroorganisme tanah dalam merombak bahan organik di dalam tanah (Mekonnen *et al.*, 2020).

Abu vulkanis merupakan bahan anorganik yang mengandung sangat sedikit bahkan tidak ada bahan organik sehingga memiliki rasio C/N yang sangat rendah atau bahkan nol. Abu vulkanis berkontribusi terhadap peningkatan kualitas tanah melalui kandungan mineral yang kaya, dapat meningkatkan kesuburan tanah (Gislason *et al.*, 2011). Penambahan abu vulkanis membantu memperbaiki struktur tanah dengan meningkatkan aerasi dan retensi air, yang secara tidak langsung mendukung aktivitas mikroorganisme dalam merombak bahan organik di dalam tanah (Delmelle *et al.*, 2014).

Rasio C/N yang tinggi menunjukkan bahwa bahan organik cenderung lebih stabil dan terdekomposisi lebih lambat, yang dapat mengurangi pelepasan nitrogen yang cepat dan meningkatkan ketersediaannya dalam jangka panjang. Sohi *et al.* (2010) juga menyebutkan bahwa rasio C/N yang lebih tinggi dapat mengurangi laju dekomposisi bahan organik, yang dapat membantu dalam menjaga keberlanjutan pasokan nutrisi untuk tanaman. Oleh karena itu, baik abu vulkanis maupun biochar kulit kopi dapat membantu dalam pengelolaan kesuburan tanah dengan mempengaruhi rasio C/N dan ketersediaan nutrisi.

## KESIMPULAN

Biochar Kulit Kopi efektif dalam meningkatkan C-Organik dan P-Tersedia tanah, meskipun tidak sebesar efek yang ditunjukkan oleh Abu Vulkanis dalam meningkatkan KTK tanah. Abu Vulkanis, di sisi lain, memberikan manfaat signifikan terutama dalam meningkatkan KTK dan P-Tersedia tanah. Kedua bahan tersebut dapat dipertimbangkan sebagai strategi untuk meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman, tergantung pada tujuan dan kondisi tanah yang spesifik

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih saya ucapkan kepada ibu Dr.Ir. Gusmini, SP, MP, selaku dosen penanggung jawab dan tidak lupa saya ucapkan terimakasih kepada rekan-rekan seperjuangan yang telah banyak membantu dalam penelitian ini, semoga dengan diterbitkannya jurnal ini dapat memberikan manfaat kepada para pembacanya, Aamiin.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akasah, W., Damanik, F. (2018). Serapan P dan Pertumbuhan Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) Akibat Pemberian Kombinasi Bahan Organik dan SP-36 pada Tanah Ultisol. *Journal Agroekoteknologi*, 6(3), 640-647.
- Alibasyah, M. R. (2016). Perubahan beberapa sifat fisika dan kimia Ultisol akibat pemberian pupuk kompos dan kapur dolomit pada lahan berteras. *Jurnal Floratek*, 11(1), 75-87.
- Anda, M., Kasno, A., & Sarwani, M. (2012). Sifat dan Khasiat material letusan Gunung Merapi untuk Perbaikan Tanah Pertanian dalam Sutono, S., J Purnomo, J Purwani dan A Jamil. 2017. Berkah Abu Vulkanis Bahan Pembenah Tanah. Badan penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Biederman, L. A., & Harpole, W. S. (2013). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB Bioenergy*, 5(2), 202-214.
- Cao, W., Wang, J., Ma, H., Wu, B., & Yan, Y. (2011). Effects of volcanic ash-derived soils on nutrient uptake and growth of two wheat varieties. *Pedosphere*, 21(6), 743-750.
- Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., & Joseph, S. (2007). Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Soil Research*, 45(8), 629-634.
- Delmelle, P., Delfosse, T., & Delvaux, B. (2014). Sulfate, chloride and fluoride retention in Andosols exposed to volcanic acid emissions. *Environmental Pollution*, 178, 51-58.
- Fiantis, D., Nelson, M., Shamshuddin, J., Goh, T. B., & Van Ranst, E. (2010). Leaching experiments in recent tephra deposits from Talang volcano (West Sumatra), Indonesia. *Geoderma*, 156(3-4), 161-172.
- Gislason, S. R., Oelkers, E. H., & Knudson, M. (2011). The role of volcanic ash in the Earth's carbon cycle: Carbonation of Icelandic basalt. *Earth and Planetary Science Letters*, 304(3-4), 496-507.
- Glaser, B., Lehmann, J., & Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. *Biology and Fertility of Soils*, 35(4), 219-230.
- Gusnidar, Fitri, A., dan Yasin, S. (2019). Titonia dan Jerami Padi Yang dikomposkan Terhadap Ciri Kimia Tanah Dan Produksi Jagung Pada Ultisol. *J. Solum*, 16(1): 11-18.
- Hardjowigeno, S. (2003). Ilmu tanah. Jakarta. Akademi Pressindo. 286 hal.
- Hasanah, Y., Esther, T., & Mariati. (2015). Respons Pertumbuhan dan Produksi Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.) terhadap Pemberian Abu Vulkanik Gunung Sinabung dan Arang Sekam Padi. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, Vol.3 (3): 956– 962.
- Kiggundu, N. and Sittamukyo, J. (2019). Pyrolysis of coffee husk for biochar production. *Journal of Environmental Protection*, 10:1553-1564.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812-1836.

- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., ... & Neves, E. G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1719-1730.
- Liu, X., Zhang, A., Ji, C., Joseph, S., Bian, R., Li, L., ... & Pan, G. (2020). Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions—a meta-analysis of literature data. *Plant and Soil*, 450(1), 259-272.
- Major, J., Lehmann, J., Rondon, M., & Goodale, C. (2010). Fate of soil-applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration. *Global Change Biology*, 16(4), 1366-1379.
- McLean, E. O. (1982). Soil pH and lime requirement. In: Page, A.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Agronomy Monograph No. 9. ASA-SSSA, Madison, WI, pp. 199-224.
- Mekonnen, M., Charles, M., & Kim, M. G. (2020). Assessment of coffee husk compost and its effect on growth and yield of tomato plants. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 9(3), 239-248.
- Novak, J. M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J. W., Steiner, C., Das, K. C., ... & Schomberg, H. (2009). Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of Environmental Science*, 3(1), 195-206.
- Prasetyo, B. H., dan D. A. Suriadikarta. (2006). Karakteristik, potensi, dan teknologi pengelolaan tanah Ultisol untuk pengembangan pertanian lahan kering di Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian*, 25(2), 39-46.
- Rifiki, G.Y., Ilyas., Khiril, M. (2022). Efek Aplikasi Biochar Tempurung Kelapa Terhadap Sifat Kimia Ultisol dan Pertumbuhan Jagung (*Zea mays*). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7(3);422-430.
- Rondon, M. A., Lehmann, J., Ramírez, J., & Hurtado, M. (2007). Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biology and Fertility of Soils*, 43(6), 699-708.
- Ross, D. S., & Ketterings, Q. M. (2006). Recommended methods for determining soil cation exchange capacity. In: *Soil Science Society of America Book Series*.
- Lehmann, J., Gaunt, J., & Rondon, M. (2006). Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems – A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11(2), 403-427.
- Singh, B. P., Hatton, B. J., Singh, B., Cowie, A. L., & Kathuria, A. (2010). Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. *Journal of Environmental Quality*, 39(4), 1224-1235.
- Sohi, S. P., Krull, E., Lopez-Capel, E., & Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil.
- Spokas, K. A., & Reicosky, D. C. (2009). Impacts of sixteen different biochars on soil greenhouse gas production. *Annals of Environmental Science*, 3(1), 179-193.
- Steiner, C., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Nehls, T., Vasconcelos de Macedo, J. L., Blum, W. E. H., & 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 and Soil*, 291(1-2), 275-290.
- Syaputra, D., M. R. Alibasyah., dan T. Arabia. (2015). Pengaruh kompos dan dolomit terhadap beberapa sifat kimia Ultisol dan hasil kedelai (*Glycine max* L. Merrill) pada lahan berteras. *Jurnal Manajemen Sumberdaya Lahan*, 4(1), 535-542.



- Wulandari, A., Suryatmana, P., Anwar, S., & Mulyani, Y. (2018). Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi Menjadi Biochar untuk Perbaikan Sifat Kimia Tanah. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*, Universitas Sumatera Utara.
- Zhang, G., Guo, X., Li, J., Jiang, F., Chen, Y., & Zhang, L. (2017). Effects of volcanic ash on soil properties and crop productivity in the central Great Plains. *Geoderma*, 305, 191-200.
- Zhang, S., Lin, Y., He, M., Zhao, X., Peng, Z., & Zheng, H. (2019). Application of volcanic ash as a soil amendment: Its impact on soil properties and maize growth in a purple soil of Sichuan Basin, China. *Journal of Soils and Sediments*, 19(7), 2805-2816.

## **Respon Tanaman Kedelai (*Glycine max L.*) Terhadap Lama Inkubasi Kapur Dolomit Pada Ultisol**

### ***Response of Soybean Plants (*Glycine max L.*) to Long Incubation of Dolomite Lime in Ultisol***

**Muhammad Aknil Sefano<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Kota, Padang, 25175

\*Corresponding Author: [m.aknil.sefano@gmail.com](mailto:m.aknil.sefano@gmail.com)

#### **ABSTRAK**

Aluminium merupakan sumber kemasaman utama pada Ultisol. Keracunan Aluminium dapat menghambat perpanjangan dan pertumbuhan akar primer serta menghalangi pembentukan akar lateral dan bulu akar. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kemampuan Dolomit dalam mendukung pertumbuhan tanaman kedelai pada Ultisol. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah Metode Rancangan Acak Lengkap di Rumah Kaca dengan 6 perlakuan (0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 x Aldd) dan 4 ulangan. Dari penelitian ini terlihat bahwa peningkatan dosis Dolomit dapat meningkatkan pH tanah dan diiringi dengan penurunan Aldd mulai tampak pada dosis 0,5x Al-dd.

Kata kunci: Ultisol, Kedelai, Dolomit.

#### **ABSTRACT**

Aluminum is the main source of acidity in Ultisol. Aluminum poisoning can inhibit the elongation and growth of primary roots and inhibit the formation of lateral roots and root hairs. This study aims to test the ability of Dolomite to support the growth of soybean plants on Ultisol. The method used in this study was a completely randomized design method in a greenhouse with 6 treatments (0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 x Aldd) and 4 replications. From this study, it can be seen that increasing the dose of Dolomite can increase soil pH and accompanied by a decrease in Aldd starting to appear at a dose of 0.5x Al-dd.

Key words : Sour soil, Soybean, Dolomite Lime

## PENDAHULUAN

Tanah Ultisol merupakan salah satu jenis tanah yang memiliki karakteristik khas, yaitu tingkat keasaman yang tinggi, kandungan bahan organik yang rendah, serta kejenuhan basa yang rendah. Warna tanah ini umumnya merah hingga kekuningan, yang mencerminkan tingginya kandungan oksida besi dan aluminium. Tanah Ultisol juga memiliki tekstur yang didominasi oleh fraksi liat hingga liat berpasir dengan berat volume yang relatif tinggi, berkisar antara 1,3–1,5 g/cm<sup>3</sup> (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006). Karakteristik tersebut menyebabkan rendahnya kesuburan tanah dan dapat berdampak negatif terhadap pertumbuhan serta produktivitas tanaman yang dibudidayakan.

Salah satu permasalahan utama pada tanah Ultisol adalah keberadaan aluminium dapat ditukar (Al-dd) dalam jumlah tinggi (Sefano, 2023). Aluminium merupakan unsur yang sering dijumpai dalam tanah dengan tingkat keasaman yang tinggi dan berperan penting dalam menentukan kualitas tanah. Dalam kondisi pH rendah, Al-dd dapat meracuni sistem perakaran tanaman, sehingga menghambat pertumbuhan dan perkembangan akar. Keracunan aluminium menyebabkan terganggunya perpanjangan akar primer, menghambat pembentukan akar lateral serta bulu akar, sehingga mengakibatkan sistem perakaran yang tidak efisien dalam menyerap unsur hara. Selain itu, Al memiliki kemampuan untuk berikatan dengan fosfor dalam tanah, membentuk senyawa Al-P yang tidak larut dan tidak tersedia bagi tanaman (Hakim, 1986).

Upaya untuk memperbaiki sifat kimia tanah Ultisol dapat dilakukan dengan aplikasi bahan amelioran, salah satunya adalah dolomit. Dolomit merupakan mineral karbonat yang mengandung kalsium (Ca) dan magnesium (Mg), yang dapat berperan dalam meningkatkan pH tanah serta menurunkan kadar Al-dd (Sefano, 2024). Ketika dolomit diaplikasikan ke dalam tanah, reaksi antara dolomit dan air menghasilkan ion hidroksida (OH<sup>-</sup>) yang berfungsi untuk menetralkan ion hidrogen (H<sup>+</sup>) serta mengendapkan Al<sup>3+</sup> menjadi bentuk yang tidak larut dan tidak toksik bagi tanaman. Selain itu, kation Ca<sup>2+</sup> dan Mg<sup>2+</sup> yang dilepaskan oleh dolomit juga berperan dalam meningkatkan kejenuhan basa serta ketersediaan unsur hara bagi tanaman.

Waktu inkubasi dolomit dalam tanah menjadi faktor penting yang menentukan efektivitas perbaikannya terhadap sifat kimia tanah. Inkubasi memungkinkan dolomit untuk bereaksi secara optimal dengan tanah sebelum dilakukan penanaman, sehingga dapat memberikan dampak positif terhadap pH, kejenuhan basa, dan kadar Al-dd dalam tanah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh waktu inkubasi dolomit terhadap perbaikan sifat kimia tanah Ultisol, terutama dalam meningkatkan pH dan menurunkan kadar Al-dd, guna mendukung pertumbuhan dan produksi tanaman kedelai (*Glycine max* L.).

## MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November sampai bulan Desember 2021 di Rumah Kaca Fakultas Pertanian, Universitas Andalas. Adapun analisis kimia tanah dilakukan di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Jurusan Tanah Fakultas Pertanian, Universitas Andalas. Penelitian akan dirancang menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAK) sederhana, terdiri atas 6 perlakuan dengan 4 kelompok. Macam perlakuan yang dicoba disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Rancangan Perlakuan.

| NO | PERLAKUAN      | Dosis Dolomit |
|----|----------------|---------------|
| 1  | A (0x Al-dd)   | 0 g           |
| 2  | B (0,5x Al-dd) | 15 g          |
| 3  | C (1x Al-dd)   | 30 g          |
| 4  | D (1,5x Al-dd) | 45 g          |
| 5  | E (2x Al-dd)   | 60 g          |
| 6  | F (2,5x Al-dd) | 75 g          |

Persiapan plot dilakukan dengan cara menimbang tanah sebanyak 10 kg tanah kering mutlak lalu dimasukkan kedalam ember untuk diinkubasi selama 8 minggu lalu dimasukkan kedalam Rumah Kaca untuk pengamatan. Plot diberi kapur dolomit sesuai dengan dosis yang dicoba lalu diinkubasi sampai minggu ke-8. 1 minggu setelah inkubasi, diberikan indikator tanaman Kedelai sebagai parameter pertumbuhan tanaman. Pengamatan dilakukan pada minggu ke- 1, 2, 4, 6, dan 8. Adapun parameter yang diamati adalah nilai pH tanah (metode Elektrometri) dan Al-dd (metode ekstraksi dengan KCl 1M) dan pertumbuhan tinggi tanaman. Data hasil penelitian ditampilkan dalam bentuk grafik dan diolah secara statistik dengan uji-F pada taraf nyata 1% dan 5%. Setelah itu dilakukan uji lanjut BNT jika berbeda secara nyata.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. pH dan Al-dd Ultisol Limau Manis

Tanah Ultisol merupakan salah satu tanah yang tersebar luas di wilayah tropis, termasuk Indonesia. Tanah ini dicirikan oleh pH yang rendah dan kadar Al-dd yang tinggi. Hasil analisis pH dan Al-dd tanah awal disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Kadar pH dan Al-dd Ultisol Limau Manis

| No | Analisis | Hasil | Kriteria     |
|----|----------|-------|--------------|
| 1  | pH Tanah | 4.24  | Sangat Masam |
| 2  | Al-dd    | 3.31  | Tinggi       |

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa Ultisol Limau Manis mempunyai tingkat kemasaman yang tinggi dengan kemasaman tanah pada kriteria sangat masam, yaitu ditunjukkan oleh nilai pH 4,24. Pada kisaran pH <4,5 menunjukkan kriteria kemasaman yang sangat tinggi dimana Al pada kompleks pertukaran berada dalam jumlah yang besar (Anwar dan Sudadi, 2013). Hal ini disebabkan oleh tingginya curah hujan yang mencapai 5000 mm/tahun di daerah ini menurut Yulnafatmawita *et al*, (2010) sehingga terjadi pencucian unsur hara ke lapisan bawah dan menyisakan unsur-unsur logam seperti Al, Fe, Mn dan lain-lain yang beracun bagi tanaman. Tingginya kandungan Al-dd dalam Ultisol dan menjadi salah satu kendala utama dalam pengelolaannya untuk pertanian, karena  $Al^{3+}$  dalam larutan tanah dapat berinteraksi dengan akar tanaman dan menyebabkan efek fitotoksik yang merugikan tanaman. Keberadaan aluminium dalam jumlah tinggi di tanah masam dapat menyebabkan hambatan dalam pertumbuhan akar tanaman.  $Al^{3+}$  mempengaruhi metabolisme sel akar, menginduksi stres oksidatif, serta menghambat penyerapan unsur hara esensial seperti kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan fosfor (P). Akibatnya, tanaman yang tumbuh di tanah dengan

kandungan Al tinggi cenderung mengalami defisiensi hara, pertumbuhan terhambat, dan hasil panen yang rendah.

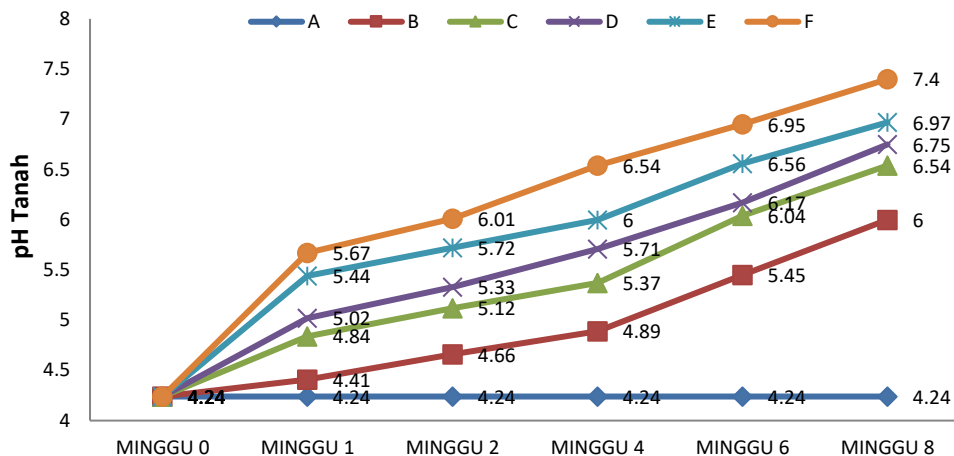
## 2. Analisis tanah setelah pemberian dolomit dan inkubasi

Efektivitas dolomit dalam meningkatkan pH tanah dan menurunkan Al-dd sangat dipengaruhi oleh waktu inkubasi. Waktu inkubasi yang lebih lama memungkinkan reaksi netralisasi berjalan lebih optimal, sehingga dampaknya terhadap sifat kimia tanah menjadi lebih signifikan. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa peningkatan pH akibat aplikasi dolomit dapat terlihat dalam rentang waktu 2 hingga 12 minggu setelah aplikasi, tergantung pada dosis dan kondisi tanah. Adapun hasil analisis tanah setelah perlakuan disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisis tanah setelah perlakuan.

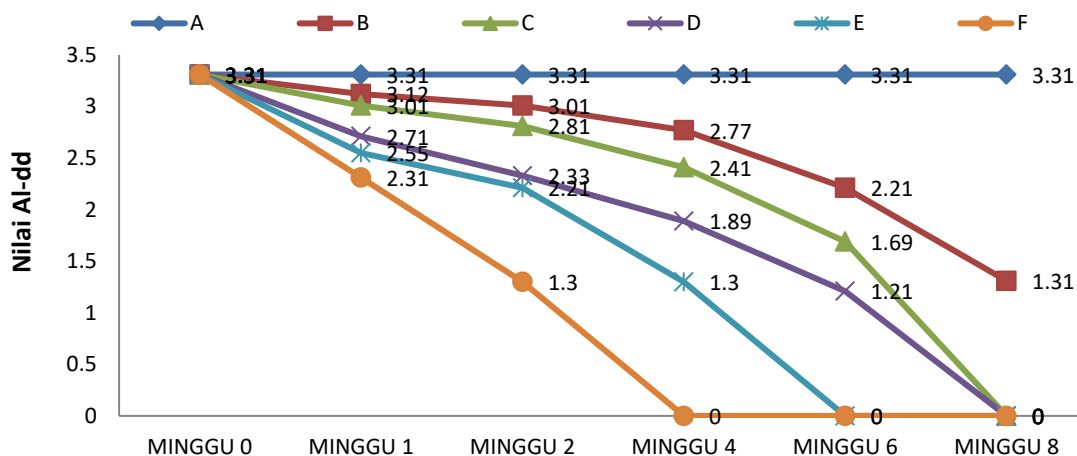
| Perlakuan             | Analisis | Inkubasi (Minggu) |      |      |      |      |
|-----------------------|----------|-------------------|------|------|------|------|
|                       |          | Ke-1              | Ke-2 | Ke-4 | Ke-6 | Ke-8 |
| <b>A (Kontrol)</b>    | pH       | 4,24              | 4,25 | 4,24 | 4,24 | 4,24 |
|                       | Aldd     | 3,31              | 3,31 | 3,31 | 3,31 | 3,31 |
| <b>B (0,5x Al-dd)</b> | pH       | 4,41              | 4,66 | 4,89 | 5,45 | 6,00 |
|                       | Aldd     | 3,12              | 3,01 | 2,77 | 2,21 | 1,31 |
| <b>C (1x Al-dd)</b>   | pH       | 4,84              | 5,12 | 5,37 | 6,04 | 6,54 |
|                       | Aldd     | 3,01              | 2,81 | 2,41 | 1,28 | a    |
| <b>D (1,5x Al-dd)</b> | pH       | 5,02              | 5,33 | 5,71 | 6,17 | 6,75 |
|                       | Aldd     | 2,71              | 2,33 | 1,89 | 1,21 | a    |
| <b>E (2x Al-dd)</b>   | pH       | 5,44              | 5,72 | 6,00 | 6,56 | 6,97 |
|                       | Aldd     | 2,55              | 2,21 | 1,30 | a    | a    |
| <b>F (2,5x Al-dd)</b> | pH       | 5,67              | 6,01 | 6,54 | 6,95 | 7,40 |
|                       | Aldd     | 2,31              | 1,30 | a    | a    | a    |

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa peningkatan dosis Dolomit dapat meningkatkan pH tanah, yaitu peningkatan pH mulai tampak pada dosis 0,5x Al-dd. Peningkatan pH juga dapat dilihat pada Gambar 1. menunjukkan peningkatan pH tanah semakin meningkat dengan peningkatan dosis Dolomit yang diberikan sampai pada dosis 2,5 x Al-dd. Pada dosis ini sudah terjadi netralisasi kemasaman tanah dengan pemberian pembenah tanah atau pengapuran dolomit karena pH sudah meningkat diatas nilai pH 5,5. Pada kondisi ini Al yang berada dalam bentuk polimer secara lambat akan dikonversi menjadi bentuk gipsit atau bahan lain menyerupai Gipsit (*gipsitic-like*) (Anwar dan Sudadi, 2013). Secara statistik setiap perlakuan yang diberikan berbeda secara nyata yang artinya dolomit benar-benar memberikan respon yang tinggi. Untuk lebih jelas data Tabel 3 disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut :



Gambar 1. Peningkatan nilai pH setiap minggu inkubasi

Konsentrasi Al-dd adalah indikator yang menunjukkan tingkat kemasaman tanah, hal ini juga dapat dilihat pada Tabel 3, yaitu terdapat penurunan Al-dd tanah dengan pemberian pembenah tanah yakni kapur dolomit. Penurunan Al-dd mulai terlihat pada inkubasi minggu pertama setelah pemberian perlakuan kapur. Dan terus menurun sampai minggu ke-8 inkubasi untuk semua perlakuan. Adapun pada minggu ke-8 dari dosis 1x Al-dd sudah terlihat bahwa kelarutan Al-dd mulai tidak terukur dengan pH 6,5. Peningkatan dosis kapur sampai 2,5 x Al-dd menurunkan kelarutan Al-dd pada minggu ke 4. Artinya untuk mencapai pH 6,5 lebih semakin tinggi dosis kapur yang diberikan maka semakin cepat pH meningkat dan konsentrasi Al-dd menurun. Pada gambar 2. dapat dilihat bahwa pemberian 0,5x Al-dd pada minggu ke-8 sudah mampu menetralkan Al-dd tanah. Selanjutnya pada dosis 2.5x Al-dd tanah pada minggu ke-4 sudah dapat dinetralkan. Berdasarkan uji lanjut di Lampiran 1, maka dosis kapur yang dianjurkan untuk diaplikasikan adalah pada dosis 0,5 x Al-dd.



Gambar 2. Penurunan kadar Al-dd tanah setiap minggu inkubasi

Efektifitas pemberian bahan pembenah tanah untuk kapur Dolomit mampu meningkatkan pH sampai 7,4 pada dosis 2,5x Al-dd pada inkubasi minggu ke 8. Namun pada dosis ini di minggu

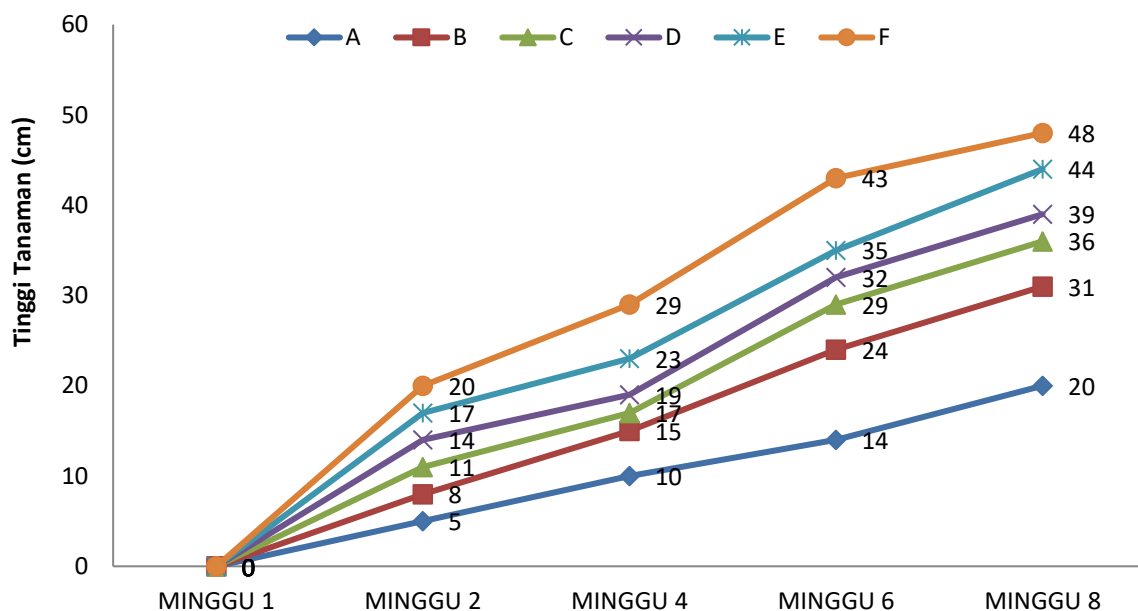
ke-4 sudah meningkatkan pH pada kriteria agak masam (6,5) (Balittanah 2012). Namun untuk pertumbuhan tanaman sudah maksimal mulai pada perlakuan kapur 0,5 x Al-dd. Dolomit merupakan salah satu bahan pembenah tanah yang efektif dalam meningkatkan pH tanah dan menurunkan kadar Al-dd. Kandungan utama dolomit adalah  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{MgCO}_3$  yang berfungsi sebagai sumber Ca dan Mg bagi tanah serta tanaman. Reaksi dolomit dalam tanah dapat dituliskan sebagai berikut:



Reaksi ini menunjukkan bahwa dolomit mampu menetralkan ion  $\text{H}^+$  dalam tanah, sehingga meningkatkan pH dan mengurangi keasaman tanah. Selain itu, peningkatan  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  dalam larutan tanah juga berkontribusi terhadap peningkatan kejenuhan basa serta meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman.

### 3. Pertumbuhan tanaman

Tanaman kedelai sangat sensitif terhadap kemasaman tanah. Data pertumbuhan tanaman disajikan pada gambar 3.



Gambar 3. Pertumbuhan tanaman setiap minggu inkubasi

Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa dengan meningkatnya dosis dolomit yang diberikan memberikan efek yang baik untuk pertumbuhan tanaman yakni peningkatan dosis kapur meningkatkan tinggi tanaman. Artinya kapur dolomit mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman dibandingkan dengan tanpa diberikan kapur. Tinggi tanaman paling tinggi pada minggu awal pengamatan (minggu ke-2) adalah pada dosis 2,5 x Al-dd. Hal ini terjadi karena kondisi tanah yang sudah semakin kondusif bagi perakaran tanaman. Sejalan dengan meningkatnya pH tanah, maka ketersediaan unsur hara juga semakin baik. Secara statistik pertumbuhan tanaman juga memperlihatkan beda nyata dengan tanaman kontrol.



## KESIMPULAN

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pemberian dolomit pada tanah Ultisol mampu memperbaiki sifat tanah terutama pH dan Al-dd serta direspon oleh tanaman melalui peningkatan pertumbuhan tanaman. Dengan pemberian dolomit sebanyak 0,5 x Al-dd sudah mampu meningkatkan pH tanah dan menurunkan Al-dd tanah serta meningkatkan pertumbuhan tanaman.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, S dan U. Sudadi. 2013. Diktat Kuliah Kimia Tanah. Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Balai Penelitian Tanah. 2012. Petunjuk Teknis Analisis Air, dan Pupuk. BBSDLP. Bogor.
- Brady, N.C., & Weil, R.R. (2008). The Nature and Properties of Soils. Prentice Hall.
- Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R.E., De Deyn, G., de Goede, R., ... & Brussaard, L. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105-125.
- Sefano, M. A., Maira, L., Darfis, I., Yunanda, W. W., & Nursalam, F. (2023). Kajian aktivitas mikroorganisme tanah pada rhizosfir jagung (*Zea mays* L.) dengan pemberian pupuk organik pada ultisol. *JOURNAL OF TOP AGRICULTURE (TOP JOURNAL)*, 1(1), 31–39. <https://ejurnal.bangunharapanbangsa.id/index.php/JTA/article/view/74>
- Sefano, M. A., Juniarti, & Gusnidar. (2024). Land Suitability Evaluation For Okra (*Abelmoschus Esculentus* L.) In Nagari Nanggalo, Koto XI Tarusan District, Pesisir Selatan Regency, Indonesia Using GIS-AHP Technique. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 16(2). <https://doi.org/10.13033/ijahp.v16i2.1246>
- Tian, G., L. Brussard, B.T., Kang and M.J. Swift. 1997. Soil fauna-mediated decomposition of plant residues under contreined environmental and residue quality condition. In *Driven by Nature Plant Litter Quality and Decomposition*, Department of 30 Biological Sciences. (Eds Cadisch, G. and Giller, K.E.), pp. 125-134. Wey College, University of London, UK.
- Vitousek, P.M., dan Sanford Jr., R.L.. 1985. *Nutrient cycling in moist tropical forest*. Annual Review of Ecology and Systematics.
- Wander, M.M, Gerald L., Walter, Tood M., Nissen, German A. Bollero, Susan S. Andrews dan Deborah A. Cavanaugh-Grant. 2002. Soil Quality : Science and Procees. *Agron. J.* 94 : 23 ±32. Illinois USA.
- Prasetyo, B. H., dan D. A. Suriadikarta. (2006). Klasifikasi, Potensi dan Teknologi Pengelolaan Tanah Ultisol -Pengembangan Lahan Kering di Indonesia. Diakses dari <http://litbang.deptan.go.id>
- Yulnafatmawita, dan Hidrayanti. 2020. Laporan Penelitian: Pengujian Efektivitas Pupuk Kompos PT. Tancimas Wisin Jaya Pada Tanaman Jagung (*Zea Mays* L.). Universitas Andalas. Padang.

## **Pertanian Berkelanjutan Berbasis AHP dan Multi-Criteria Decision Analysis: Sebuah Tinjauan Kritis**

### ***Sustainable Agriculture Based on AHP and Multi-Criteria Decision Analysis: A Critical Review***

**Muhammad Aknil Sefano<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Kampus  
Limau Manis, Kota, Padang, 25175

\*Corresponding Author: [m.aknil.sefano@gmail.com](mailto:m.aknil.sefano@gmail.com)

#### **ABSTRAK**

Penelitian ini mengkaji penerapan Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) dalam mendukung pengambilan keputusan di bidang pertanian berkelanjutan. AHP digunakan untuk menentukan bobot kriteria keberlanjutan secara hierarkis, sementara MCDA mengintegrasikan bobot tersebut dengan data kuantitatif dan kualitatif untuk mengevaluasi alternatif praktik pertanian. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi kedua metode ini efektif dalam menghasilkan keputusan yang holistik, meskipun menghadapi tantangan subjektivitas dan keterbatasan data. Pendekatan partisipatif dan validasi hasil melalui analisis sensitivitas terbukti meningkatkan akurasi dan relevansi keputusan.

Kata kunci: AHP, MCDA, Pertanian berkelanjutan

#### **ABSTRACT**

*This study examines the application of the Analytical Hierarchy Process (AHP) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) in supporting decision-making for sustainable agriculture. AHP is utilized to determine the hierarchical weighting of sustainability criteria, while MCDA integrates these weights with both quantitative and qualitative data to evaluate alternative agricultural practices. The results indicate that the combination of these methods is effective in generating holistic decisions, despite challenges related to subjectivity and data limitations. A participatory approach and result validation through sensitivity analysis have been shown to enhance the accuracy and relevance of decision-making.*

*Key words : AHP, MCDA, Sustainable agriculture*

## 1. PENDAHULUAN

Pertanian berkelanjutan menjadi salah satu fokus utama dalam upaya global untuk mengatasi tantangan lingkungan, ekonomi, dan sosial. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa praktik pertanian tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga menjaga keseimbangan ekosistem dan kesejahteraan Masyarakat (Arora et al., 2022). Dalam konteks ini, pengambilan keputusan yang tepat menjadi krusial, mengingat kompleksitas dan saling keterkaitan antara berbagai dimensi keberlanjutan (Burak et al., 2022). Oleh karena itu, diperlukan metode yang mampu mengintegrasikan data kuantitatif dan kualitatif untuk menghasilkan solusi yang holistik dan adaptif terhadap kebutuhan local (Sefano et al., 2024).

Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) telah banyak digunakan dalam penelitian pertanian berkelanjutan sebagai alat untuk mendukung pengambilan keputusan multi-kriteria (Cetinkaya et al., 2022). AHP memungkinkan penguraian masalah yang kompleks menjadi struktur hierarkis yang lebih sederhana, sementara MCDA menyediakan kerangka kerja untuk mengevaluasi berbagai alternatif berdasarkan sejumlah kriteria yang saling bertentangan. Kombinasi kedua metode ini memberikan peluang untuk mengidentifikasi prioritas dan alternatif terbaik dengan mempertimbangkan dimensi lingkungan, ekonomi, dan sosial secara simultan. Hal ini menjadikan AHP dan MCDA sebagai pendekatan yang relevan dalam mendukung keberlanjutan (Chu & Le, 2022).

Namun, penerapan AHP dan MCDA tidak terlepas dari tantangan, terutama dalam hal subjektivitas penentuan bobot kriteria dan keterbatasan data yang tersedia. Preferensi yang beragam di antara pemangku kepentingan sering kali memengaruhi hasil analisis, sehingga diperlukan pendekatan partisipatif untuk memastikan bahwa keputusan yang diambil mencerminkan kebutuhan yang beragam (Cicciù et al., 2022). Selain itu, validasi hasil melalui analisis sensitivitas dan diskusi dengan pemangku kepentingan menjadi langkah penting untuk meningkatkan keandalan dan akurasi. Dengan mengatasi tantangan ini, AHP dan MCDA memiliki potensi besar untuk mendukung pengambilan keputusan yang inklusif dan berbasis bukti dalam pertanian berkelanjutan (Coruhlu et al., 2022).

Pendekatan Analytical Hierarchy Process (AHP) merupakan salah satu metode pengambilan keputusan yang sering digunakan dalam penelitian pertanian berkelanjutan. AHP memungkinkan pengambilan keputusan yang kompleks dengan membagi masalah menjadi hierarki yang lebih sederhana (Chu & Le, 2022). Dalam konteks pertanian berkelanjutan, AHP digunakan untuk mengevaluasi berbagai alternatif praktik pertanian berdasarkan kriteria lingkungan, ekonomi, dan sosial. Teori ini relevan karena kemampuannya untuk mengintegrasikan data kuantitatif dan kualitatif, sehingga menghasilkan keputusan yang lebih holistik dan terinformasi (Erdoğan, 2022).

Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) melengkapi AHP dengan menyediakan kerangka kerja untuk mengevaluasi berbagai alternatif berdasarkan sejumlah kriteria yang saling bertentangan (Arora et al., 2022). MCDA memungkinkan peneliti untuk mempertimbangkan dimensi keberlanjutan secara bersamaan, seperti efisiensi penggunaan sumber daya, dampak lingkungan, dan kesejahteraan petani. Dalam teori

ini, penting untuk menimbang bobot setiap kriteria secara proporsional, sehingga keputusan yang diambil mencerminkan prioritas yang seimbang antara berbagai aspek keberlanjutan.

Kombinasi AHP dan MCDA dalam penelitian pertanian berkelanjutan didasarkan pada teori pengambilan keputusan multi-kriteria yang berakar pada matematika terapan dan ilmu social (Chu & Le, 2022). Teori ini menekankan pentingnya struktur hierarkis dalam analisis keputusan, di mana setiap tingkat hierarki mencerminkan aspek-aspek spesifik dari masalah yang diteliti. Pendekatan ini memungkinkan integrasi data dari berbagai sumber, baik yang bersifat objektif maupun subjektif, untuk menghasilkan solusi yang lebih adaptif terhadap kebutuhan local (Arora et al., 2022).

Dalam penerapannya, AHP dan MCDA sering kali menggunakan prinsip utilitarianisme, yang mengutamakan hasil terbaik bagi sebanyak mungkin pihak. Teori ini relevan dalam konteks pertanian berkelanjutan karena menekankan keseimbangan antara keuntungan ekonomi dan pelestarian lingkungan (Arora et al., 2022). Dengan demikian, pendekatan ini tidak hanya memberikan solusi teknis, tetapi juga mempertimbangkan dampak jangka panjang terhadap ekosistem dan masyarakat, sesuai dengan prinsip-prinsip keberlanjutan. Namun, teori ini juga menghadapi tantangan, terutama dalam hal subjektivitas penentuan bobot kriteria dan ketergantungan pada data yang tersedia. Dalam konteks pertanian berkelanjutan, tantangan ini dapat diatasi dengan pendekatan partisipatif yang melibatkan berbagai pemangku kepentingan (Chu & Le, 2022). Dengan demikian, teori AHP dan MCDA tidak hanya menjadi alat analisis, tetapi juga menjadi sarana untuk membangun konsensus dan meningkatkan akuntabilitas dalam pengambilan keputusan.

## 2. METODE

### 2.1. Pengumpulan Data dan Identifikasi Kriteria Keberlanjutan

Pengumpulan data dilakukan melalui pendekatan campuran yang melibatkan survei, wawancara mendalam, dan studi literatur. Survei dirancang untuk mengumpulkan data kuantitatif dari petani, pemangku kepentingan, dan ahli di bidang pertanian berkelanjutan, sementara wawancara mendalam digunakan untuk memperoleh wawasan kualitatif terkait praktik lokal dan tantangan keberlanjutan. Studi literatur dilakukan untuk mengidentifikasi kriteria keberlanjutan yang relevan berdasarkan penelitian sebelumnya. Data yang terkumpul mencakup aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial, seperti efisiensi penggunaan air, pendapatan petani, dan kesejahteraan masyarakat. Semua data kemudian dikategorikan dan disusun untuk mempermudah proses analisis lebih lanjut (Sefano et al., 2024).

Identifikasi kriteria keberlanjutan dilakukan dengan melibatkan para ahli dan pemangku kepentingan melalui diskusi terfokus (*focus group discussions*). Proses ini bertujuan untuk menentukan kriteria yang paling relevan dan signifikan dalam konteks lokal. Setiap kriteria dievaluasi berdasarkan relevansi, kelayakan pengukuran, dan kontribusinya terhadap tujuan keberlanjutan (Coruhlu et al., 2022). Kriteria yang diidentifikasi mencakup dimensi lingkungan, seperti konservasi tanah dan air; dimensi ekonomi, seperti produktivitas dan efisiensi biaya; serta dimensi sosial, seperti partisipasi

masyarakat dan keamanan pangan. Pendekatan partisipatif ini memastikan bahwa kriteria yang dipilih mencerminkan kebutuhan dan prioritas lokal (Sefano et al., 2024).

Setelah kriteria diidentifikasi, setiap kriteria diberi bobot awal berdasarkan masukan dari para ahli dan analisis literatur. Bobot ini mencerminkan tingkat kepentingan relatif masing-masing kriteria dalam mencapai keberlanjutan. Proses pemberian bobot dilakukan menggunakan metode *pairwise comparison*, di mana setiap kriteria dibandingkan secara berpasangan untuk menentukan prioritasnya. Data dari hasil perbandingan ini kemudian diolah menggunakan perangkat lunak analisis AHP untuk memastikan konsistensi dan akurasi bobot yang diberikan. Hasil akhir dari proses ini adalah daftar kriteria keberlanjutan yang terstruktur dan berbobot, yang akan digunakan dalam tahap analisis lebih lanjut (Coruhlu et al., 2022).

## 2.2. Penerapan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)

Penerapan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) dimulai dengan membangun struktur hierarki yang mencerminkan permasalahan pengambilan keputusan dalam pertanian berkelanjutan. Hierarki ini terdiri dari tiga tingkat utama, yaitu tujuan utama di tingkat atas, kriteria keberlanjutan di tingkat tengah, dan alternatif praktik pertanian di tingkat bawah (Cicciù et al., 2022). Struktur ini dirancang berdasarkan kriteria yang telah diidentifikasi sebelumnya melalui diskusi dengan para ahli dan pemangku kepentingan. Setiap elemen dalam hierarki disusun secara sistematis untuk memastikan bahwa semua aspek keberlanjutan, termasuk dimensi lingkungan, ekonomi, dan sosial, terwakili secara proporsional dalam proses pengambilan keputusan (Cetinkaya et al., 2022).

Langkah berikutnya adalah melakukan perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) untuk setiap kriteria dan subkriteria dalam hierarki. Proses ini melibatkan pemberian nilai preferensi oleh para ahli dan pemangku kepentingan berdasarkan tingkat kepentingan relatif antar kriteria. Nilai preferensi ini diberikan menggunakan skala numerik yang telah ditentukan, misalnya skala 1 hingga 9, di mana angka yang lebih tinggi menunjukkan tingkat kepentingan yang lebih besar (Chu & Le, 2022). Data hasil perbandingan berpasangan kemudian diolah menggunakan perangkat lunak khusus AHP untuk menghitung bobot prioritas masing-masing kriteria. Konsistensi data juga dievaluasi untuk memastikan validitas hasil (Cicciù et al., 2022).

Setelah bobot kriteria ditentukan, langkah selanjutnya adalah mengevaluasi alternatif praktik pertanian berdasarkan bobot tersebut. Setiap alternatif dinilai terhadap masing-masing kriteria menggunakan data kuantitatif dan kualitatif yang telah dikumpulkan sebelumnya (Kazemi & Hosseinpour, 2022). Penilaian ini dilakukan dengan melibatkan para ahli untuk memastikan bahwa setiap alternatif dievaluasi secara objektif dan sesuai dengan konteks lokal. Hasil evaluasi kemudian digunakan untuk menghitung skor akhir dari setiap alternatif, yang mencerminkan tingkat keberlanjutannya (Erdoğan, 2022). Alternatif dengan skor tertinggi dianggap sebagai opsi terbaik untuk mendukung pertanian berkelanjutan di wilayah studi.

## 2.3. Integrasi Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)

Integrasi Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) dilakukan dengan menggabungkan bobot kriteria yang diperoleh dari metode AHP dengan data kuantitatif dan kualitatif yang telah dikumpulkan (Everest & Gür, 2022). Proses ini dimulai dengan menyusun matriks evaluasi yang mencakup semua alternatif praktik pertanian dan kriteria keberlanjutan yang telah diidentifikasi. Setiap alternatif dinilai berdasarkan kriteria

menggunakan skala numerik yang seragam untuk memastikan konsistensi. Penilaian dilakukan dengan melibatkan para ahli dan pemangku kepentingan untuk mengintegrasikan perspektif lokal. Data yang terkumpul kemudian diolah menggunakan perangkat lunak MCDA untuk menghasilkan skor komposit yang mencerminkan performa setiap alternatif terhadap seluruh kriteria (Goodarzi, 2022).

Langkah berikutnya adalah menentukan prioritas alternatif berdasarkan skor komposit yang dihasilkan dari analisis MCDA. Proses ini melibatkan normalisasi data untuk memastikan bahwa semua kriteria memiliki skala yang sebanding, sehingga tidak ada kriteria yang mendominasi hasil akhir secara tidak proporsional. Normalisasi dilakukan dengan metode linear atau non-linear, tergantung pada sifat data yang tersedia. Setelah data dinormalisasi, skor akhir dihitung dengan mengalikan bobot kriteria dengan nilai normalisasi masing-masing alternatif. Hasil ini kemudian dirangkum dalam bentuk peringkat alternatif, yang menunjukkan opsi terbaik untuk mendukung pertanian berkelanjutan berdasarkan analisis multi-kriteria (Kazemi & Hosseinpour, 2022).

Untuk memastikan keandalan hasil, analisis sensitivitas dilakukan sebagai bagian dari integrasi MCDA. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi bagaimana perubahan bobot kriteria memengaruhi peringkat alternatif. Proses ini melibatkan simulasi dengan mengubah bobot kriteria secara sistematis dalam rentang tertentu dan mengamati dampaknya terhadap hasil akhir. Jika peringkat alternatif tetap konsisten meskipun terjadi perubahan bobot, maka hasil analisis dianggap robust. Analisis sensitivitas ini juga membantu mengidentifikasi kriteria yang paling berpengaruh terhadap keputusan, sehingga dapat menjadi fokus utama dalam pengambilan kebijakan di masa depan (Kim & Sung, 2022).

## 2.4. Analisis Data dan Evaluasi Alternatif

Proses analisis data dimulai dengan pengolahan hasil perbandingan berpasangan yang telah dilakukan dalam metode AHP. Data yang diperoleh dari pairwise comparison diolah menggunakan perangkat lunak khusus untuk menghitung bobot prioritas setiap kriteria. Selanjutnya, bobot ini digunakan untuk mengevaluasi alternatif praktik pertanian berdasarkan data kuantitatif dan kualitatif yang telah dikumpulkan. Penilaian dilakukan dengan mengintegrasikan data dari berbagai sumber, termasuk survei, wawancara, dan studi literatur. Setiap alternatif dinilai terhadap masing-masing kriteria keberlanjutan, seperti efisiensi sumber daya, dampak lingkungan, dan kesejahteraan sosial, untuk menghasilkan skor awal yang mencerminkan performa relatifnya (Everest & Gür, 2022).

Setelah skor awal diperoleh, langkah berikutnya adalah menyusun matriks evaluasi yang mencakup semua alternatif dan kriteria keberlanjutan. Matriks ini digunakan dalam analisis MCDA untuk menghitung skor komposit setiap alternatif. Proses ini melibatkan normalisasi data agar skala penilaian antar kriteria menjadi sebanding. Normalisasi dilakukan menggunakan metode linear, di mana nilai setiap alternatif disesuaikan dengan rentang nilai minimum dan maksimum pada masing-masing kriteria. Skor komposit dihitung dengan mengalikan bobot kriteria dengan nilai normalisasi setiap alternatif, kemudian menjumlahkan hasilnya untuk menghasilkan peringkat akhir (Goodarzi, 2022).

Evaluasi alternatif dilengkapi dengan analisis sensitivitas untuk memastikan keandalan hasil. Dalam analisis ini, bobot kriteria diubah secara sistematis dalam rentang tertentu untuk mengamati dampaknya terhadap peringkat alternatif (Kim & Sung, 2022). Proses ini dilakukan dengan simulasi menggunakan perangkat lunak MCDA, yang memungkinkan identifikasi kriteria yang paling berpengaruh terhadap keputusan akhir



(Kazemi & Hosseinpour, 2022). Jika peringkat alternatif tetap konsisten meskipun terjadi perubahan bobot, hasil analisis dianggap robust. Analisis ini juga membantu mengidentifikasi potensi bias dalam bobot kriteria dan memberikan wawasan tambahan untuk pengambilan keputusan yang lebih informatif.

## 2.5. Validasi dan Interpretasi Hasil

Proses validasi hasil dilakukan dengan menggunakan analisis sensitivitas untuk mengevaluasi stabilitas peringkat alternatif terhadap perubahan bobot kriteria. Analisis ini melibatkan simulasi dengan mengubah bobot kriteria dalam rentang tertentu dan mengamati dampaknya terhadap peringkat akhir. Jika peringkat alternatif tetap konsisten meskipun terjadi variasi bobot, maka hasil dianggap valid dan robust. Selain itu, validasi juga dilakukan dengan membandingkan hasil analisis dengan data empiris atau studi kasus yang relevan, guna memastikan bahwa keputusan yang dihasilkan mencerminkan kondisi nyata di lapangan. Proses ini melibatkan diskusi dengan para ahli untuk meninjau hasil secara kritis (Kılıc et al., 2023).

Interpretasi hasil dilakukan dengan menganalisis skor komposit dari setiap alternatif praktik pertanian berdasarkan kriteria keberlanjutan yang telah ditentukan. Skor ini digunakan untuk mengidentifikasi alternatif yang memiliki performa terbaik dalam memenuhi tujuan keberlanjutan. Interpretasi dilakukan dengan mempertimbangkan dimensi lingkungan, ekonomi, dan sosial secara seimbang, sehingga hasil analisis dapat memberikan rekomendasi yang holistik. Selain itu, hasil juga disajikan dalam bentuk visual, seperti grafik atau diagram, untuk mempermudah pemahaman dan komunikasi kepada pemangku kepentingan. Proses ini memastikan bahwa hasil dapat diakses dan dimanfaatkan secara efektif (Kucuker & Giraldo, 2022).

Untuk memastikan keandalan interpretasi, dilakukan validasi tambahan melalui pendekatan partisipatif dengan melibatkan pemangku kepentingan lokal. Diskusi kelompok terfokus (*focus group discussions*) digunakan untuk mengonfirmasi relevansi dan kelayakan hasil analisis dalam konteks lokal. Pemangku kepentingan diminta untuk memberikan masukan terkait hasil yang diperoleh, termasuk potensi implikasi dan tantangan dalam implementasi alternatif yang direkomendasikan. Masukan ini kemudian digunakan untuk memperbaiki interpretasi dan memastikan bahwa rekomendasi yang dihasilkan dapat diterima dan diimplementasikan secara praktis. Pendekatan ini juga meningkatkan akuntabilitas dan transparansi dalam proses pengambilan keputusan (Otieno et al., 2023).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Analisis Efektivitas AHP dalam Menentukan Kriteria Keberlanjutan Pertanian

Hasil analisis menunjukkan bahwa metode AHP efektif dalam menentukan kriteria keberlanjutan pertanian melalui pendekatan hierarkis yang sistematis. Dengan menggunakan pairwise comparison, bobot kriteria dapat ditentukan secara kuantitatif berdasarkan masukan dari para ahli dan pemangku kepentingan. Proses ini memungkinkan identifikasi prioritas yang jelas antara kriteria lingkungan, ekonomi, dan sosial. Validitas hasil diperkuat dengan evaluasi konsistensi, yang menunjukkan bahwa nilai rasio konsistensi berada di bawah ambang batas 0,1, menandakan akurasi dan keandalan penghitungan (Everest & Gür, 2022).



Selain itu, metode ini memberikan fleksibilitas dalam mengakomodasi berbagai perspektif yang berbeda. Dalam konteks keberlanjutan pertanian, pendekatan ini memungkinkan penggabungan data kuantitatif, seperti hasil pengukuran efisiensi biaya, dengan data kualitatif, seperti persepsi masyarakat terhadap dampak lingkungan. Hal ini memberikan keunggulan dibandingkan metode lain yang cenderung hanya fokus pada salah satu jenis data. Dengan demikian, AHP tidak hanya membantu menentukan prioritas, tetapi juga memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang hubungan antar kriteria. Misalnya, hubungan antara konservasi tanah dan efisiensi biaya dapat dianalisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi potensi sinergi atau konflik yang mungkin muncul dalam implementasi kebijakan (Cicciù et al., 2022).

Kriteria keberlanjutan yang diidentifikasi mencakup konservasi tanah dan air, efisiensi biaya, serta partisipasi masyarakat. Hasil menunjukkan bahwa kriteria lingkungan, seperti konservasi tanah dan air, memiliki bobot yang lebih tinggi dibandingkan dimensi lainnya. Hal ini mencerminkan pentingnya aspek lingkungan dalam mendukung keberlanjutan jangka panjang (Kucuker & Giraldo, 2022). Namun, dimensi ekonomi dan sosial tetap memiliki bobot signifikan, menunjukkan perlunya pendekatan yang seimbang untuk mencapai keberlanjutan yang holistik.

Proses pemberian bobot melalui AHP juga mengungkapkan adanya variasi preferensi di antara pemangku kepentingan. Misalnya, petani lokal lebih memprioritaskan efisiensi biaya dan pendapatan, sementara ahli lingkungan lebih menekankan konservasi sumber daya alam (Kilic et al., 2023). Perbedaan ini menunjukkan pentingnya melibatkan berbagai pemangku kepentingan dalam proses pengambilan keputusan untuk memastikan bahwa hasil analisis mencerminkan kebutuhan dan prioritas yang beragam (Otieno et al., 2023).

Analisis sensitivitas yang dilakukan menunjukkan bahwa hasil bobot kriteria relatif stabil terhadap perubahan kecil dalam preferensi. Hal ini menunjukkan robustnya metode AHP dalam menentukan prioritas kriteria keberlanjutan. Namun, analisis juga mengidentifikasi bahwa kriteria dengan bobot tinggi, seperti konservasi tanah, lebih sensitif terhadap perubahan dibandingkan kriteria dengan bobot rendah. Temuan ini penting untuk mempertimbangkan potensi bias dalam pengambilan keputusan (Coruhlu et al., 2022).

Secara keseluruhan, AHP terbukti menjadi alat yang efektif dalam menentukan kriteria keberlanjutan pertanian dengan mengintegrasikan data kuantitatif dan kualitatif. Namun, keberhasilan penerapannya sangat bergantung pada kualitas data dan keterlibatan pemangku kepentingan. Pendekatan partisipatif yang melibatkan diskusi kelompok terfokus terbukti meningkatkan akurasi dan relevansi hasil. Dengan demikian, AHP tidak hanya memberikan kerangka analisis yang terstruktur, tetapi juga mendukung pengambilan keputusan yang inklusif dan transparan.

### **3.2. Evaluasi Integrasi MCDA dalam Pengambilan Keputusan Multi-Kriteria**

Hasil evaluasi integrasi MCDA menunjukkan bahwa pendekatan ini mampu mengakomodasi berbagai kriteria keberlanjutan secara simultan, memungkinkan analisis yang lebih komprehensif. Dengan menggabungkan bobot kriteria dari AHP, MCDA menghasilkan skor komposit yang mencerminkan performa alternatif praktik pertanian

terhadap dimensi lingkungan, ekonomi, dan social (Ozsahin & Ozdes, 2022). Proses normalisasi data memastikan bahwa perbedaan skala antar kriteria tidak memengaruhi hasil akhir secara tidak proporsional. Hal ini memperkuat validitas keputusan yang diambil, terutama dalam konteks keberlanjutan yang memerlukan pendekatan holistic (Roy et al., 2023).

Analisis menunjukkan bahwa integrasi MCDA memberikan fleksibilitas dalam mengevaluasi alternatif berdasarkan data kuantitatif dan kualitatif. Misalnya, alternatif praktik pertanian yang lebih efisien dalam penggunaan air namun memiliki biaya tinggi tetap dapat dipertimbangkan secara proporsional terhadap kriteria lainnya (Şener et al., 2022). Proses ini memungkinkan identifikasi alternatif yang tidak hanya unggul dalam satu dimensi, tetapi juga memiliki performa yang seimbang di berbagai aspek keberlanjutan. Dengan demikian, MCDA menjadi alat yang efektif untuk mendukung pengambilan keputusan yang kompleks (Sefano et al., 2024).

Namun, hasil evaluasi juga mengungkapkan tantangan dalam penerapan MCDA, terutama terkait dengan penentuan bobot kriteria yang dapat dipengaruhi oleh preferensi subjektif pemangku kepentingan. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa perubahan kecil dalam bobot kriteria dapat memengaruhi peringkat alternatif, terutama untuk kriteria dengan bobot tinggi (Tennakoon et al., 2023). Hal ini menyoroti pentingnya proses partisipatif dalam menentukan bobot, guna memastikan bahwa hasil analisis mencerminkan kebutuhan dan prioritas yang beragam dari semua pihak yang terlibat.

Selain itu, integrasi MCDA memungkinkan identifikasi kriteria yang paling berpengaruh terhadap keputusan akhir. Dalam studi ini, kriteria lingkungan seperti konservasi tanah dan air memiliki dampak signifikan terhadap peringkat alternatif. Temuan ini memberikan wawasan penting bagi pembuat kebijakan untuk memprioritaskan aspek-aspek tertentu dalam strategi keberlanjutan. Dengan demikian, MCDA tidak hanya menghasilkan rekomendasi teknis, tetapi juga memberikan panduan strategis yang relevan untuk implementasi di lapangan (Veerachamy & Ramar, 2022).

Secara keseluruhan, evaluasi integrasi MCDA menunjukkan bahwa metode ini memiliki potensi besar untuk mendukung pengambilan keputusan multi-kriteria dalam pertanian berkelanjutan. Namun, keberhasilannya sangat bergantung pada kualitas data, proses penentuan bobot, dan keterlibatan pemangku kepentingan. Dengan pendekatan yang transparan dan inklusif, MCDA dapat menjadi alat yang andal untuk mengidentifikasi alternatif terbaik yang mendukung keberlanjutan jangka panjang (Vojteški & Lukić, 2022).

### **3.3. Studi Kasus: Implementasi AHP dan MCDA dalam Praktik Pertanian Lokal**

Studi kasus implementasi AHP dan MCDA dalam praktik pertanian lokal menunjukkan bahwa pendekatan ini mampu mengidentifikasi alternatif praktik yang sesuai dengan konteks spesifik wilayah studi (Otieno et al., 2023). Dalam penelitian ini, hierarki AHP dirancang berdasarkan masukan dari petani, ahli, dan pemangku kepentingan lokal, mencakup kriteria seperti konservasi tanah, efisiensi biaya, dan partisipasi Masyarakat (Zarei, & Mahmoudi, 2022). Hasil analisis menunjukkan bahwa praktik pertanian berbasis agroforestri memperoleh skor tertinggi, mencerminkan

keunggulannya dalam aspek lingkungan dan sosial, meskipun memerlukan investasi awal yang lebih tinggi dibandingkan alternatif lainnya.

Proses *pairwise comparison* dalam AHP mengungkapkan preferensi yang beragam di antara pemangku kepentingan. Petani cenderung memprioritaskan efisiensi biaya dan peningkatan pendapatan, sementara ahli lingkungan lebih menekankan konservasi sumber daya alam. Perbedaan ini diakomodasi dalam analisis MCDA, yang mengintegrasikan bobot kriteria dari AHP dengan data kuantitatif dan kualitatif. Hasilnya, alternatif yang seimbang dalam memenuhi kriteria lingkungan, ekonomi, dan sosial diidentifikasi sebagai opsi terbaik, mencerminkan fleksibilitas pendekatan ini dalam menangani preferensi yang beragam (Kucuker & Giraldo, 2022).

Normalisasi data dalam MCDA memastikan bahwa perbedaan skala antar kriteria tidak memengaruhi hasil akhir secara tidak proporsional. Dalam studi ini, praktik pertanian organik memperoleh skor tinggi pada kriteria lingkungan tetapi rendah pada efisiensi biaya (Arora et al., 2022). Namun, integrasi bobot kriteria memungkinkan alternatif ini tetap dipertimbangkan secara proporsional. Hal ini menunjukkan bahwa MCDA mampu memberikan evaluasi yang lebih holistik, memungkinkan pengambilan keputusan yang mempertimbangkan berbagai dimensi keberlanjutan secara simultan.

Analisis sensitivitas yang dilakukan menunjukkan bahwa peringkat alternatif relatif stabil terhadap perubahan kecil dalam bobot kriteria. Namun, kriteria dengan bobot tinggi, seperti konservasi tanah, lebih sensitif terhadap perubahan dibandingkan kriteria lainnya (Burak et al., 2022). Temuan ini menyoroti pentingnya proses partisipatif dalam menentukan bobot kriteria, guna memastikan bahwa hasil analisis mencerminkan kebutuhan dan prioritas lokal. Selain itu, analisis ini memberikan wawasan tambahan bagi pembuat kebijakan untuk memitigasi potensi bias dalam pengambilan keputusan.

Secara keseluruhan, implementasi AHP dan MCDA dalam praktik pertanian lokal menunjukkan potensi besar untuk mendukung keberlanjutan. Pendekatan ini tidak hanya menghasilkan rekomendasi teknis yang relevan, tetapi juga membangun konsensus di antara pemangku kepentingan (Goodarzi, 2022). Namun, keberhasilannya sangat bergantung pada kualitas data, keterlibatan pemangku kepentingan, dan validasi hasil melalui pendekatan partisipatif. Dengan demikian, AHP dan MCDA dapat menjadi alat yang andal untuk mendukung pengambilan keputusan yang inklusif dan berbasis bukti dalam pertanian berkelanjutan.

### **3.4. Tantangan dan Peluang dalam Penerapan AHP dan MCDA untuk Pertanian Berkelanjutan**

Penerapan AHP dan MCDA dalam pertanian berkelanjutan menghadapi tantangan utama berupa subjektivitas dalam penentuan bobot kriteria. Preferensi pemangku kepentingan yang beragam sering kali menghasilkan perbedaan signifikan dalam hasil analisis (Cetinkaya et al., 2022). Misalnya, petani cenderung memprioritaskan aspek ekonomi, sementara ahli lingkungan lebih menekankan konservasi sumber daya. Ketidakseimbangan ini dapat memengaruhi validitas keputusan akhir. Oleh karena itu, pendekatan partisipatif yang melibatkan diskusi kelompok terfokus menjadi penting untuk memastikan bahwa bobot kriteria mencerminkan kebutuhan dan prioritas yang beragam secara adil.

Ketersediaan data yang terbatas juga menjadi tantangan dalam penerapan AHP dan MCDA. Data kuantitatif yang diperlukan untuk menilai alternatif praktik pertanian sering kali tidak lengkap atau tidak konsisten, terutama di wilayah pedesaan. Hal ini dapat memengaruhi akurasi skor komposit yang dihasilkan. Untuk mengatasi masalah ini, integrasi data kualitatif melalui wawancara mendalam dan survei lokal dapat menjadi solusi. Pendekatan ini memungkinkan pengumpulan informasi yang lebih kontekstual dan relevan dengan kondisi lokal (Cicciù et al., 2022). Di sisi lain, penerapan AHP dan MCDA menawarkan peluang besar untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih inklusif dan transparan. Dengan struktur hierarkis yang sistematis, AHP memungkinkan identifikasi prioritas yang jelas, sementara MCDA menyediakan kerangka kerja untuk mengevaluasi berbagai alternatif secara holistik. Kombinasi kedua metode ini memungkinkan pengambilan keputusan yang tidak hanya berbasis data, tetapi juga mempertimbangkan perspektif lokal, sehingga lebih adaptif terhadap kebutuhan spesifik wilayah studi.

Peluang lain yang ditawarkan adalah kemampuan AHP dan MCDA untuk mengintegrasikan dimensi keberlanjutan secara simultan. Dalam penelitian ini, kriteria lingkungan, ekonomi, dan sosial dapat dianalisis secara bersamaan, memungkinkan identifikasi alternatif yang seimbang (Coruhlu et al., 2022). Hal ini memberikan keuntungan strategis bagi pembuat kebijakan untuk merancang intervensi yang tidak hanya efektif secara teknis, tetapi juga berkelanjutan dalam jangka panjang. Dengan demikian, metode ini dapat menjadi alat yang andal untuk mendukung perencanaan berbasis bukti. Namun, keberhasilan penerapan AHP dan MCDA sangat bergantung pada keterlibatan aktif pemangku kepentingan dan validasi hasil. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa perubahan kecil dalam bobot kriteria dapat memengaruhi peringkat alternatif, terutama untuk kriteria dengan bobot tinggi. Oleh karena itu, diperlukan proses validasi yang ketat, termasuk simulasi dan diskusi dengan para ahli, untuk memastikan bahwa hasil analisis robust dan mencerminkan kondisi nyata di lapangan. Pendekatan ini juga meningkatkan akuntabilitas dalam pengambilan keputusan.

### **3.5. Rekomendasi untuk Meningkatkan Keandalan dan Validitas Metode AHP dan MCDA**

Peningkatan keandalan dan validitas metode AHP dan MCDA dapat dimulai dengan memperkuat proses partisipatif dalam penentuan bobot kriteria. Melibatkan berbagai pemangku kepentingan melalui diskusi kelompok terfokus (FGD) memungkinkan pengumpulan perspektif yang lebih beragam, sehingga bobot yang dihasilkan mencerminkan kebutuhan dan prioritas yang lebih representatif. Selain itu, penggunaan teknik triangulasi data, seperti membandingkan hasil wawancara dengan survei kuantitatif, dapat meningkatkan akurasi dan mengurangi potensi bias subjektif. Pendekatan ini memastikan bahwa keputusan yang diambil lebih inklusif dan berbasis bukti (Zarei, & Mahmoudi, 2022).

Penggunaan perangkat lunak analisis yang lebih canggih juga direkomendasikan untuk meningkatkan keandalan hasil. Perangkat lunak modern dapat memfasilitasi evaluasi konsistensi yang lebih akurat dalam metode AHP dan MCDA, sehingga mengurangi potensi kesalahan dalam penghitungan bobot. Selain itu, fitur simulasi dalam

perangkat lunak memungkinkan analisis sensitivitas yang lebih mendalam, membantu mengidentifikasi kriteria yang paling berpengaruh terhadap keputusan akhir (Kilic et al., 2023). Dengan demikian, teknologi ini dapat mendukung pengambilan keputusan yang lebih robust dan valid.

Peningkatan kualitas data menjadi langkah penting untuk mendukung validitas metode AHP dan MCDA. Pengumpulan data kuantitatif yang lebih terstruktur melalui survei yang dirancang dengan baik dapat mengurangi ketidakpastian dalam penilaian alternatif (Sefano, et al., 2024). Di sisi lain, data kualitatif yang diperoleh melalui wawancara mendalam dapat memberikan konteks yang lebih kaya, terutama dalam memahami preferensi lokal. Kombinasi data kuantitatif dan kualitatif ini memastikan bahwa analisis mencerminkan realitas lapangan secara lebih komprehensif.

Validasi hasil melalui pendekatan partisipatif juga menjadi rekomendasi utama untuk meningkatkan keandalan metode. Diskusi dengan pemangku kepentingan setelah analisis awal dapat digunakan untuk meninjau hasil dan mengidentifikasi potensi bias atau ketidaksesuaian dengan kondisi lokal (Kim & Sung, 2022). Proses ini tidak hanya meningkatkan akurasi hasil, tetapi juga membangun kepercayaan di antara pemangku kepentingan, sehingga keputusan yang diambil lebih dapat diterima dan diimplementasikan secara efektif.

Terakhir, pelatihan dan kapasitas teknis bagi para peneliti dan pemangku kepentingan lokal perlu ditingkatkan untuk memastikan penerapan metode AHP dan MCDA yang optimal (Kucuker & Giraldo, 2022). Pemahaman yang lebih baik tentang prinsip-prinsip dasar dan teknik analisis dapat mengurangi kesalahan dalam proses pengumpulan data dan penghitungan bobot. Selain itu, pelatihan ini juga dapat meningkatkan kemampuan pemangku kepentingan dalam berpartisipasi secara aktif, sehingga hasil analisis lebih relevan dan dapat diandalkan.

## 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi metode AHP dan MCDA merupakan pendekatan yang efektif untuk mendukung pengambilan keputusan dalam pertanian berkelanjutan. AHP berhasil mengidentifikasi dan memberi bobot pada kriteria keberlanjutan secara sistematis, sementara MCDA memungkinkan evaluasi alternatif praktik pertanian secara holistik berdasarkan dimensi lingkungan, ekonomi, dan sosial. Analisis sensitivitas mengonfirmasi stabilitas hasil, meskipun kriteria dengan bobot tinggi menunjukkan sensitivitas lebih besar terhadap perubahan. Dengan demikian, pendekatan ini tidak hanya memberikan kerangka analisis yang terstruktur tetapi juga mendukung keputusan yang lebih inklusif dan berbasis bukti. Selain itu, penelitian ini juga menyoroti pentingnya pengembangan metodologi yang lebih fleksibel untuk mengakomodasi dinamika sistem pertanian yang kompleks. Dalam konteks ini, integrasi teknologi digital seperti big data dan kecerdasan buatan (AI) dapat menjadi langkah maju untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi proses pengambilan keputusan. Teknologi ini dapat membantu dalam pengumpulan data yang lebih komprehensif, analisis pola, serta prediksi dampak dari berbagai skenario praktik pertanian. Dengan demikian, pendekatan berbasis teknologi dapat melengkapi AHP dan MCDA, memberikan wawasan yang lebih



mendalam, dan mendukung pengambilan keputusan yang lebih adaptif terhadap perubahan lingkungan dan sosial.

Namun, penelitian ini juga mengungkapkan tantangan dalam penerapan AHP dan MCDA, terutama terkait subjektivitas dalam penentuan bobot kriteria dan keterbatasan data kuantitatif. Preferensi yang beragam di antara pemangku kepentingan sering kali menghasilkan perbedaan prioritas, yang dapat memengaruhi hasil akhir. Untuk mengatasi hal ini, pendekatan partisipatif melalui diskusi kelompok terfokus terbukti efektif dalam memastikan bahwa bobot kriteria mencerminkan kebutuhan dan prioritas yang beragam. Selain itu, integrasi data kualitatif melalui wawancara mendalam memberikan konteks yang lebih kaya, sehingga meningkatkan validitas hasil. Secara keseluruhan, penerapan AHP dan MCDA dalam penelitian ini menunjukkan potensi besar untuk mendukung keberlanjutan pertanian melalui pengambilan keputusan yang lebih terinformasi dan holistik. Keberhasilan metode ini sangat bergantung pada kualitas data, keterlibatan aktif pemangku kepentingan, dan validasi hasil melalui analisis sensitivitas. Dengan pendekatan yang transparan dan inklusif, AHP dan MCDA dapat menjadi alat yang andal untuk merancang strategi keberlanjutan yang adaptif terhadap kebutuhan lokal, sekaligus memberikan panduan strategis bagi pembuat kebijakan dalam mendukung praktik pertanian yang berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arora, C., Kamat, A., Shanker, S., & Barve, A. (2022). Integrating agriculture and industry 4.0 under “agri-food 4.0” to analyze suitable technologies to overcome agronomical barriers. *British Food Journal*. <https://doi.org/10.1108/BFJ-08-2021-0934>
- Burak, S., Samanlıoğlu, F., & Ülker, D. (2022). Evaluation of irrigation methods in Söke Plain with HF-AHP-PROMETHEE II hybrid MCDM method. *Agricultural Water Management*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377422003572>
- Cetinkaya, C., Özkan, B., Özceylan, E., & Haffar, S. (2022). An eco-friendly evaluation for locating wheat processing plants: an integrated approach based on interval type-2 fuzzy AHP and COPRAS. *Soft Computing*. <https://doi.org/10.1007/s00500-022-06922-2>
- Chu, T. C., & Le, T. H. P. (2022). Evaluating and selecting agricultural insurance packages through an AHP-based fuzzy TOPSIS Method. *Soft Computing*. <https://doi.org/10.1007/s00500-022-06964-6>
- Cicciù, B., Schramm, F., & Schramm, V. B. (2022). Multi-criteria decision making/aid methods for assessing agricultural sustainability: A literature review. *Environmental Science & Policy*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901122002982>
- Coruhlu, Y. E., Solgun, N., Baser, V., & Terzi, F. (2022). Revealing the solar energy potential by integration of GIS and AHP in order to compare decisions of the land use on the environmental plans. *Land Use Policy*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837721006220>

- Erdoğan, M. (2022). Assessing farmers' perception to Agriculture 4.0 technologies: A new interval-valued spherical fuzzy setsbased approach. *International Journal of Intelligent Systems*. <https://doi.org/10.1002/int.22756>
- Everest, T., & Gür, E. (2022). A GIS-based land evaluation model for peach cultivation by using AHP: a case study in NW Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09898-6>
- Goodarzi, M. (2022). Prioritization of Arable Crops Using Multiple Criteria and Analytical Hierarchy Process (AHP) Method, Case Study: Markazi Province-Farahan Plain. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*. [https://idj.iaid.ir/article\\_149108.html?lang=en](https://idj.iaid.ir/article_149108.html?lang=en)
- Kazemi, F., & Hosseinpour, N. (2022). GIS-based land-use suitability analysis for urban agriculture development based on pollution distributions. *Land Use Policy*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837722004537>
- Kim, H. W., & Sung, J. H. (2022). An Analysis of The Relative Importance for Target Selecting Criteria in Agricultural Environment Conservation Program. *Korean Journal of Organic Agriculture*. <https://koreascience.kr/article/JAKO202206947570145.page>
- Kılıc, D., Yagci, C., & Iscan, F. (2023). A GIS-based multi-criteria decision analysis approach using AHP for rural settlement site selection and eco-village design in Erzincan, Turkey. *Socio-Economic Planning Sciences*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038012122002798>
- Kucuker, D. M., & Giraldo, D. C. (2022). Assessment of soil erosion risk using an integrated approach of GIS and Analytic Hierarchy Process (AHP) in Erzurum, Türkiye. *Ecological Informatics*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574954122002382>
- Otieno, M. A., Gitari, H. I., Maitra, S., & Nungula, E. Z. (2023). *GIS-AHP technique land suitability assessment for capsicum (Capsicum annuum L.) production*. [indianjournals.com. https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijbs1&volume=10&issue=1&article=003](https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijbs1&volume=10&issue=1&article=003)
- Ozsahin, E., & Ozdes, M. (2022). Agricultural land suitability assessment for agricultural productivity based on GIS modeling and multi-criteria decision analysis: the case of Tekirdağ province. *Environmental Monitoring and Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09663-1>
- Roy, S., Hazra, S., Chanda, A., & Das, S. (2022). Land suitability analysis using AHP-based multi-criteria decision model for sustainable agriculture in red and lateritic zones of West Bengal, India. *Journal of Earth System Science*. <https://doi.org/10.1007/s12040-022-01941-x>
- Sefano, M. A., Maira, L., Darfis, I., Yunanda, W. W., & Nursalam, F. (2023). Kajian aktivitas mikroorganisme tanah pada rhizosfir jagung (*Zea mays* L.) dengan pemberian pupuk organik pada ultisol. *JOURNAL OF TOP AGRICULTURE (TOP*



JOURNAL), 1(1), 31–39.  
<https://ejournal.bangunharapanbangsa.id/index.php/JTA/article/view/74>

- Sefano, M. A., Juniarti, J., & Gusnidar, G. (2024). Land Suitability Evaluation For Okra (*Abelmoschus Esculentus* L.) In Nagari Nanggalo, Koto XI Tarusan District, Pesisir Selatan Regency, Indonesia Using GIS-AHP Technique. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 16(2). <https://doi.org/10.13033/ijahp.v16i2.1246>
- Şener, E., Şener, Ş., & Varol, S. (2022). Evaluation of irrigation water quality using GIS-based analytic hierarchy process (AHP) in Kızılırmak Delta (Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10003-x>
- Tennakoon, S., Apan, A., Maraseni, T., & Altarez, R. D. D. (2023). Decoding the impacts of space and time on honey bees: GIS based fuzzy AHP and fuzzy overlay to assess land suitability for apiary sites in Queensland, Australia. *Applied Geography*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622823000826>
- Veerachamy, R., & Ramar, R. (2022). Agricultural Irrigation Recommendation and Alert (AIRA) system using optimization and machine learning in Hadoop for sustainable agriculture. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13248-3>
- Vojteški, K. D., & Lukić, R. (2022). Efficiency analysis of agriculture in Serbia based on the CODAS method. *International Review*. <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=1064454>
- Zarei, A. R., & Mahmoudi, M. R. (2022). Assessing and predicting the vulnerability to agrometeorological drought using the fuzzy-AHP and second-order Markov chain techniques. *Water Resources Management*. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03260-8>

## Study Of Chemical Properties Of Soil On Gambir (*Uncaria Gambir Roxb*) Land Based On Slope In Nagari Siguntur, Koto XI Tarusan district, Pesisir Selatan regency, Indonesia

Helda Kenti<sup>1</sup>, Azwar Rasyidin, Gusnidar

<sup>1</sup>Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas,  
Kampus Limau Manis, Kota, Padang, 25175

\*Corresponding Author: [Helda@gmail.com](mailto:Helda@gmail.com)

### ABSTRAC

Gambier plants (*Uncaria gambir.Roxb*) are the main plantation commodity in West Sumatra. However, cultivating gambier on steep slopes can cause changes in soil chemical properties. This research aims to examine the chemical properties of soil on gambier land based on slope class in Nagari Siguntur. This research was carried out from June to December 2022. The method used was a survey method with the Purposive Random Sampling technique. Soil samples taken were soil samples on 3 slopes and forest as a control (45%) at a depth of 0-30 cm with 3 replications. The analysis results show the soil pH value is between 3.98–4.47 with very acid criteria. Soil C-Organic content is between 0.86%-1.76% with very low to low criteria. The N-Total content is between 0.26%-0.32% with medium criteria. The P-Available content is between 2.15 ppm-13.54 ppm with very low to low criteria. CEC with a value of 14.39-17.02 cmol/kg with low to moderate criteria. And the exchangeable cations in gambier land are classified as very low criteria.

*Keywords: Gambier plants, slope, soil chemical*

## INTRODUCTION

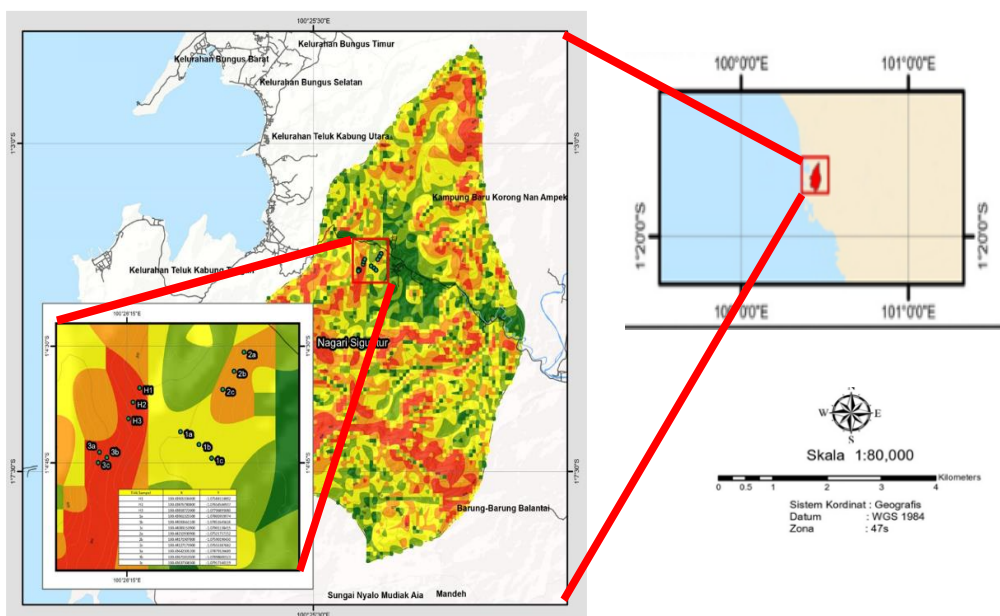
Astronomically, Pesisir Selatan Regency is located at 100° 24'12.2" – 100° 28'40.1" East Longitude and 1° 1'38.9" – 1° 8'45.5" South Latitude. Geographically, Pesisir Selatan Regency is located on the west coast of Sumatra Island and has 15 districts with a total area of 6,049.33 km<sup>2</sup>. Gambir is one of the important agricultural commodities because it has a relatively high economic value and is traded in the form of dried resin derived from the extract of Gambir leaves and twigs, which are processed and molded into cylindrical shapes. Gambir can be used as a raw material in the pharmaceutical, cosmetic, batik, paint, leather tanning, biopesticide, growth hormone, pigment industries, and as a food additive.

In Indonesia and India, Gambir is commonly used for betel chewing. In fact, India imports 68% of its Gambir from Indonesia for use as a betel chewing ingredient. With the growth of industrialized countries that produce goods requiring raw materials from Gambir, the demand for Gambir in industries is increasing. Therefore, the potential for Gambir export development remains significant. The market share for Gambir is still quite favorable as Indonesia only supplies 2.43% of the global demand (Denian, 2008). Gambir is used as a raw material for medicines and cosmetics, leather tanning, textile dyeing, paint, brewing, and as an ingredient in betel chewing mixtures (Bakhtiar, 1991 dan Suherdi, 1993).

In Koto XI Tarusan District, several nagaris extensively cultivate Gambir, one of which is Siguntur Nagari. According to the Pesisir Selatan Regency Agriculture and Plantation Office (2017), Siguntur Nagari has 822 ha of Gambir plantations with a production of 748.02 tons. Approximately  $\frac{1}{4}$  of the Gambir production in Koto XI Tarusan District comes from Siguntur Nagari, with the demand for Gambir (*Uncaria gambir* Roxb) continuously increasing throughout the year (Yulnafatmawita dan Yasin, 2018). Gambir cultivation in Siguntur Nagari is generally conducted on moderately steep slopes (15 – 25%). Gambir is planted on slopes exceeding 60% (Winardi, 2011). This is due to the diverse topography of Siguntur and the growth requirements of Gambir, which needs well-drained soil conditions (not waterlogged). Another factor contributing to the low production of Gambir is planting on newly opened lands, which are generally located on critical land with steep slopes (>25%) and without the application of conservation farming techniques. The planting spacing used is irregular and does not follow contour lines. This cultivation system increases the risk of erosion and affects the soil's chemical properties (Ridwan, 2012).

The higher the slope, the more the soil's chemical properties deteriorate (Yulia, 2021). Based on research, the soil pH value on slopes of 0-8% is 5.75, while on upper slopes of 25-45%, the pH decreases to 4.76. The decrease in soil pH on steep slopes (25-45%) is likely due to soil erosion caused by water, leading to soil being eroded and base cations being carried away, leaving less fertile soil and resulting in leaching into the lower layers. In general, the best physical and chemical soil properties are found at the lower slope positions, as they have high soil organic matter and clay content (Sefano et al., 2024)

## MATERIALS AND METHODS



*Fig. 1. Soil Sampling in Nagari Siguntur*

This study was conducted using the survey method. Soil sampling was carried out using Purposive Random Sampling. Soil samples were taken based on three slope classes: <15%, 15-25%, 25-45%, with forest as the control (Figure 1). The soil samples collected were disturbed soil samples. Soil sampling was carried out at a depth of 0-30 cm based on slope classes, with three repetitions and forest as the control. The soil analysis conducted to observe soil chemical properties included pH (1:5) (Electrometric), Organic Carbon (OC) (Walkley and Black), Nitrogen (TN) (Kjeldahl), Available Phosphorus (Av.P) (Bray II), Cation Exchange Capacity (CEC) (Leaching with  $\text{NH}_4\text{OAc}$  pH 7 1M), Determination of Exchangeable Aluminum (Al-exch) (Volumetric), and Base Saturation (Leaching with  $\text{NH}_4\text{OAc}$  pH 7 1N). To determine the effect of slope on soil chemical properties in Kenagarian Siguntur, it is necessary to process the data on soil chemical properties in the gambir plantation. Data processing is done by calculating the average results of soil chemical analysis in the laboratory, then comparing the laboratory analysis results with the soil chemical properties criteria.

## RESULTS AND DISCUSSION

### A. General Conditions of the Research Area

Nagari Siguntur, is located in Koto XI Tarusan Subdistrict, Pesisir Selatan Regency, Indonesia, is one of the village that produces gambir. Land use in Nagari Siguntur, includes settlements, secondary forests, dry fields, and rice fields. From interviews conducted with gambir farmers, it was found that fertilization is done only

once at the beginning of the planting period. Land clearing is done by cutting and burning, followed by planting. Gambir is fertilized with manure. The gambir plantations in the study area have slopes that are moderately steep (15-25%), steep (25-45%), and very steep (>45%). The land with slopes of (0-8%) and (8-15%) is not planted with gambir because these slopes are used for community settlements. Therefore, soil samples were taken only from three slopes, with the forest as a control (8-15%).

In Nagari Siguntur, the soil is not cultivated according to the contour, and there is no terracing on sloping land. The community only uses a monoculture cropping pattern. During the field survey, many gambir plants over 50 years old were found. Farmers only utilize the waste from the extraction process as fertilizer or organic matter, but its application is not evenly distributed across the slopes. The waste is only applied on slopes of 15-25% and >45%, with more being applied on slopes >45% because the gambir extraction site is located on that slope. Weeding is still done manually and traditionally. The appearance of the gambir plantations in the study area is shown in Figure 2.

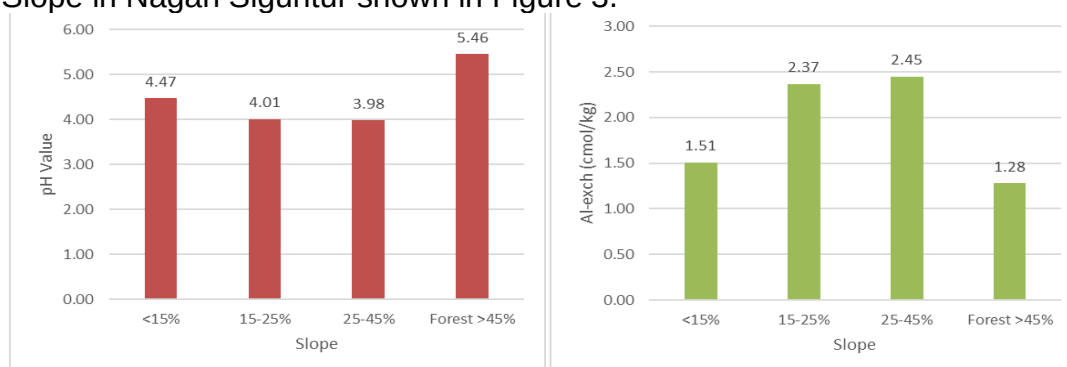


*Fig. 2. Gambir Land in Nagari Siguntur*

## B. Soil Analysis Results

### 1. pH and Al-Exchangible

Following are the results of pH and Al-Exch analysis on Gambir Land Based on Slope in Nagari Siguntur shown in Figure 3.



*Fig. 3. pH and Al-exchangible in study area*

Based on Figure 3, the highest soil pH is found on slopes <15% with a value of 4.47, while the lowest soil pH is found on gambir land with a slope of 25-45% with a value of 3.98. This is due to the minimal surface runoff, which leads to the accumulation of organic matter on the upper slopes, as organic matter in the soil affects the soil pH. One factor that influences soil pH is the content of organic matter in the soil. This is in line that organic matter in the soil is a source of organic colloids that can bind Al and Fe [8]. The more water content in the soil, the greater the reaction of releasing H<sup>+</sup> ions, causing the soil to become more acidic. In the forest land used as a control in this study, the soil pH has a value of 5.46, which is due to the higher content of organic matter compared to the gambir land. The forest has a high organic matter content derived from litter, and the cycle of organic matter return on forest land also occurs continuously.

Based on Figure 3, the highest Al-exch is found on slopes of 25-45% with a value of 2.45 cmol/kg, while the lowest is found on slopes <15% with a value of 1.51 cmol/kg. The high value of Al-exch is influenced by high rainfall and temperature, leading to a very intensive chemical weathering process, causing the loss of soil bases, and most of the colloids are dominated by H and Al ions. As a result, acidic soil is formed with low base saturation and high aluminum saturation. This is also supported that high rainfall leads to the leaching of bases such as Ca, Mg, Na, and K, which are easily carried away by surface runoff, resulting in high Al content [14]. The content of exchangeable Al (Al-dd) in the soil is related to soil pH and available P. This is in line that in acidic soils, P is bound by Al and forms Al-P and Fe-P compounds that are relatively insoluble, so P cannot be absorbed by plants [10]. Additionally, acidic soil pH is caused by colloids dominated by acidic cations such as Al<sup>3+</sup>. If Al<sup>3+</sup> remains in the soil continuously, it will contribute a large amount of H<sup>+</sup> ions to the soil, increasing soil acidity. In general, acidic pH is caused by high exchangeable Al content, high leaching of bases, and low organic matter content. The higher the clay fraction content in a soil, the higher the aluminum saturation [16].

## 2. Organic Carbon and Total Nitrogen

Following are the results of the analysis of total organic carbon and nitrogen on Gambir Land based on slope in Nagari Siguntur, shown in Figure 4.

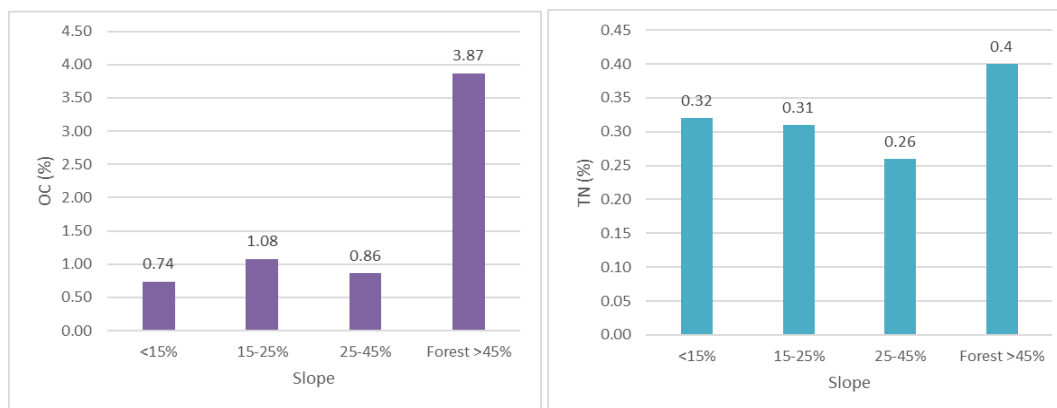


Fig. 4. OC and TN in study area



Based on Figure 4, the highest organic carbon (C-Organic) content is found on slopes <15% with a value of 1.76%, while the lowest is on slopes of 25-45% with a value of 0.86%. The organic carbon content decreases with increasing slope percentage, which is due to the steepness of the slope causing the kinetic energy of surface runoff to be high, leading to greater energy for detaching and transporting the topsoil, which is rich in organic matter, down to lower slope areas. In the forest land used as a control in this study, the C-Organic content is 3.87%, attributed to the presence of large canopies that can reduce surface runoff, preventing rainwater from directly hitting the soil surface, thus maintaining the organic matter content in the soil. Additionally, forests are stable ecosystems where organic matter is continuously returned, making the forest soil fertile. This is consistent that organic matter plays a crucial role in soil fertility [5]. Organic matter can chelate acidity-causing elements such as Al and Fe, thereby reducing their concentrations in the soil and increasing the pH [13]. Organic matter content in soil plays an important role in determining the success of crop cultivation because organic matter can enhance the chemical, physical, and biological fertility of the soil [7].

Based on Figure 4, the highest total nitrogen (N-Total) content is found on slopes <15% with a value of 0.32%, while the lowest is on slopes of 25-45% with a value of 0.26%. This is likely related to the higher C-Organic content on slopes <15% compared to slopes of 25-45%. The N-Total content in soil is influenced by the organic matter content, which is related to the C-Organic in the soil. This is consistent that the N-Total content in soil is directly proportional to the organic matter content, meaning that any factor affecting soil organic matter content also affects N-Total levels [4]. The soil's ability to provide nitrogen is determined by the organic matter content [2]. N-Total tends to be higher in the upper slopes compared to the lower slopes, likely due to the decomposition of organic matter from plant and animal residues in the upper layers. Organic matter in soil contains protein (organic N), which during decomposition by microorganisms is broken down into amino acids, then into ammonium (NH<sub>4</sub>) and nitrate (NO<sub>3</sub>), which are soluble in the soil [9]. The bacteria involved in this decomposition process are nitrifying bacteria [9].

### 3. CEC and Available Phosphor

Following are the results of the CEC and available phosphor on the Gambir Land based on slope in Nagari Siguntur shown in Figure 5.

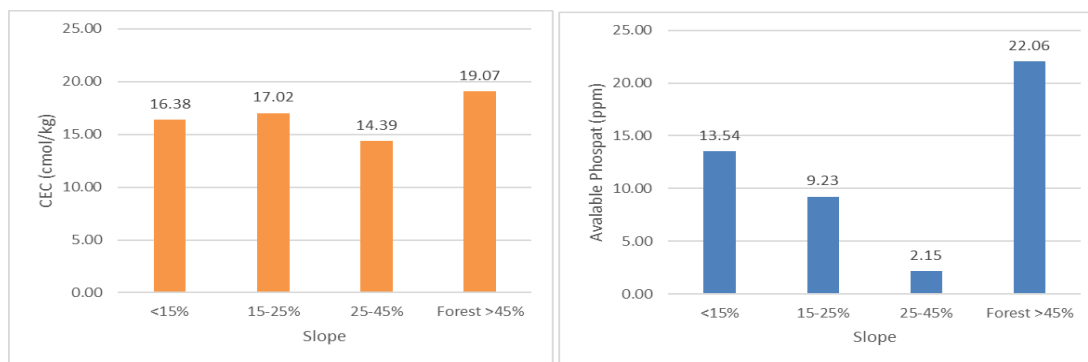


Fig. 5. CEC and Available Phosphor in study area

Based on Figure 5, the highest Cation Exchange Capacity (CEC) is found on slopes <15% with a value of 16.38 cmol/kg, while the lowest is on slopes of 25-45% with a value of 14.39 cmol/kg. The high or low CEC value is influenced by the organic matter content in the soil. This is consistent that the higher the organic matter content in the soil, the higher the soil CEC, and conversely, the lower the organic matter content in the soil, the lower the soil CEC [15]. The high CEC value is due to the decomposition of organic matter, which produces humus, thereby increasing CEC. Organic matter in soil has a higher cation exchange capacity than clay colloids. The higher the organic matter content in the soil, the higher the soil CEC. Soil with low CEC stores fewer nutrients but easily releases them into the soil solution, making them readily available to plants [14]. Besides the organic matter content, soil CEC is also influenced by soil pH. If the soil pH is low, the base saturation (BS) in the soil will also be low, causing soil cations to be dominated by acid cations such as Al and H. If there is an abundance of acid cations, especially Al, it can lead to toxicity in plants. This is consistent that the decrease in soil CEC value is caused by the soil pH value; the more acidic the soil, the lower the CEC value [8]. This occurs because CEC has variable charges that depend on soil pH. As soil pH becomes more acidic, the soil loses its ability to store nutrients, leading to a decrease in CEC.

Based on Figure 5, the highest available phosphorus (P-Available) is found on slopes <15% with a value of 13.54 ppm, while the lowest is on slopes of 25-45% with a value of 2.15 ppm. The highest P-Available content is found on the upper slopes, while the lowest is on the lower slopes. The low P-Available content on the lower slopes is due to the transport of clay particles from the upper slopes along with rainwater. This is also that one of the factors affecting P retention in soil is clay content; the higher the clay content, the higher the P retention in the soil [4]. Soil pH is another factor affecting P-Available content. If the soil pH is low or acidic, the availability of P-Available in the soil is also low. Phosphorus reacts with iron and aluminum ions to form iron phosphate and aluminum phosphate, which are insoluble in water and therefore cannot be utilized by plants in acidic soils. In the forest land used as a control in this study, the P-Available content is 22.06 ppm. This is due to the vegetation that protects the soil surface, which can supply nutrients such as leaf litter, twigs, and other decomposed materials, which are sources of soil organic matter. In contrast, the low vegetation density in gambier fields results in high organic matter leaching due to rainwater.

#### **4. Cation Exchanable and Base Saturation**

Following are the results of the Cation exchanable and Base saturation on the Gambir Land based on slope in Nagari Siguntur shown in Figure 5.

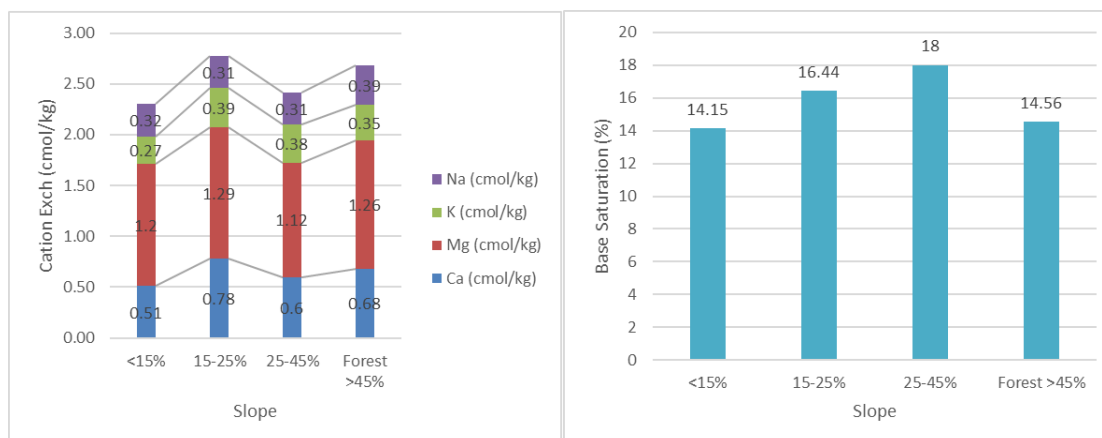


Fig. 6. Cation-exch and Base saturation in study area

Based on Figure 6, the base saturation in gambier fields according to the slope in Nagari Siguntur ranges between 14.15% and 18%, classified as very low. The low levels of Ca, Mg, K, and Na in the soil are related to the soil pH. Generally, at low pH, base saturation is also lower, while at higher pH, base saturation tends to be higher. In soils with low base saturation, most of the soil adsorption complex is filled with acidic cations such as  $Al^{+}$  and  $H^{+}$ . Soils with an excess of acidic cations can become toxic to plants [6]. Low base saturation and acidic soil reactions usually indicate low soil fertility because they reduce the availability of nutrients [12]. This is consistent that the low levels of exchangeable cations (Ca, Mg, K, and Na) in the soil are due to the dominance of low-activity clay colloids [13]. Another factor influencing the low levels of exchangeable bases is the organic matter content in the soil. The low levels of exchangeable bases are caused by the low organic matter content in the soil [14]. As humus or organic colloids, which are sources of negative charges in the soil, decrease, the amount of positive charges or exchangeable cations in the soil also decreases.

## CONCLUSION

Based on the research conducted on several chemical properties of gambier (*Uncaria gambir* Roxb.) plantation soils according to slope gradients in Nagari Siguntur, Koto XI Tarusan District, Pesisir Selatan Regency, it can be concluded that in gambier plantations across three slope classes moderately steep (<15%), steep (25-45%), and very steep (>45%) there is a decline in chemical properties with increasing slope percentage. This decline includes soil pH, available phosphorus (Av.P), organic carbon (OC), total nitrogen (TN), cation exchange capacity (CEC), and exchangeable cations at a depth of 0-30 cm. Soil pH values range from 4.47 to 3.98 units, categorizing them as very acidic. The C-organic content is considered very low, ranging from 1.76% to 0.86%. N-total ranges between 0.32% and 0.26%, falling into low to medium criteria. Available phosphorus varies from 13.54 ppm to 2.15 ppm, classified as very low to medium. CEC values are categorized as low to

medium, ranging from 17.02 cmol/kg to 14.39 cmol/kg. Additionally, the exchangeable bases in the gambier plantations are classified as low.

## REFERENCES

- [1] Bakhtiar, A. (1991). Manfaat Tanaman Gambir. Makalah Penataran Petani dan Pedagang Pengumpul Gambir di Kecamatan Permasalahan Gambir di Sumatera Barat dan Alternatif Pemecahannya (Azmi Dhalimi) 59 Pangkalan Kab. 50 Kota 29-30 November 1991. FMIPA Unand. Padang 23 hal.
- [2] Cookson, W. R., Murphy, D. V., & Roper, M. M. (2008). Characterizing the relationships between soil organic matter components and microbial function and composition along a tillage disturbance gradient. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(3), 763-777.
- [3] Danian, A., M.Hadad, dan Sri Wahyuni. (2008). Karakteristik Pohon Induk Gambir (Uncaria gambir (Hunter) Rox b.) di Sentra Produksi Sumatera Barat dan Riau. *Jurnal Penelitian Hortikultura*. Balai Penelitian Hortikultura Solok. Vol.XIX . No.1:18
- [4] Leiwakabessy, C. (2003). Potensi beberapa jenis serangga dalam penyebaran penyakit darah pisang (Ralstonia solanacearum yabuuchi et al.). *J. Pertan. Kepulauan*, 2, 137-145.
- [5] Hanafiah, K.A. (2005). *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Jakarta: PT RajaGrafindo. Persada.360 hal.
- [6] Hardjowigeno S. (2003). *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis*. Akademika Pressindo: Jakarta. 354 hal
- [7] Hasibuan, A. S. Z. (2015). Pemanfaatan bahan organik dalam perbaikan beberapa sifat tanah pasir pantai selatan Kulon Progo. *Planta Tropika*, 3(1), 31-40.
- [8] Nyakpa, M.Y., Lubis, A.M., Pulung, M.A., Amrah, A.G., Munawar, A., Hong, G.B., & Hakim, N. (1988). *Kesuburan Tanah*. Universitas Lampung. Lampung.
- [9] Pane, M. A., Damanik, M. M. B., & Sitorus, B. (2014). Pemberian bahan organik kompos jerami padi dan abu sekam padi dalam memperbaiki sifat kimia tanah ultisol serta pertumbuhan tanaman jagung. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 2(4), 101546.
- [10] Rahmi, A., & Biantary, M. P. (2014). Karakteristik sifat kimia tanah dan status kesuburan tanah lahan pekarangan dan lahan usaha tani beberapa kampung di Kabupaten Kutai Barat. *Ziraa'ah Majalah Ilmiah Pertanian*, 39(1), 30-36.
- [11] Ridwan. (2012). *Budidaya Konservasi Pada Tanaman Gambir*. BPTP Sumatera Barat.
- [12] Sihite, E. A., Damanik, M. M. B., & Sembiring, M. (2016). Perubahan Beberapa Sifat Kimia Tanah, Serapan P dan Pertumbuhan Tanaman Jagung Pada Tanah Inceptisol Kwala Bekala Akibat Pemberian Pupuk Kandang Ayam dan Beberapa Sumber P: Some Changes in Chemical Properties Land, P Absorption and Growth of Corn On

- Land Inceptisol Kwala Bekala Giving Due Chicken Manure and Multiple sources  
P. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 4(3), 2082-2090.
- [13] Sefano, M. A., Maira, L., Darfis, I., Yunanda, W. W., & Nursalam, F. (2023). Kajian Aktivitas Mikroorganisme Tanah pada Rhizosfir Jagung (*Zea mays* L.) dengan Pemberian Pupuk Organik pada Ultisol. *JOURNAL OF TOP AGRICULTURE (TOP JOURNAL)*, 1(1), 31-39.
  - [14] Sefano, M. A., & Gusmini, G. (2024). Efek Abu Hasil Erupsi Gunung Marapi dan Biochar Kulit Kopi Terhadap Perubahan Sifat Kimia Andisol. *JOURNAL OF TOP AGRICULTURE (TOP JOURNAL)*, 2(2), 102-106.
  - [15] Sefano, M. A., Juniarti, J., & Gusnidar, G. (2024). Land Suitability Evaluation For Okra (*Abelmoschus Esculentus* L.) In Nagari Nanggalo, Koto XI Tarusan District, Pesisir Selatan Regency, Indonesia Using GIS-AHP Technique. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 16(2). <https://doi.org/10.13033/ijahp.v16i2.1246>
  - [16] Sefano, M. A. (2025). Pertanian Berkelanjutan Berbasis AHP dan Multi-Criteria Decision Analysis: Sebuah Tinjauan Kritis. *Journal Arunasita*, 2(1), 21-34.
  - [17] Sefano, M. A. (2025). Respon Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.) Terhadap Lama Inkubasi Kapur Dolomit Pada Ultisol. *Journal Arunasita*, 2(1), 14-20.
  - [18] Sefano, M. A., Monikasari, M., Auliadesti, V., Athya, S., & Tapiani, W. (2024). Pengamatan Sifat Biologi Tanah Pada Beberapa Penggunaan Lahan Di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Andalas. *Journal Arunasita*, 1(1), 15-23.
  - [19] Sinaga, A. H., Elfiati, D., & Delvian, D. (2015). Aktivitas Mikroorganisme Tanah Pada Tanah Bekas Kebakaran Hutan Di Kabupaten Samosir. *Peronema Forestry Science Journal*, 4(1), 60-66.
  - [20] Syahputra E, Fauzi dan Razali. (2015). Karakteristik Sifat Kimia Sub Grup Tanah Ultisol di Beberapa Wilayah Sumatera Utara. *Jurnal Agroekoteknologi* 4(1): 1796-1803.
  - [21] Yulia, R. (2021). Kajian Sifat Kimia Inceptisol Ditanami Ubi Jalar (*Ipomoea batatas* L) Secara Intensif Pada Kelerengan Yang Berbeda Di Kecamatan Baso Kabupaten Agam. *Skripsi*. Universitas Andalas: Padang. 62 hal
  - [22] Yasin, S. & Yulnafatmawita, Y., (2018). Effects of Slope Position on Soil Physico-chemical Characteristics Under Oil Palm Plantation in Wet Tropical Area, West Sumatra Indonesia. *Jurnal Ilmu Pertanian AGRIVITA*. 40(2): 32
  - [23] Winardi. (2011). *Peluang Penerapan Usahatani Konservasi untuk Pertanaman Gambirdi Sumatera Barat*. *Jurnal Sumberdaya Lahan* Vol. 5 No. 2, Desember 2011. 95 – 102 hal.

## **Perbaikan Sifat Kimia Histosol dengan Penambahan Amelioran Abu Vulkanik dan Biochar Kulit Kopi**

### ***Improvement of Chemical Properties of Histosol by Adding Volcanic Ash Ameliorants and Coffee Husk Biochar***

**Nabila, Nabila\***

<sup>1</sup>Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Kota, Padang, 25175

\*Corresponding Author: 2320232004\_nabila@student.unand.ac.id

#### **ABSTRAK**

Histosol merupakan tanah yang terbentuk dari akumulasi bahan organik tanaman yang belum terurai sepenuhnya, biasanya ditemukan di daerah beriklim basah. Meskipun memiliki tinggi kandungan organik, tanah ini sering menghadapi tantangan dalam kesuburan dan stabilitas strukturnya, seperti keasaman yang tinggi, rendahnya kandungan unsur hara, dan kapasitas tukar kation (KTK) yang sangat tinggi. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperbaiki sifat kimia histosol dengan menggunakan abu vulkanik dan biochar dari kulit kopi. Penelitian ini dilakukan untuk melihat seberapa efektif perbaikan sifat kimia histosol dengan pemberian amelioran abu vulkanik dan biochar kulit kopi. Abu vulkanik dipilih karena mineralnya yang dapat menurunkan tingkat keasaman tanah dan meningkatkan kesuburan terutama pada ketersediaan fosfor, sementara biochar dari kulit kopi dipilih karena kemampuannya dalam meningkatkan pH tanah, kapasitas tukar kation (KTK) dan nitrogen total. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan abu vulkanik dan biochar secara signifikan memperbaiki kualitas kimia histosol. Abu vulkanik efektif dalam meningkatkan pH tanah dan ketersediaan fosfor, sedangkan Biochar dari kulit kopi meningkatkan kandungan pH, dan kadar nitrogen total. Dengan demikian, penggunaan abu vulkanik dan biochar dari kulit kopi sebagai amelioran menawarkan solusi berkelanjutan untuk meningkatkan kesuburan Histosol dan mendukung produktivitas pertanian yang lebih baik. Penelitian ini merekomendasikan perlunya uji lapangan lebih lanjut untuk memvalidasi temuan dari laboratorium dan mengevaluasi dampak jangka panjang dari penggunaan amelioran ini pada ekosistem tanah.

#### **ABSTRACT**

*Histosol is a soil formed from the accumulation of organic plant matter that has not fully decomposed, usually found in humid climates. Despite its high organic content, this soil often faces challenges in fertility and structural stability, such as high acidity, low nutrient content, and very high cation exchange capacity (CEC). The purpose of this study was to improve the chemical properties of histosol using volcanic ash and biochar from coffee skin. This study was conducted to see how effective the improvement of the chemical properties of histosol is by providing volcanic ash and coffee skin biochar ameliorants. Volcanic ash was chosen because of its minerals that can reduce soil acidity levels and increase fertility, especially in the availability of phosphorus, while biochar from coffee skin was chosen because of its ability to increase soil pH, cation exchange capacity (CEC) and total nitrogen. The results showed that the addition of volcanic ash and biochar significantly improved the chemical quality of histosol. Volcanic ash was effective in increasing soil pH and phosphorus availability, while Biochar from coffee skin increased pH content, and total nitrogen levels. Thus, the use of volcanic ash and biochar from coffee skin as ameliorants offers a sustainable solution to increase the fertility of Histosol and support better agricultural productivity. This study recommends the need for further field trials to validate the findings from the laboratory and evaluate the long-term impacts of using these ameliorants on soil ecosystems..*

**Kata Kunci :** Histosol, sifat kimia tanah, amelioran, abu vulkanik, dan biochar



## 1. PENDAHULUAN

Histosol, yang dikenal juga sebagai tanah gambut, merupakan jenis tanah yang terbentuk dari akumulasi bahan organik tanaman yang belum terdekomposisi sepenuhnya. Proses terbentuknya terjadi di lingkungan yang tergenang air seperti rawa-rawa, daerah cekungan, atau tempat dengan drainase yang tidak memadai (Navarin et al., 2021; Nursyamsi et al., 2016). Kondisi ini memungkinkan penumpukan bahan organik yang belum terurai sepenuhnya, menjadikan tanah gambut kaya akan bahan organik namun sering kali memiliki kesuburan kimia yang rendah untuk mendukung pertumbuhan tanaman (Nurhayati et al., 2023).

Tanah gambut umumnya ditemukan di daerah beriklim basah di mana kondisi lingkungan memfasilitasi akumulasi bahan organik tanaman. Kandungan bahan organiknya dapat mencapai lebih dari 20% dari berat tanah, yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan jenis tanah lainnya (Nurhayati et al., 2022; Brady & Weil, 2016). Meskipun kaya akan bahan organik, histosol menghadapi berbagai tantangan yang menghambat kesuburannya. Beberapa faktor utamanya meliputi tingginya tingkat keasaman tanah, sangat tingginya kapasitas tukar kation (KTK), serta struktur tanah yang tidak stabil (Soil Science Society of America, 2018).

Salah satu tantangan utama dalam pengelolaan histosol adalah tingginya tingkat keasaman tanah, yang disebabkan oleh akumulasi asam organik selama proses dekomposisi yang lambat dari bahan organik. Keasaman ini dapat menghambat ketersediaan nutrisi esensial bagi tanaman, seperti nitrogen, fosfor, dan kalium (Hartmann et al., 2016). Di samping itu, kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi pada histosol meningkatkan kemampuannya untuk menyimpan nutrisi dalam tanah tetapi susah untuk tersedia untuk tanaman (Brady & Weil, 2016), sehingga menghambat potensinya dalam mendukung pertumbuhan tanaman, terutama dalam konteks pertanian komersial atau subsisten di pedesaan.

Masalah kandungan nitrogen yang rendah juga menjadi perhatian serius dalam histosol, meskipun kandungan bahan organiknya kaya. Proses dekomposisi yang lambat menghasilkan ketersediaan nitrogen yang terbatas untuk tanaman, yang sangat penting untuk pertumbuhan vegetatif dan reproduksi tanaman (Bremner, 1965 dalam Firmansyah & Hayati, 2021). Kondisi drainase yang buruk merupakan tantangan lain yang sering dihadapi oleh histosol. Tanah gambut cenderung mempertahankan kelembaban tinggi dan seringkali mengalami kondisi anaerobik yang tidak mendukung pertumbuhan akar dan aktivitas mikroba yang menguntungkan bagi tanaman (Brady & Weil, 2016). Hal ini dapat mengganggu siklus nutrisi tanah serta mempengaruhi kesuburan tanah secara keseluruhan.

Untuk mengatasi tantangan kesuburan pada histosol, penggunaan amelioran seperti abu vulkanik dan biochar telah diidentifikasi sebagai solusi yang berpotensi efektif. Abu vulkanik merupakan hasil samping dari aktivitas vulkanik yang kaya akan mineral seperti silika, alumina, besi, magnesium, kalsium, dan kalium (Notholt et al., 2020). Penambahan abu vulkanik ke histosol dapat meningkatkan pH tanah yang asam dan menambah kandungan mineral yang esensial bagi pertumbuhan tanaman (Notholt et al., 2020 Drastinawati et al., 2017; Saputra & Sari, 2021). Mineral-mineral ini berperan

penting dalam proses nutrisi tanaman dan dapat secara signifikan meningkatkan kesuburan tanah secara keseluruhan. Di sisi lain, biochar adalah produk yang dihasilkan dari pirolisis bahan organik seperti serbuk gergaji, jerami, atau limbah pertanian lainnya pada suhu tinggi dan dengan sedikit atau tanpa oksigen (Jeffery et al., 2020). Biochar memiliki struktur pori-pori yang tinggi dan mengandung karbon, yang dapat meningkatkan retensi air dan struktur tanah secara keseluruhan (Jeffery et al., 2020).

Penggunaan kombinasi abu vulkanik dan biochar telah menunjukkan potensi besar dalam memperbaiki sifat fisik dan kimia histosol. Abu vulkanik dapat mengurangi tingkat keasaman tanah dan meningkatkan ketersediaan mineral yang penting bagi tanaman, sementara biochar dapat meningkatkan kapasitas tukar kation serta ketersediaan nutrisi (Abiven et al., 2014; Shoji et al., 1993 dalam Navarin et al., 2023). Strategi penggunaan kedua bahan ini secara bersamaan dapat memberikan efek sinergis yang optimal dalam meningkatkan kesuburan histosol.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi secara mendalam efektivitas penambahan abu vulkanik dan biochar dari limbah pertanian, khususnya biochar dari kulit kopi dalam memperbaiki sifat kimia histosol. Parameter-parameter yang dievaluasi meliputi perubahan pH tanah, kapasitas tukar kation (KTK), kandungan karbon organik, nitrogen total, dan ketersediaan fosfor, yang semuanya krusial untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang sehat dan produktif (Mehlich, 2019; Hartmann et al., 2016; Jeffery et al., 2020; Notholt et al., 2020).

## 2. METODE PENELITIAN

Sampel tanah dengan ordo Histosol diambil secara komposit di Nagari Tapakis, Kecamatan Ulakan Tapakis, Padang Pariaman, Sumatera Barat, sedangkan abu gunung Marapi diambil di Koto Baru, Kabupaten Tanah Datar. Biochar yang digunakan merupakan hasil pirolisis limbah kulit kopi. Penelitian ini menggunakan metode rancangan acak lengkap (RAL) dengan menginkubasikan histosol dengan amelioran menggunakan 2 ulangan selama 1 bulan. Perlakuan-perlakuan yang diberikan yaitu kontrol (Histosol tanpa amelioran), Histosol I + abu gunung Marapi setara 5 ton/ha, dan Histosol + biochar kulit kopi setara 5 ton/ha. Analisis kimia tanah untuk penelitian ini meliputi pengukuran pH tanah dengan perbedaan perbandingan tanah dengan pelarut (1:5 dan 1:10) dan lama pengocokan (30 menit dan 60 menit); P-tersedia metode Olsen dan Mehlich; KTK (ammonium asetat pH 7); % C-organik (Walkley and Black); % N-total (Khjedal); dan % C/N.

Sampel Histosol dikumpulkan secara representatif dari area penelitian yang terletak di daerah beriklim basah dengan karakteristik tanah gambut. Sampel tanah diambil dari kedalaman tertentu untuk memastikan konsistensi hasil. Sampel tanah disiapkan di laboratorium Universitas Andalas dengan menghilangkan benda-benda asing seperti akar dan sisa tanaman. Setelah itu, tanah di bagi menjadi 6 bagian masing-masing terdiri dari 2 pengulangan dan diberikan amelioran dan diinkubasi selama 4 minggu. Setelah diinkubasi, tanah tersebut dikering anginkan, dan dilakukan pengayakan, sampel dibagi menjadi bagian-bagian yang diperlukan untuk analisis masing-masing parameter. Sehingga dapat sampel kering yang siap untuk di analisis

Kadar air histosol diukur dengan mengeringkan sampel tanah pada suhu 105°C selama 24 jam. Berat sampel sebelum dan setelah pengeringan dicatat untuk menghitung

persentase kadar air. Pengukuran pH tanah dilakukan menggunakan larutan pH H<sub>2</sub>O (1:5 dan 1:10) dan larutan pH KCl (1:5 dan 1:10). Masing-masing dilakukan pengocokan dengan waktu 30 dan 60 menit. Larutan pH H<sub>2</sub>O digunakan untuk menentukan pH tanah dalam air murni, sementara larutan pH KCl memberikan indikasi pH tanah dalam larutan garam kalium klorida.

Ekstraksi fosfor dari tanah dilakukan dengan metode Olsen dan Mehlich. Sampel tanah dicampur dengan larutan ekstraksi Olsen dan Mehlich-3, kemudian dibiarkan bereaksi dan disaring untuk mendapatkan ekstrak. Kandungan fosfor dalam ekstrak diukur dengan menggunakan spektrofotometer dan dihitung dalam ppm. Kandungan karbon organik tanah diukur dengan metode Walkey and Black oksidasi basah, di mana sampel tanah dibakar pada suhu tinggi di hadapan oksigen untuk mengoksidasi bahan organik. Kandungan nitrogen total dianalisis menggunakan metode Kjeldahl, di mana sampel tanah dilarutkan dengan larutan asam sulfat dan dioksidasi menggunakan reagen katalisator. Ammonium hasil destilasi dan dititrasi dikonversi menjadi nitrogen total dan diukur secara kolorimetri atau spektrofotometri.

Data hasil analisis diinterpretasikan dengan membandingkan nilai yang diperoleh dari sampel kontrol dan sampel yang diberi perlakuan dengan abu vulkanik dan biochar dari kulit kopi. Perubahan signifikan dalam pH tanah, kandungan nutrisi, dan kapasitas tukar kation (KTK) dievaluasi untuk menentukan efek amelioran terhadap sifat kimia histosol.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Analisis Sifat Kimia Tanah Awal

Histosol, atau yang lebih dikenal sebagai tanah gambut yang diambil di lokasi pengambilan sampel tanah berada di dekat pantai. histosol atau tanah gambut tersebut merupakan jenis tanah gambut hemic. Gambut hemic (hemic peat) adalah salah satu jenis gambut yang diklasifikasikan berdasarkan tingkat dekomposisi bahan organiknya. Ini memiliki tingkat dekomposisi sedang, lebih tinggi dari gambut fibrik yang sangat mentah tetapi lebih rendah dari gambut saprik yang sudah sangat terdekomposisi. Bahan organik dalam gambut hemic sudah mulai hancur namun masih ada struktur serat yang dapat dikenali. Hasil analisis gambut sebelum perlakuan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis gambut awal

| Analisis Tanah      | Nilai       |
|---------------------|-------------|
| pH H <sub>2</sub> O | 4,0 – 5,0   |
| pH KCL              | 3,0 – 4,5   |
| C-Organik (%)       | 18 – 46     |
| P-Tersedia (ppm)    | 8 – 106     |
| N-Total (%)         | 0,37 – 5,74 |
| KTK (me/100g)       | 1,0 – 4,88  |
| C/N Ratio           | 10 - 100    |

Sumber: (Firmansyah *et al.*, 2021)

Analisis tanah gambut menunjukkan bahwa tanah ini memiliki pH yang sangat asam, dengan pH H<sub>2</sub>O berkisar antara 4,0 hingga 5,0 dan pH KCl antara 3,0 hingga 4,5. Kandungan karbon organik sangat tinggi, yaitu antara 18% hingga 46%, mencerminkan

kaya bahan organik yang menjadi ciri khas tanah gambut. Fosfor tersedia bervariasi antara 8 hingga 106 ppm, menunjukkan potensi kesuburan yang tidak merata. Kandungan nitrogen total juga sangat bervariasi, dari 0,37% hingga 5,74%, menunjukkan variasi kesuburan tanah. Kapasitas tukar kation (KTK) berkisar antara 1,0 hingga 4,88 me/100g, yang relatif rendah, menunjukkan kemampuan terbatas tanah untuk menahan dan menyediakan kation esensial bagi tanaman. Rasio C/N yang sangat bervariasi, antara 10 hingga 100, menunjukkan potensi variasi dalam dekomposisi bahan organik dan ketersediaan nitrogen.

Gambut hemik memiliki kemampuan menyimpan air yang cukup banyak, meskipun tidak sebanyak gambut fibrik, menjadikannya lembab tetapi tidak terlalu basah seperti gambut fibrik. Secara umum, gambut hemik berwarna cokelat gelap dengan tekstur yang lebih halus daripada gambut fibrik, dan saat diperas, mengeluarkan air berwarna coklat pekat (Jauhianen *et al.*, 2005 dalam Thoha *et al.*, 2014). Gambut hemik sering dimanfaatkan dalam pertanian setelah mengalami pengelolaan tertentu untuk mengurangi kadar air dan meningkatkan ketersediaan hara. Media tanam gambut hemik juga populer dalam hortikultura berkat kemampuan retensinya yang baik terhadap air. Jenis gambut ini dapat ditemukan di berbagai daerah beriklim dingin maupun tropis, tergantung pada kondisi lingkungan yang mendukung pembentukannya (Jauhianen *et al.*, 2005 dalam Thoha *et al.*, 2014). Untuk mengatasi tantangan ini dan meningkatkan kesuburan histosol, berbagai pendekatan ameliorasi telah diusulkan dan diuji, termasuk penggunaan abu vulkanik dan biochar dari limbah pertanian.

### 3.2. Analisis Kimia Biochar Kulit kopi dan Abu Vulkanik

Abu vulkanik dan biochar telah diidentifikasi sebagai solusi yang berpotensi efektif. Abu vulkanik merupakan hasil samping dari aktivitas vulkanik yang kaya akan mineral seperti silika, alumina, besi, magnesium, kalsium, dan kalium (Notholt *et al.*, 2020). Biochar adalah produk yang dihasilkan dari pirolisis bahan organik seperti serbuk gergaji, jerami, atau limbah pertanian lainnya pada suhu tinggi dan dengan sedikit atau tanpa oksigen. Biochar memiliki struktur pori-pori yang tinggi dan mengandung karbon, yang dapat meningkatkan retensi air dan struktur tanah secara keseluruhan (Jeffery *et al.*, 2020). Hasil analisis biochar dan abu vulkanik ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis biochar dan abu vulkanik

| Parameter                         | Biochar Kulit Kopi | Abu Vulkansi |
|-----------------------------------|--------------------|--------------|
| pH H <sub>2</sub> O               | 9,34*              | 7,26**       |
| pH KCl                            | 8,73*              | 7,12**       |
| C-Organik (%)                     | 49,75*             | -            |
| N-Total (%)                       | 0,36*              | -            |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) | 0,02*              | -            |
| KTK (me/100g)                     | 33,27-             | 5,75**       |
| P-Retensi (%)                     | -                  | 52,84**      |

Sumber: \*Wulandari, *et al.* (2018); \*\* Fiantis *et al.* (2010)

Biochar kulit kopi memiliki pH yang sangat basa (pH H<sub>2</sub>O 9,34 dan pH KCl 8,73), yang dapat meningkatkan pH tanah gambut yang sangat asam. Kandungan karbon organiknya sangat tinggi (49,75%), yang dapat meningkatkan kandungan bahan organik

tanah, meskipun kandungan nitrogen totalnya relatif rendah (0,36%), mungkin memerlukan tambahan nitrogen. Kandungan fosfor ( $P_2O_5$ ) sangat rendah (0,02%), namun kapasitas tukar kationnya sangat tinggi (33,27 me/100g), yang dapat meningkatkan kemampuan tanah untuk menyediakan kation esensial bagi tanaman. Sebaliknya, abu vulkanis memiliki pH netral hingga sedikit basa (pH  $H_2O$  7,26 dan pH KCl 7,12) dan kapasitas tukar kation yang lebih rendah (5,75 me/100g), namun tetap lebih tinggi dibandingkan tanah gambut asli. Abu vulkanis juga memiliki kapasitas retensi fosfor yang tinggi (52,84%), yang dapat membantu mempertahankan fosfor dalam tanah dan mencegah pencucian (Firmansyah et al., 2021). Dalam analisis sifat kimia diperlukan langkah pertama untuk menentukan kadar air yang terkandung dalam tanah tersebut. Oleh karena itu perhitungan kadar air pada histosol ini yaitu perlakuan kontrol menunjukkan kadar air (KA) sangat tinggi sebesar 478%, menngambarkan kemampuan alami histosol dalam menyimpan air, yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman jika tidak dikelola dengan baik.

Pemberian abu vulkanik menurunkan kadar air menjadi 394%, menunjukkan bahwa abu vulkanik meningkatkan drainase dan mengurangi kemampuan tanah menyimpan air, sehingga membantu mencegah kondisi anaerobik. Abu vulkanik membantu meningkatkan agregasi tanah, mengurangi kepadatan, dan meningkatkan ruang pori. Hal ini berkontribusi pada peningkatan drainase tanah dan perbaikan struktur tanah secara keseluruhan. Pada Histosol yang diinkubasi dalam ember selama satu bulan, penambahan abu vulkanik dapat mengurangi kadar air melalui beberapa mekanisme. Abu vulkanik dapat meningkatkan porositas tanah dengan partikel yang halus dan berpori, sehingga memfasilitasi aliran air keluar dari Histosol (Takashi et al, 2020). Selain itu, abu vulkanik dapat mempengaruhi mikro-porositas tanah, yang meningkatkan drainase dan mengurangi kapasitas tanah untuk menahan air (Takashi et al, 2020). Sifat hidrofobik abu vulkanik setelah mengering juga dapat menyebabkan penurunan kemampuan tanah untuk menyerap kembali air, yang berdampak pada penurunan kadar air dalam jangka waktu inkubasi satu bulan (Takashi et al, 2020). Perubahan kimia yang diinduksi oleh abu vulkanik, seperti pelepasan mineral dan perubahan pH, dapat mengubah struktur tanah dan kimia tanah, yang kemudian mengurangi kapasitas tanah untuk menahan air (Takashi et al, 2020). Selain itu, aktivitas mikroba yang dipengaruhi oleh abu vulkanik dapat mempercepat dekomposisi bahan organik dalam Histosol, mengubah struktur tanah dan lebih lanjut mengurangi retensi air (Takashi et al, 2020). Studi-studi terkait menyoroti pentingnya abu vulkanik dalam mengubah sifat fisik, kimia, dan biologis tanah, yang secara signifikan mempengaruhi kadar air dan kualitas Histosol dalam konteks lingkungan inkubasi tertentu.

Sementara itu, perlakuan dengan biochar menghasilkan kadar air sebesar 420%, yang lebih seimbang karena biochar mampu menyerap air dan meningkatkan struktur tanah, menjaga kelembapan yang cukup tanpa menyebabkan kondisi anaerobik. Biochar memiliki sifat hidrofobik yang membantu meningkatkan aerasi tanah dengan mengurangi retensi air berlebihan. Kadar air pada Histosol yang diinkubasi dalam ember tertutup selama 1 bulan dapat berkurang setelah penambahan amelioran biochar karena beberapa mekanisme utama. Pertama, biochar meningkatkan porositas tanah dengan memperbanyak makropori (Jeffery et al., 2011; Karhu et al., 2011). Kedua, biochar

memiliki sifat hidrofobik setelah kering, yang mengurangi kemampuannya untuk menyerap dan menahan air kembali (Jeffery et al., 2011). Selain itu, biochar dapat mempengaruhi pH tanah dan keseimbangan ion, yang dapat mengubah struktur tanah dan menurunkan kapasitas retensi air pada Histosol (Jeffery et al., 2011; Karhu et al., 2011). Aktivitas mikroba yang meningkat karena penambahan biochar juga dapat mempercepat dekomposisi bahan organik, yang mengubah struktur tanah dan mengurangi kemampuan tanah untuk menyimpan air lebih lanjut (Major et al., 2010; Karhu et al., 2011). Meski ember tertutup dapat mengurangi evaporasi, proses drainase dan perubahan struktur tanah yang diinduksi oleh biochar tetap menyebabkan penurunan kadar air secara keseluruhan dalam jangka waktu inkubasi tersebut (Jeffery et al., 2011; Karhu et al., 2011). Dengan demikian, penggunaan amelioran seperti abu vulkanik dan biochar dapat membantu mengelola kadar air Histosol secara efektif, mendukung pertumbuhan tanaman, dan menjaga kesehatan tanah. Nilai kadar air (KA) ini lah yang akan mempengaruhi penyerapan unsur hara pada tanah

### 3.3. Hasil Analisis Setelah Inkubasi

Hasil Analisis tanah setelah inkubasi ditampilkan pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Hasil analisis pH setelah Inkubasi

| Perlakuan    | pH H <sub>2</sub> O |      |      |      | pH KCL |      |      |      |
|--------------|---------------------|------|------|------|--------|------|------|------|
|              | 1:5                 |      | 1:10 |      | 1:5    |      | 1:10 |      |
|              | 30 m                | 60 m | 30 m | 60 m | 30 m   | 60 m | 30 m | 60 m |
| Kontrol      | 4,41                | 4,56 | 4,86 | 4,88 | 3,36   | 3,53 | 3,48 | 3,59 |
| Abu vulkanik | 4,41                | 4,79 | 4,71 | 4,90 | 3,34   | 3,41 | 3,51 | 3,54 |
| Biochar      | 4,70                | 4,75 | 4,69 | 4,84 | 3,45   | 3,53 | 3,47 | 3,59 |

Tabel 4. Hasil KA, P, C-Organik, KTK, N, dan C/N masing-masing perlakuan

| Perlakuan    | KA   | P Tersedia (ppm) |             | C (%) | KTK (cmol/kg) | N (%) | C/N    |
|--------------|------|------------------|-------------|-------|---------------|-------|--------|
|              |      | P2O5-Olsen       | P2O5-Mehlic |       |               |       |        |
| Kontrol      | 478% | 39,06            | 55,23       | 41,43 | 94,83         | 0,44  | 93,59  |
| Abu vulkanik | 394% | 43,82            | 65,00       | 35,24 | 90,25         | 0,35  | 101,91 |
| Biochar      | 420% | 40,25            | 62,05       | 37,34 | 97,59         | 0,84  | 44,65  |

#### 3.3.1. pH Tanah

Kemasaman tanah, yang diukur dalam larutan air (pH H<sub>2</sub>O) dan larutan KCl (pH KCl), merupakan parameter kunci dalam menilai kesehatan tanah dan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Dapat dilihat dari Table 1 Histosol yang menjadi kontrol menunjukkan pH H<sub>2</sub>O sekitar 4,41 dan pH KCl sekitar 3,36. Kedua nilai ini menunjukkan bahwa Histosol cenderung bersifat sangat asam, yang dapat menghambat ketersediaan nutrisi penting seperti fosfor (P) dan unsur hara lainnya bagi tanaman (McLean, 1982 dalam Navarin et al., 2023). Penambahan abu vulkanik pada Histosol menunjukkan peningkatan pH yang signifikan, dengan pH H<sub>2</sub>O sekitar 4,79 dan pH KCl sekitar 3,41.



Hal ini menunjukkan bahwa abu vulkanik efektif dalam menurunkan tingkat keasaman Histosol, sehingga meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Abu vulkanik mengandung mineral-mineral seperti silika, alumina, dan kalium yang dapat berkontribusi dalam meningkatkan pH tanah dan menambah ketersediaan unsur hara (Shoji et al., 1993 dalam Navarin et al., 2023). Biochar dari kulit kopi juga menunjukkan dampak positif terhadap keasaman tanah. Tanah yang diberi perlakuan biochar memiliki pH H<sub>2</sub>O sekitar 4,70 dan pH KCl sekitar 3,53. Meskipun peningkatannya tidak sebesar abu vulkanik, biochar tetap meningkatkan pH tanah secara signifikan, yang berpotensi meningkatkan ketersediaan unsur hara dan mengurangi tingkat keasaman tanah.

Pengukuran dengan air (H<sub>2</sub>O) memberikan gambaran keasaman tanah dalam kondisi alami. Perbedaan dalam rasio campuran tanah dan air (1:5 vs. 1:10) serta waktu pengocokan (30 menit vs. 60 menit) mempengaruhi stabilitas hasil pH. pH H<sub>2</sub>O cenderung lebih tinggi dibandingkan pH KCl karena tidak terikat dengan ion H<sup>+</sup> yang dapat dipertukarkan. Pengukuran dengan larutan KCl memberikan gambaran keasaman yang lebih terikat, karena KCl menggantikan ion H<sup>+</sup> pada situs pertukaran kation. Biasanya, pH KCl lebih rendah dibandingkan pH H<sub>2</sub>O untuk tanah yang sama. Penggunaan masing-masing metode seperti Metode Olsen sering digunakan pada tanah dengan pH netral hingga tinggi, di mana fosfor terikat dengan kalsium dan magnesium. Metode Mehlich sering diterapkan pada berbagai jenis tanah, termasuk yang bersifat asam. Metode ini cocok untuk tanah yang bersifat asam hingga netral, di mana fosfor terikat dengan aluminium dan besi. Pemberian abu vulkanik dan biochar pada Histosol mengubah pH tanah secara signifikan. Abu vulkanik cenderung meningkatkan pH lebih jauh daripada biochar, tetapi keduanya memberikan kontribusi positif terhadap ketersediaan nutrisi dan aktivitas biologis dalam tanah.

### 3.3.2. Ketersediaan Pospat

Fosfor (P) adalah salah satu dari tiga makronutrien utama yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman, bersama dengan nitrogen (N) dan kalium (K). Fosfor tersedia mengacu pada bentuk fosfor yang dapat diambil oleh tanaman dari tanah, yang umumnya diukur dalam bentuk ion fosfat ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  atau  $\text{HPO}_4^{2-}$ ). Fosfor sangat penting dalam proses-proses seperti fotosintesis, transfer energi, pembelahan sel, dan perkembangan akar. Fosfor adalah nutrisi penting bagi tanaman, terutama dalam proses fotosintesis dan transfer energi. Metode ekstraksi seperti metode Olsen dan Mehlich digunakan untuk mengukur ketersediaan fosfor dalam tanah (Olsen et al., 1954; Mehlich, 1984). Penelitian menunjukkan bahwa biochar dapat meningkatkan ketersediaan fosfor melalui pengaruhnya terhadap pH tanah dan aktivitas mikroba (Lehmann & Joseph, 2009). Biochar kulit kopi, khususnya, telah terbukti meningkatkan ketersediaan fosfor dalam tanah karena interaksinya dengan mineral tanah (Kumar et al., 2020).

Pengukuran fosfor tersedia menggunakan metode Olsen melibatkan ekstraksi fosfor dari tanah dengan larutan natrium bikarbonat, kemudian pengukuran fosfor dengan spektrofotometri (Olsen et al., 1954). Metode Mehlich menggunakan larutan ekstrak multi-unsur untuk mengekstrak fosfor dan unsur hara lainnya, kemudian diukur dengan spektrofotometri atau teknik lain yang sesuai (Mehlich, 1984). Kedua metode ini memberikan gambaran tentang ketersediaan fosfor bagi tanaman. Ketersediaan fosfor

diukur dengan menggunakan metode ekstraksi Olsen dan Mehlich, yang memberikan estimasi fosfor yang tersedia untuk tanaman. Histosol yang menjadi kontrol memiliki ketersediaan fosfor sekitar 39,06 ppm P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Olsen) dan 55,23 ppm P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Mehlich). Penambahan abu vulkanik dan biochar meningkatkan ketersediaan fosfor secara signifikan. Tanah yang diberi perlakuan abu vulkanik menunjukkan ketersediaan fosfor sekitar 43,82 ppm P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Olsen) dan 65,00 ppm P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Mehlich), sementara biochar memiliki ketersediaan fosfor sekitar 40,25 ppm P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Olsen) dan 62,05 ppm P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Mehlich). Penambahan abu vulkanik dan biochar secara positif mempengaruhi ketersediaan fosfor dengan meningkatkan jumlah fosfor yang tersedia bagi tanaman.

### 3.3.3. Kandungan Karbon Organik Tanah

C-organik merupakan persentase kandungan karbon organik dalam tanah yang sangat penting untuk kesuburan tanah, berperan sebagai sumber energi bagi mikroorganisme tanah, serta mempengaruhi struktur tanah dan retensi air serta nutrisi. Berdasarkan tabel yang diberikan, Histosol dengan perlakuan kontrol memiliki kadar C-organik tertinggi yaitu 41,43%. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa perlakuan tambahan, Histosol mampu mempertahankan tingkat karbon organik yang lebih tinggi. Penambahan abu vulkanik mengurangi kadar C-organik menjadi 35,24%. Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh fakta bahwa abu vulkanik mengandung mineral anorganik yang tidak berkontribusi langsung pada kandungan karbon organik. Selain itu, abu vulkanik dapat meningkatkan aktivitas mikroba yang mempercepat dekomposisi bahan organik, sehingga mengurangi kadar C-organik di dalam tanah.

Penurunan kandungan karbon organik pada Histosol setelah pemberian abu vulkanik yang telah diinkubasi selama satu bulan dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme yang teridentifikasi dalam literatur ilmiah. Studi yang dipublikasikan dalam jurnal MDPI menunjukkan bahwa abu vulkanik dapat merangsang aktivitas mikroba dalam tanah, yang pada gilirannya meningkatkan proses dekomposisi bahan organik (Takashi et al, 2020). Aktivitas mikroba yang lebih tinggi ini mempercepat penguraian senyawa organik kompleks dalam Histosol, sehingga menyebabkan pelepasan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) ke atmosfer. Selain itu, abu vulkanik dapat mempengaruhi sifat fisik Histosol, seperti meningkatkan porositas atau mikro-porositas, yang kemudian mengubah lingkungan mikroba dan proses dekomposisi (Takashi et al, 2020). Studi ini juga mencatat bahwa abu vulkanik dapat memiliki sifat hidrofobik setelah mengering, yang mengurangi kemampuan tanah untuk menahan air dan dapat menghambat aktivitas mikroba yang terlibat dalam siklus karbon. Perubahan kimia dalam tanah akibat abu vulkanik, seperti perubahan pH atau ketersediaan nutrisi, juga dapat mempengaruhi proses dekomposisi bahan organik dan ketersediaan karbon organik dalam Histosol (Takashi et al, 2020). Dengan demikian, penurunan kandungan karbon organik dalam Histosol setelah perlakuan abu vulkanik dapat dilihat sebagai hasil dari interaksi kompleks antara abu vulkanik dan proses biogeomik dalam lingkungan Histosol tersebut.

Penambahan biochar menghasilkan kadar C-organik sebesar 37,34%, yang masih lebih rendah dibandingkan dengan kontrol. Meskipun biochar terbuat dari bahan organik yang diproses melalui pirolisis, proses ini dapat mengubah struktur karbon sehingga sebagian dari karbon yang lebih stabil dan kurang tersedia untuk mikroorganisme tanah.

Akibatnya, biochar berkontribusi lebih rendah pada peningkatan kadar C-organik dibandingkan bahan organik segar dalam kontrol, tetapi lebih tinggi dibandingkan abu vulkanik.

Penurunan kandungan karbon organik pada Histosol setelah pemberian biochar yang telah diinkubasi selama satu bulan dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme yang terlibat dalam interaksi antara biochar dan sifat Histosol tersebut. Biochar memiliki kemampuan untuk menyerap nutrisi dan senyawa organik dari tanah, yang dapat mengurangi ketersediaan bahan organik yang biasanya digunakan oleh mikroba untuk proses dekomposisi (Sefano et al., 2024). Selain itu, biochar dapat mengubah kondisi fisik dan kimia tanah, seperti meningkatkan porositas dan mengubah pH, yang kemudian dapat mempengaruhi aktivitas mikroba dan laju dekomposisi bahan organik dalam tanah gambut (Spokas, 2010). Studi juga menunjukkan bahwa biochar dapat merangsang aktivitas mikroba yang lebih tinggi dalam jangka pendek, tetapi pada akhirnya dapat menyebabkan pengurangan kandungan karbon organik karena peningkatan dekomposisi (Lehmann et al., 2011). Interaksi kompleks antara biochar dan Histosol, termasuk karakteristik unik Histosol seperti keasaman dan kandungan air yang tinggi, juga berperan dalam menentukan dampak biochar terhadap siklus karbon dalam Histosol (Spokas, 2010). Oleh karena itu, penurunan kandungan karbon organik dalam Histosol setelah aplikasi biochar perlu dipahami lebih dalam untuk mengoptimalkan manajemen biochar dalam upaya konservasi karbon dan peningkatan kesuburan Histosol.

### 3.3.4. Kapasitas Tukar Kation

Kapasitas tukar kation (KTK) merupakan kemampuan tanah untuk menukar ion-ion dalam larutan tanah, yang penting untuk menahan dan menyediakan nutrisi penting bagi tanaman. Pada Tabel 2 Penambahan amelioran mempengaruhi kapasitas tukar kation (KTK) dalam Histosol. Pada tanah kontrol tanpa amelioran, KTK tercatat sebesar 94,83 cmol/kg. Penambahan abu vulkanik sedikit menurunkan KTK menjadi 90,25 cmol/kg. Penurunan ini bisa terjadi karena abu vulkanik, meskipun dapat memperbaiki sifat fisik tanah, mungkin tidak menambah kapasitas tukar kation secara signifikan. Sebaliknya, penambahan biochar kulit kopi meningkatkan KTK Histosol menjadi 97,59 cmol/kg.

Penurunan kapasitas tukar kation (KTK) pada histosol setelah pemberian abu vulkanik yang diinkubasi selama satu bulan dapat disebabkan oleh beberapa faktor yang terkait dengan sifat fisik dan kimia abu vulkanik serta interaksinya dengan komponen tanah gambut. Abu vulkanik umumnya mengandung mineral yang, ketika terurai, dapat mengubah struktur kimia tanah dan memiliki kemampuan tukar kation yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan organik tanah gambut, sehingga menurunkan KTK keseluruhan tanah. Penambahan abu vulkanik juga dapat mengencerkan konsentrasi bahan organik dalam tanah gambut, mengurangi jumlah situs penukaran kation yang tersedia. Selain itu, mineral dalam abu vulkanik dapat mengikat kation secara kuat, membuatnya kurang tersedia untuk pertukaran dengan tanaman. Peningkatan pH akibat sifat basa abu vulkanik juga dapat mengubah bentuk dan ketersediaan beberapa kation dalam tanah serta mengurangi jumlah situs penukaran kation yang tersedia. Penambahan abu vulkanik dapat merangsang aktivitas mikroba yang meningkatkan dekomposisi bahan organik tanah gambut, sehingga mengurangi jumlah bahan organik

yang berfungsi sebagai situs penukaran kation. Penelitian oleh Kusnadi et al. (2014) mencatat bahwa penambahan abu vulkanik pada tanah gambut mengubah komposisi kimia tanah dan berpotensi menurunkan KTK karena interaksi kimia yang terjadi di dalam tanah. Secara keseluruhan, kombinasi dari pengenceran bahan organik, perubahan pH, interaksi mineral dengan kation, dan peningkatan aktivitas mikroba adalah faktor-faktor utama yang menjelaskan penurunan KTK pada histosol setelah penambahan abu vulkanik.

Peningkatan kapasitas tukar kation (KTK) pada histosol setelah pemberian biochar kulit kopi yang diinkubasi selama satu bulan disebabkan oleh beberapa faktor yang berkaitan dengan sifat fisik dan kimia biochar serta interaksinya dengan tanah gambut. Biochar memiliki struktur berpori yang besar dengan banyak situs aktif untuk penukaran kation, yang meningkatkan kemampuan tanah untuk menahan dan menukar nutrisi. Struktur pori ini tidak hanya menyediakan ruang bagi kation, tetapi juga memperbaiki retensi kelembaban dan aerasi tanah, yang mendukung aktivitas mikroba dan dekomposisi bahan organik. Selain itu, biochar umumnya bersifat basa dan dapat meningkatkan pH tanah gambut yang biasanya asam, sehingga meningkatkan ketersediaan dan retensi kation seperti kalsium, magnesium, dan kalium. Peningkatan pH juga mengoptimalkan kondisi untuk aktivitas mikroba yang menguntungkan, yang selanjutnya memperbaiki struktur tanah dan kapasitas tukar kation. Penelitian menunjukkan bahwa biochar memiliki kemampuan untuk mengikat kation dengan kuat melalui proses adsorpsi, berkat kandungan karbon yang tinggi dan luas permukaan yang besar, sehingga meningkatkan KTK tanah secara keseluruhan.

Secara kimia, biochar mengandung sejumlah besar asam karboksilat dan kelompok fungsional lainnya yang dapat berkontribusi pada peningkatan situs penukaran kation. Penelitian oleh Glaser et al. (2002) menunjukkan bahwa penambahan biochar ke tanah meningkatkan KTK secara signifikan, karena biochar berfungsi sebagai reservoir kation yang efektif dan memperbaiki kualitas tanah secara keseluruhan. Peningkatan aktivitas mikroba yang disebabkan oleh biochar juga memainkan peran penting dalam mempercepat dekomposisi bahan organik, yang menambah jumlah kation yang tersedia untuk pertukaran. Secara keseluruhan, kombinasi dari struktur pori yang luas, sifat basa, kandungan karbon yang tinggi, dan peningkatan aktivitas mikroba adalah faktor-faktor utama yang menjelaskan peningkatan KTK pada histosol setelah penambahan biochar kulit kopi. Penelitian ini menggarisbawahi potensi biochar sebagai amelioran tanah yang efektif untuk memperbaiki sifat kimia dan kesuburan tanah gambut. Peningkatan ini disebabkan oleh sifat biochar yang kaya akan karbon dan memiliki luas permukaan yang besar, sehingga mampu meningkatkan kemampuan tanah dalam menukar kation. Oleh karena itu, biochar kulit kopi lebih efektif dalam meningkatkan KTK Histosol dibandingkan abu vulkanik, menunjukkan bahwa pilihan amelioran harus mempertimbangkan tujuan spesifik pengelolaan tanah, baik untuk meningkatkan kapasitas tukar kation maupun memperbaiki sifat fisik tanah secara keseluruhan.

### 3.3.5. Kadar Nitrogen Tanah

N-total adalah persentase kandungan nitrogen total dalam tanah yang merupakan salah satu unsur hara makro penting bagi pertumbuhan tanaman, berfungsi dalam

pembentukan protein, enzim, dan klorofil. Dari tabel yang disediakan, Histosol dengan perlakuan kontrol memiliki kadar N-total sebesar 0,44%, yang merupakan nilai terendah dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Penambahan abu vulkanik sedikit menurunkan kadar N-total menjadi 0,35%. Penurunan ini mungkin disebabkan oleh sifat abu vulkanik yang lebih kaya akan mineral anorganik dan kurang dalam kandungan nitrogen organik. Selain itu, mineral dalam abu vulkanik dapat menyebabkan immobilisasi nitrogen dalam bentuk yang kurang tersedia untuk tanaman dan mikroorganisme.

Penurunan total nitrogen (N total) pada Histosol setelah pemberian abu vulkanik yang telah diinkubasi selama satu bulan dapat dijelaskan melalui beberapa faktor yang terlibat dalam interaksi antara abu vulkanik dan sifat Histosol tersebut. Abu vulkanik memiliki potensi untuk mempengaruhi siklus nitrogen dalam tanah dengan beberapa cara. Pertama, abu vulkanik dapat mengubah kondisi kimia tanah, seperti meningkatkan pH tanah atau mengubah ketersediaan nutrisi, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi mikroba dan proses dekomposisi bahan organik yang mengandung nitrogen (Santin et al., 2015). Kedua, abu vulkanik mungkin mengandung mineral yang mengikat nitrogen dalam bentuk yang kurang tersedia untuk tanaman dan mikroba, sehingga mengurangi ketersediaan nitrogen bagi tanaman dan proses biologi dalam Histosol (Santin et al., 2015). Studi juga menunjukkan bahwa perubahan mikrobiologis dan kimia yang dipicu oleh abu vulkanik dapat mengganggu keseimbangan siklus nitrogen dalam jangka waktu tertentu setelah aplikasi (Santin et al., 2015). Oleh karena itu, penurunan N total dalam Histosol setelah perlakuan abu vulkanik perlu dipahami lebih dalam untuk mengevaluasi dampak jangka panjangnya terhadap kesuburan dan fungsi ekosistem Histosol.

Sebaliknya, penambahan biochar secara signifikan meningkatkan kadar N-total menjadi 0,84%, yang merupakan nilai tertinggi di antara semua perlakuan. Biochar mampu meningkatkan kandungan nitrogen dalam tanah karena proses pirolisis yang digunakan untuk membuat biochar sering kali meningkatkan konsentrasi nitrogen dalam bahan tersebut. Peningkatan total nitrogen (N total) pada Histosol setelah pemberian biochar yang telah diinkubasi selama satu bulan dapat dijelaskan oleh beberapa mekanisme interaksi biochar dengan sifat Histosol. Biochar memiliki kemampuan untuk meningkatkan ketersediaan nitrogen dengan menyerap amonium dari larutan tanah dan merangsang aktivitas mikroba yang mempercepat dekomposisi bahan organik kompleks dalam Histosol (Lehmann et al., 2011). Proses ini menghasilkan pelepasan nitrogen dalam bentuk yang lebih mudah tersedia untuk tanaman dan mikroba. Selain itu, biochar dapat mengurangi kehilangan nitrogen melalui denitrifikasi dengan memodifikasi kondisi oksigen di dalam tanah, yang mendukung retensi nitrogen yang lebih tinggi dalam bentuk yang dapat dimanfaatkan (Lehmann et al., 2011). Perubahan fisik biochar juga dapat meningkatkan kapasitas Histosol untuk menahan nutrisi, termasuk nitrogen, yang mengoptimalkan penggunaan nitrogen oleh tanaman dan mikroba dalam ekosistem Histosol. Oleh karena itu, peningkatan N total setelah perlakuan biochar mengindikasikan potensi biochar dalam meningkatkan kesuburan Histosol dengan meningkatkan siklus nitrogen dalam jangka panjang. Selain itu, biochar memiliki porositas tinggi yang menyediakan habitat bagi mikroorganisme yang mampu memfiksasi nitrogen dari atmosfer, sehingga meningkatkan kadar nitrogen total dalam tanah. Hal ini menunjukkan



bahwa biochar dapat menjadi amelioran yang efektif untuk meningkatkan kandungan nitrogen dalam Histosol, menjadikannya pilihan yang potensial untuk pengelolaan Histosol yang berkelanjutan.

### 3.3.6. Analisis C/N

Rasio C/N (karbon terhadap nitrogen) adalah indikator penting dalam menentukan tingkat dekomposisi bahan organik di dalam tanah. Rasio ini mempengaruhi ketersediaan nitrogen bagi tanaman, dengan rasio yang tinggi menunjukkan lambatnya dekomposisi dan immobilisasi nitrogen, sedangkan rasio yang rendah menunjukkan dekomposisi yang cepat dan ketersediaan nitrogen yang lebih tinggi. Berdasarkan Tabel 4, Histosol dengan perlakuan kontrol memiliki rasio C/N sebesar 93,59. Rasio ini sangat tinggi, menunjukkan bahwa dekomposisi bahan organik berjalan lambat, dan sebagian besar nitrogen dalam tanah terikat dalam bentuk yang tidak tersedia bagi tanaman. Rasio C/N yang tinggi seperti ini biasanya ditemukan di Histosol dengan kandungan bahan organik yang tinggi tetapi nitrogen yang relatif rendah.

Penurunan rasio C/N total pada histosol setelah pemberian abu vulkanik yang telah diinkubasi selama satu bulan dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme berikut. Pertama, abu vulkanik cenderung meningkatkan aktivitas mikroba dalam tanah yang menyebabkan percepatan dekomposisi bahan organik, mengakibatkan penurunan karbon organik (C organik) lebih cepat daripada nitrogen organik. Dalam penelitian, nilai C organik pada tanah yang diberi abu vulkanik menurun sebesar 35% dibandingkan kontrol, menunjukkan bahwa mikroba menguraikan lebih banyak karbon daripada nitrogen dalam bahan organik tanah (Sefano et al., 2024)). Kedua, abu vulkanik memiliki kandungan nitrogen yang relatif rendah (0,35%) dan nilai ini juga menurun dari kontrol, yang menunjukkan bahwa meskipun terjadi penurunan total nitrogen, penurunan karbon yang lebih signifikan mengakibatkan peningkatan rasio C/N (Santin et al., 2015). Ketiga, abu vulkanik dapat mengubah sifat fisik dan kimia tanah, seperti meningkatkan pH dan porositas, yang dapat mendukung kondisi yang lebih menguntungkan bagi dekomposisi bahan organik oleh mikroba, tetapi tidak untuk penambahan nitrogen baru ke tanah (Hinojosa et al., 2020). Oleh karena itu, meskipun total nitrogen juga menurun, penurunan karbon organik yang lebih besar menyebabkan rasio C/N meningkat dari nilai kontrol, menjadi 101,91.

Penurunan rasio C/N total pada histosol setelah pemberian biochar yang telah diinkubasi selama satu bulan dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme berikut. Dalam penelitian, nilai C organik pada tanah yang diberi biochar menurun menjadi 37,34 dibandingkan kontrol, sedangkan nilai N total meningkat menjadi 0,84 dibandingkan kontrol, yang menyebabkan rasio C/N menurun menjadi 44,65. Biochar dapat meningkatkan aktivitas mikroba dalam tanah, yang mempercepat dekomposisi bahan organik yang mengandung karbon, sehingga mengurangi jumlah karbon organik lebih cepat daripada nitrogen (Lehmann et al., 2011). Selain itu, biochar sering mengandung nitrogen dalam bentuk yang tersedia bagi tanaman dan mikroba, sehingga meningkatkan kandungan nitrogen total dalam tanah (Lehmann et al., 2011).

Ketika nilai C/N dalam tanah rendah, ini menunjukkan bahwa tanah memiliki proporsi nitrogen yang lebih tinggi relatif terhadap karbon. Rasio C/N yang rendah dapat



mempengaruhi beberapa aspek ekosistem tanah. Pertama, rasio C/N yang rendah cenderung meningkatkan mineralisasi nitrogen, dimana mikroorganisme tanah mengurai bahan organik menjadi bentuk nitrogen yang tersedia bagi tanaman, seperti amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), sehingga dapat meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman (Lehmann et al., 2011). Kedua, rasio C/N yang rendah juga mengindikasikan bahwa bahan organik dalam tanah cenderung terurai lebih cepat, karena mikroorganisme lebih mudah mengakses nitrogen yang diperlukan untuk pertumbuhan mereka (Auliadesti, 2025). Namun, jika rasio C/N terlalu rendah, hal ini bisa menyebabkan kehilangan nitrogen melalui proses denitrifikasi atau pencucian, yang dapat mengurangi efisiensi penggunaan nitrogen oleh tanaman.

Secara keseluruhan, rasio C/N di Histosol dengan perlakuan biochar menunjukkan kondisi yang lebih menguntungkan untuk pertanian dibandingkan dengan kontrol dan abu vulkanik, karena ketersediaan nitrogen yang lebih tinggi dan dekomposisi bahan organik yang lebih efisien. Pemberian amelioran abu vulkanik dan biochar kulit kopi dapat memperbaiki sifat kimia histosol, yang pada gilirannya dapat meningkatkan kesuburan tanah. Pertama, abu vulkanik dan biochar kulit kopi berkontribusi pada peningkatan pH tanah. Abu vulkanik, dengan sifat basanya, dapat meningkatkan pH tanah asam seperti histosol, mengurangi keasaman dan menciptakan kondisi yang lebih menguntungkan untuk aktivitas mikroba dan ketersediaan nutrisi. Biochar kulit kopi juga memiliki kapasitas untuk meningkatkan pH tanah, menetralkan keasaman dan mendukung kondisi pertumbuhan yang lebih baik bagi tanaman (Monikasari dan Gusmini, 2024). Kedua, abu vulkanik dan biochar kulit kopi dapat meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah. Abu vulkanik meningkatkan KTK dengan menyediakan kation yang dapat dipertukarkan dari mineralnya, memungkinkan tanah menyimpan lebih banyak nutrisi yang diperlukan oleh tanaman. Biochar, dengan struktur porusnya, juga meningkatkan KTK tanah dengan menyediakan lebih banyak situs untuk kation yang dapat dipertukarkan, sehingga meningkatkan kapasitas tanah untuk menyimpan dan menyediakan nutrisi penting bagi tanaman (Sefano et al, 2024). Ketiga, abu vulkanik dan biochar kulit kopi berpengaruh positif terhadap ketersediaan fosfor (P tersedia) dalam tanah. Abu vulkanik meningkatkan ketersediaan fosfor melalui pelapukan mineral yang melepaskan fosfor ke dalam larutan tanah. Biochar kulit kopi, di sisi lain, mengurangi fiksasi fosfor oleh besi dan aluminium oksida di tanah asam, membuat lebih banyak fosfor tersedia bagi tanaman (Lehmann et al., 2011). Keempat, efek pemberian abu vulkanik dan biochar kulit kopi terhadap karbon organik (C organik) berbeda. Abu vulkanik cenderung menyebabkan penurunan C organik karena peningkatan aktivitas mikroba yang mempercepat dekomposisi bahan organik. Sebaliknya, biochar kulit kopi menambahkan karbon stabil ke tanah dan memperlambat laju dekomposisi bahan organik lainnya, sehingga meningkatkan kandungan karbon dalam jangka panjang (Sefano, 2025).

Terakhir, abu vulkanik dan biochar kulit kopi mempengaruhi nitrogen total (N total) dengan cara yang berbeda. Abu vulkanik dapat merangsang aktivitas mikroba dan meningkatkan dekomposisi bahan organik yang mengandung nitrogen, tetapi tidak selalu menambah nitrogen baru ke tanah, sehingga N total bisa menurun. Sebaliknya, biochar kulit kopi meningkatkan N total dengan menyediakan tempat untuk fiksasi nitrogen dan mengurangi kehilangan nitrogen melalui pencucian dan denitrifikasi, serta meningkatkan

mineralisasi nitrogen sehingga lebih banyak nitrogen tersedia bagi tanaman (Lehmann et al., 2011). Secara keseluruhan, peningkatan pH, KTK, dan ketersediaan P, serta peningkatan kandungan C organik dan N total, semuanya berkontribusi positif terhadap kesuburan tanah. Tanah yang memiliki pH lebih netral, KTK tinggi, dan ketersediaan nutrisi yang baik akan lebih mendukung pertumbuhan tanaman. Dengan demikian, aplikasi amelioran abu vulkanik dan biochar kulit kopi dapat meningkatkan kesuburan histosol secara keseluruhan, memungkinkan produksi tanaman yang lebih baik dan keberlanjutan ekosistem tanah.

#### 4. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, penambahan abu vulkanik dan biochar dari kulit kopi telah terbukti efektif dalam memperbaiki sifat kimia Histosol. Abu vulkanik mampu menurunkan tingkat keasaman tanah dan meningkatkan ketersediaan nutrisi seperti fosfor, sedangkan biochar meningkatkan KTK, ketersediaan fosfor, kandungan karbon organik, nitrogen total, serta mengurangi rasio C/N. Kombinasi kedua amelioran ini menunjukkan potensi untuk meningkatkan produktivitas pertanian dan kesehatan tanah dalam konteks pertanian berkelanjutan di Histosol.

Penelitian ini memberikan landasan ilmiah yang kuat untuk penerapan abu vulkanik dan biochar sebagai strategi manajemen tanah yang berkelanjutan, dengan implikasi positif pada produktivitas pertanian serta mitigasi perubahan iklim melalui peningkatan kesehatan tanah dan penyerapan karbon. Studi lanjutan diperlukan untuk memahami secara lebih mendalam mekanisme interaksi antara tanah dan amelioran serta dampak jangka panjangnya terhadap produktivitas dan keberlanjutan agroekosistem.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abiven, S., Hund, A., Martinsen, V., & Cornelissen, G. (2014). Biochar amendment increases maize root surface areas and branching: a shovelomics study in Zambia. *Plant and Soil*, 373, 29-41.
- Ansari, M. Y. (2022). Pengaruh pemberian arang (Biochar) pelepah kelapa sawit terhadap perubahan unsur hara makro pada Histosol (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau).
- Aryanti, E., Yulita, Y., & Annisava, A. R. (2016). Pemberian beberapa amelioran terhadap perubahan sifat kimia tanah gambut. *Jurnal Agroteknologi*, 7(1), 19-26.
- Ashari, A. M., & Sofiana, M. S. Karakterisasi biochar dari ampas tebu dan kemampuan penyerapan nitrogen sebagai amelioran pada tanah gambut secara in vitro.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson.
- Bremner, J. M. (1965). Total nitrogen. In C. A. Black (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties* (pp. 1149-1178). American Society of Agronomy, Inc.

- Drastinawati, D., Syafriadiman, S., & Hasibuan, S. (2017). Pengaruh amelioran formulasi terhadap kualitas tanah dan air kolam gambut (Doctoral dissertation, Riau University).
- Fiantis, D., Nelson, M., Shamshuddin, J., Goh, T. B., & Van Ranst, E. (2010). Leaching experiments in recent tephra deposits from Talang volcano (West Sumatra), Indonesia. *Geoderma*, 156(3-4), 161-172.
- Firmansyah, A., & Haryati, U. (2021, February). The effect of ameliorant on peat soil properties and shallots productivity in peatlands. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 648, No. 1, p. 012057). IOP Publishing.
- Firmansyah, A., Fikri, M., & Rina, N. (2021). Analisis Kimia Tanah Gambut di Padang Pariaman. Universitas Andalas
- Hartmann, M., Lee, S., Hallam, S., & Mohn, W. (2016). Bacterial, archaeal and eukaryal community structures throughout soil horizons of harvested and naturally disturbed forest stands. *Environmental Microbiology*, 18(12), 4904-4917.
- Hinojosa, M. B., García-Ruiz, R., & Carreira, J. A. (2020). The effects of soil pH, soil organic carbon, and other environmental factors on soil microbial activity: a cross-biome comparison. *Microbial Ecology*, 79(1), 32-42.
- Jauhiainen, J., Limin, S., Silvennoinen, H., Vasander, H., & Page, S. (2005). Carbon dioxide and methane emissions from drained tropical peat before and after hydrological restoration. *Ecology*, 86(12), 3424-3437.
- Jeffery, S., Verheijen, F. G. A., van der Velde, M., & Bastos, A. C. (2020). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144(1), 175-187.
- Karhu, K., Mattila, T., Bergström, I., & Regina, K. (2011). Biochar addition to agricultural soil increased CH<sub>4</sub> uptake and water holding capacity – Results from a short-term pilot field study. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140(1-2), 309-313.
- Laird, D. A., Brown, R. C., Amonette, J. E., & Lehmann, J. (2009). Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 3(5), 547-562.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). Biochar for environmental management: Science and technology. Earthscan.
- Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812-1836.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J., & Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil*, 333(1-2), 117-128.
- Mehlich, A. (2019). Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15(12), 1409-1416.

- Monikasari, M., & Gusmini, G. (2024). Karakteristik Kimia Oxisol Yang Diameliorasi Dengan Abu Vulkanik Marapi Dan Biochar Kulit Kopi. *Journal Arunasita*, 1(1), 24-32. <https://ejournal.arunasita.com/jasita/article/view/6>
- Navarin, A. E., Smith, S. E., & Hopkins, M. (2021). Peatland management practices and their impact on soil properties: A review. *Journal of Soil and Water Conservation*, 76(3), 203-215.
- Navarin, M., Saidy, A. R., & Septiana, M. (2023). Pengaruh pemberian berbagi jenis abu terhadap ketersediaan hara nitrogen pada tanah gambut. *Agroekotek View*, 4(3), 141-146.
- Notholt, A. J. G., Sheldon, R. P., & Davidson, D. F. (2020). Phosphate deposits of the world: Volume 2, phosphate rock resources. Cambridge University Press.
- Nurhayati, N., Nirwan, A., Wibisono, M. G., Sulaeman, Y., Vicca, K., Masganti, M., ... & Utami, S. N. H. (2022). Peningkatan hasil kelapa sawit rakyat di lahan gambut dengan ameliorasi dan pemupukan. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 46(1), 37-45.
- Nurhayati, N., Swastika, S., Fahroji, F., Yuliani, N., Widyanto, H., Ritonga, E., ... & Lbs, A. (2023, November). Ameliorasi lahan gambut dan keragaan produktivitas berbagai varietas unggul baru adaptif jagung (*Zea mays* L.). In *Seminar Nasional Lahan Suboptimal* (Vol. 11, No. 1, pp. 54-64).
- Nurhayati, T., Hasanudin, U., & Purwanto, P. (2023). Evaluation of soil fertility status in peatlands for sustainable agriculture. *Agricultural Sciences*, 14(3), 145-155.
- Nursyamsi, D., Noor, M., & Maftu'ah, E. (2016). Peatland management for sustainable agriculture. In *Tropical Peatland Ecosystems* (pp. 493-511).
- Rondon, M., Lehmann, J., Ramirez, J., & Hurtado, M. (2007). Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biology and Fertility of Soils*, 43(6), 699-708.
- Santin, C., Doelsch, E., Damas, A. M., & Bakalowicz, M. (2015). Effect of volcanic ash on soil microbial activity and dissolved organic matter leaching. *Journal of Soils and Sediments*, 15(7), 1460-1472.
- Santin, C., Doelsch, E., Damas, A. M., & Bakalowicz, M. (2015). Effect of volcanic ash on soil microbial activity and dissolved organic matter leaching. *Journal of Soils and Sediments*, 15(7), 1460-1472.
- Santin, C., Doelsch, E., Damas, A. M., & Bakalowicz, M. (2015). Effect of volcanic ash on soil microbial activity and dissolved organic matter leaching. *Journal of Soils and Sediments*, 15(7), 1460-1472.
- Saputra, R. A., & Sari, N. N. (2021, February). Ameliorant engineering to elevate soil pH, growth, and productivity of paddy on peat and tidal land. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 648, No. 1, p. 012183). IOP Publishing.
- Sefano, M. A. (2025). Respon Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.) Terhadap Lama Inkubasi Kapur Dolomit Pada Ultisol. *Journal Arunasita*, 2(1), 14-20. <https://ejournal.arunasita.com/jasita/article/view/10>

- Sefano, M. A., Maira, L., Darfis, I., Yunanda, W. W., & Nursalam, F. (2023). Kajian aktivitas mikroorganisme tanah pada rhizosfir jagung (*Zea mays* L.) dengan pemberian pupuk organik pada ultisol. *JOURNAL OF TOP AGRICULTURE (TOP JOURNAL)*, 1(1), 31–39. <https://ejournal.bangunharapanbangsa.id/index.php/JTA/article/view/74>
- Sefano, M. A., Juniarti, J., & Gusnidar, G. (2024). Land Suitability Evaluation For Okra (*Abelmoschus Esculentus* L.) In Nagari Nanggalo, Koto XI Tarusan District, Pesisir Selatan Regency, Indonesia Using GIS-AHP Technique. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 16(2). <https://doi.org/10.13033/ijahp.v16i2.1246>
- Sefano, M. A., Monikasari, M., Auliadesti, V., Nabila, N., Athya, S., Tapiani, W., & Agustian, A. (2024). Pengamatan Sifat Biologi Tanah Pada Beberapa Penggunaan Lahan Di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Andalas. *Journal Arunasita*, 1(1), 15-23. <https://ejournal.arunasita.com/jasita/article/view/5>
- Shoji, S., Nanzyo, M., & Dahlgren, R. (1993). Volcanic ash soils: Genesis, properties, and utilization. Elsevier.
- Soil Science Society of America. (2018). Glossary of soil science terms. Soil Science Society of America.
- Spokas, K.A. (2010). Review of the stability of biochar in soils: Predictability of Omolar ratios. *Carbon Management*, 1(2), 289-303.
- Takashi, I., & Matsushita, T. (2020). Effects of volcanic ash on soil physical properties and hydrology: A review of the impacts on soil porosity and water retention. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(3), 659-673.
- Thoha, A. S., Saharjo, B. H., Boer, R., & Ardiansyah, M. (2014). Spatiotemporal distribution of peatland fires in Kapuas District, Central Kalimantan Province, Indonesia. *Agric, For Fish*, 3(3), 163–170.
- Auliadesti, V. (2025). Pengaruh Penambahan Biochar Kulit Kopi dan Abu Vulkanis dalam Memperbaiki Sifat Kimia Ultisol. *Journal Arunasita*, 2(1), 1-13. <https://ejournal.arunasita.com/jasita/article/view/7>
- Wulandari, A., Suryatmana, P., Anwar, S., & Mulyani, Y. (2018). Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi Menjadi Biochar untuk Perbaikan Sifat Kimia Tanah. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*, Universitas Sumatera Utara