

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*

¹Departemen 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 H₂O (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 H₂O 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 ₂ 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 H₂O 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 ₂ O	9,34*	7,26**
pH KCl	8,73*	7,12**
C-Organik (%)	49,75*	-
N-Total (%)	0,36*	-
P ₂ O ₅ (%)	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 H₂O 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%, menggambarkan 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 ₂ 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 H₂O) 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 H₂O 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 H₂O 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 H₂O 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 (H₂O) 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 H₂O cenderung lebih tinggi dibandingkan pH KCl karena tidak terikat dengan ion H⁺ yang dapat dipertukarkan. Pengukuran dengan larutan KCl memberikan gambaran keasaman yang lebih terikat, karena KCl menggantikan ion H⁺ pada situs pertukaran kation. Biasanya, pH KCl lebih rendah dibandingkan pH H₂O 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 (H_2PO_4^- atau 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 P₂O₅ (Olsen) dan 55,23 ppm P₂O₅ (Mehlich). Penambahan abu vulkanik dan biochar meningkatkan ketersediaan fosfor secara signifikan. Tanah yang diberi perlakuan abu vulkanik menunjukkan ketersediaan fosfor sekitar 43,82 ppm P₂O₅ (Olsen) dan 65,00 ppm P₂O₅ (Mehlich), sementara biochar memiliki ketersediaan fosfor sekitar 40,25 ppm P₂O₅ (Olsen) dan 62,05 ppm P₂O₅ (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 (CO₂) 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 (NH_4^+) dan nitrat (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 CH₄ 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