

## **Karakteristik Kimia Oxisol Yang Diameliorasi Dengan Abu Vulkanik Marapi Dan Biochar Kulit Kopi**

### ***Chemical Characteristics of Oxisol Ameliorated with Marapi Volcanic Ash and Coffee Grounds Biochar***

**Moli Monikasari<sup>1\*</sup>, Gusmini<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Limau Manis, Padang, Indonesia, 25163

\*Corresponding Author: [molimonikasari08@gmail.com](mailto:molimonikasari08@gmail.com)

#### **ABSTRAK**

Tanah marginal memiliki potensi besar untuk dikembangkan meskipun menghadapi kendala seperti bahan organik yang rendah dan keasaman tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian abu gunung Marapi dan biochar kulit kopi terhadap karakteristik kimia tanah Oxisol dan bahan ameliorasi yang efisien untuk Oxisol. Penelitian ini menggunakan metode rancangan acak lengkap (RAL) dengan menginkubasikan Oxisol dengan amelioran menggunakan 3 ulangan selama 1 bulan. Perlakuan-perlakuan yang diberikan yaitu kontrol (Oxisol tanpa amelioran = K), Oxisol + abu gunung Marapi setara 5 ton/ha (A), dan Oxisol + biochar kulit kopi setara 5 ton/ha (B). 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 Mehlik; KTK (ammonium asetat pH 7); % C-organik (Walkey and Black); % N-total (Khjedal); dan % C/N Hasil menunjukkan perubahan signifikan pada karakteristik kimia tanah, terutama peningkatan pH, KTK, dan P-tersedia.

Kata kunci: Abu Gunung Marapi, Biochar kulit kopi, Karakteristik kimia, Oxisol

#### **ABSTRACT**

*Marginal soils have great potential to be developed despite facing obstacles such as low organic matter and high acidity. This study aims to determine the effect of applying Mount Marapi ash and coffee skin biochar on the chemical characteristics of Oxisol soil. This study used the complete randomized design (CRD) method by incubating Oxisol with ameliorants using 3 replicates for 1 month. The treatments given were control (Oxisol without ameliorant = K), Oxisol + Marapi mountain ash equivalent to 5 tons/ha (A), and Oxisol + coffee husk biochar equivalent to 5 tons/ha (B). Soil chemical analysis for this study includes soil pH measurement with different soil to solvent ratio (1:5 and 1:10) and shaking time (30 minutes and 60 minutes); P-available Olsen and Mehlik method; CEC (ammonium acetate pH 7); % C-organic (Walkey and Black); % N-total (Khjedal); and % C/N The results showed significant changes in soil chemical characteristics, especially the increase in pH, CEC, and P-available.*

*Keywords: Chemical characteristics, Coffee grounds biochar, Marapi volcanic ash, Oxisol*

## PENDAHULUAN

Luasan sebaran Oxisol di daerah tropis sangat potensial untuk dikembangkan menjadi kawasan pertanian. Berdasarkan data dari Food and Agriculture Organization (FAO), tanah Oxisol menutupi sekitar 23% dari seluruh wilayah tanah tropis di dunia, meliputi lebih dari 1,2 miliar hektar (FAO, 2020). Tanah ini umumnya ditemukan di Amerika Selatan, Afrika, Asia Tenggara, dan sebagian Australia (Lal & Stewart, 2021).

Namun, Oxisol menjadi salah satu jenis tanah tropis yang sangat terdegradasi dan mengalami pelapukan lanjut. Tanah ini umumnya memiliki sifat fisik dan kimia yang kurang mendukung untuk pertumbuhan tanaman, seperti pH yang rendah, kapasitas tukar kation (KTK) yang rendah, serta kandungan bahan organik yang minim (Sanchez, 2019). Pemanfaatan tanah Oxisol untuk kegiatan pertanian menghadapi berbagai tantangan, antara lain tingkat keasaman yang tinggi, rendahnya kandungan bahan organik, dan defisiensi hara esensial (Craswell & Lefroy, 2021).

Untuk meningkatkan produktivitas tanah Oxisol, berbagai pendekatan telah dikaji dan diterapkan, termasuk penggunaan bahan amelioran seperti kapur, pupuk organik, biochar, dan abu gunung, serta penerapan praktik konservasi tanah dan air (Lehmann *et al.*, 2020). Dalam upaya meningkatkan produktivitas tanah Oxisol, berbagai teknologi dan bahan amelioran telah diterapkan, di antaranya adalah penggunaan biochar dan abu gunung. Penelitian yang dilakukan Jeffery *et al.*, (2021) pemberian biochar terhadap tanah mineral masam menunjukkan peningkatan retensi air, pH tanah, KTK tanah sehingga meningkatkan hasil panen.

Abu gunung mengandung berbagai macam mineral yang esensial bagi pertumbuhan tanaman, seperti kalsium, magnesium, kalium, dan fosfor. Penambahan abu gunung ke dalam tanah Oxisol dapat menyuplai unsur hara yang sangat dibutuhkan oleh tanaman (Asming *et al.*, 2020). Biochar memiliki struktur pori-pori yang tinggi dan luas permukaan yang besar, yang membantu meningkatkan kapasitas tukar kation tanah. Ini berarti tanah dapat menahan lebih banyak nutrisi yang tersedia bagi tanaman (Fidel *et al.*, 2020).

Pengaruh abu vulkanik ditentukan oleh kuantitas dan komposisinya (Tobar, 2019). Jenis magma mempengaruhi komposisi abu vulkanik. Ion-ion yang umumnya teradsorpsi adalah Cl, Ca, Na,  $\text{SO}_4^{2-}$ , Mg, dan F yang sangat mudah larut dan segera tercuci ke dalam tanah dan lingkungan (Minasny *et al.*, 2020). Abu di daerah dekat gunung berapi dapat diperoleh dengan relatif mudah dan diaplikasikan secara langsung (dengan takaran 20-80 t/ha). Ketika letusan besar terjadi, material vulkanik dapat diangkut melalui erosi dan sungai ke daerah dengan tanah yang lapuk seperti Oxisols dan Ultisols untuk peremajaan tanah (Anda, 2016).

Di negara-negara dengan gunung berapi aktif, abu vulkanik (tephra) merupakan solusi berbasis alam yang lebih layak untuk perbaikan tanah dan pengurangan  $\text{CO}_2$  karena abu gunung dapat menangkap dan menyimpan karbon, (Minasny, 2020). Analisis terhadap tanah vulkanik lapisan atas di Sumatera Barat menunjukkan kandungan karbon organik rata-rata sebesar 4%, dan pada beberapa kasus, kandungan karbon dapat mencapai 15% (Fiantis *et al.*, 2017).

Anda dan Sarwani (2012) *cit* Minasny *et al.*, (2021) mengumpulkan sampel air dari sungai segera setelah letusan gunung Merapi di Jawa Tengah pada tahun 2010 Demikian pula, Fiantis *et al.*, (2010) *cit* Minasny *et al.*, (2021) melakukan percobaan pelindian pada

tephra (abu gunung) dari Gunung Talang di Sumatera Barat dan menemukan pelepasan besar kation dan fosfor.

Biochar adalah material karbon yang dihasilkan melalui pirolisis biomassa pada kondisi tanpa atau sedikit oksigen (Lehmann & Joseph, 2019). Penggunaan biochar telah terbukti meningkatkan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, seperti meningkatkan pH tanah, menambah kapasitas tukar kation, serta meningkatkan kandungan bahan organik tanah (Fidel *et al.*, 2020). Selain itu, biochar juga mampu meningkatkan retensi air dan mengurangi pencucian nutrisi, sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk (Jeffery *et al.*, 2021). Oleh karena itu dilakukan penelitian mengenai pengaruh amelioran-amelioran tersebut terhadap perubahan karakteristik kimia tanah Oxisol dalam upaya mengetahui tingkat kesuburan untuk perbaikan produktivitas tanahnya.

## MATERI DAN METODE

Sampel tanah dengan ordo Oxisol yang belum dikelola diambil secara komposit di Padang Siantah, Payakumbuh sedangkan abu gunung yang berasal dari hasil letusan 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 Oxisol dengan amelioran menggunakan 3 ulangan selama 1 bulan. Perlakuan-perlakuan yang diberikan yaitu kontrol (Oxisol tanpa amelioran = K), Oxisol + abu gunung Marapi setara 5 ton/ha (A), dan Oxisol + biochar kulit kopi setara 5 ton/ha (B). 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 Mehlik; KTK (ammonium asetat pH 7); % C-organik (Walkey and Black); % N-total (Khjedal); dan % C/N (BPSITP, 2023).

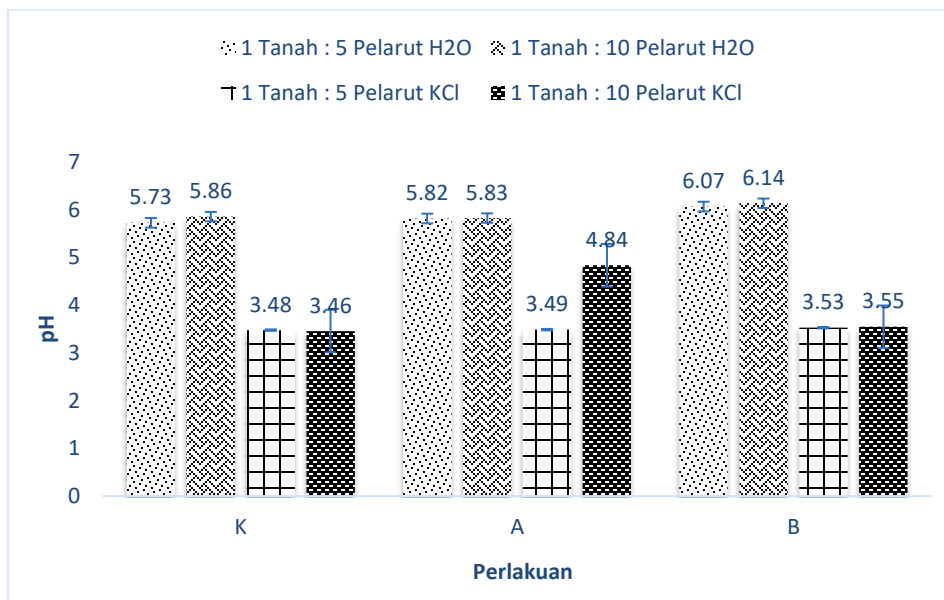
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Upaya peningkatan kesuburan tanah berdasarkan karakteristik kimia tanah marginal seperti Oxisol menggunakan abu gunung dan biochar kulit kopi menunjukkan hasil yang lebih baik. Menurut Herviyanti *et al.* (2012) pH H<sub>2</sub>O tanah awal tanpa inkubasi 5,12; C-organik (%) 1,04; N-Total (%) 0,12; C/N 9,45; P-tersedia (ppm) 5,76; KTK (me/100 g) 12,32.

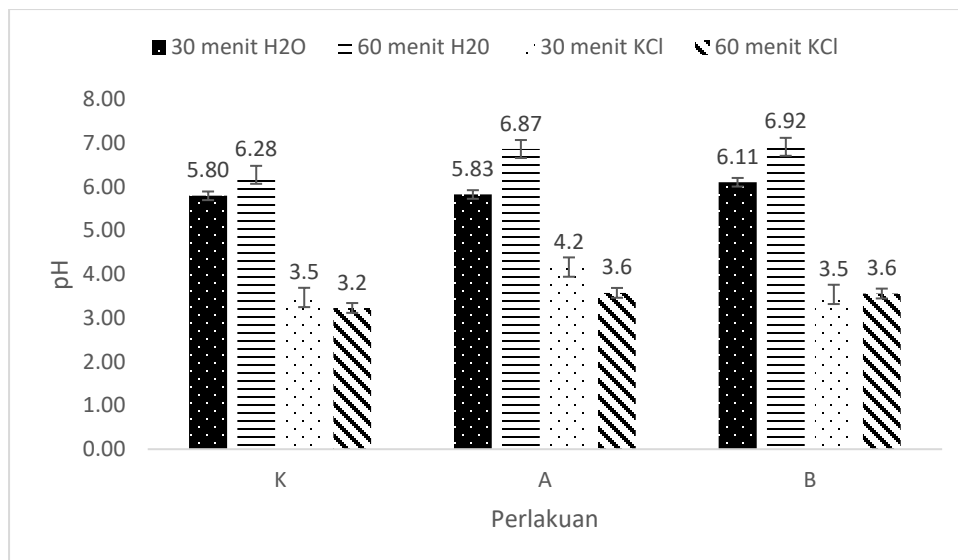
Berdasarkan Gambar 1 terjadi peningkatan pH di larutan tanah (pH H<sub>2</sub>O) dan pH di kompleks jerapan tanah (pH KCl) setelah diinkubasi selama 1 bulan menggunakan biochar dan abu gunung marapi. Aplikasi biochar secara signifikan meningkatkan pH tanah Oxisol.

Pada dasarnya, amelioran amelioran tersebut menyumbangkan material karbonat dan unsur-unsur alkalin untuk meningkatkan keberadaan OH. Biochar yang digunakan berasal dari biomassa kayu dan memiliki pH yang relatif tinggi. Peningkatan pH ini disebabkan oleh kandungan abu dalam biochar yang mengandung kalsium karbonat dan magnesium karbonat, yang bersifat alkalin dan dapat menetralkan keasaman tanah (Glaser *et al.*, 2019). Menurut penelitian Fiantis *et al.* (2010) pH abu vulkanik dalam air (H<sub>2</sub>O) adalah 7,26 sedangkan pH dalam KCl adalah 7,12.

Abu gunung mengandung mineral basa seperti kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>), magnesium karbonat (MgCO<sub>3</sub>), dan kalium oksida (K<sub>2</sub>O). Ketika abu gunung ditambahkan ke tanah masam, mineral ini bereaksi dengan ion hidrogen (H<sup>+</sup>) di dalam tanah, menghasilkan peningkatan pH.



(a)



(b)

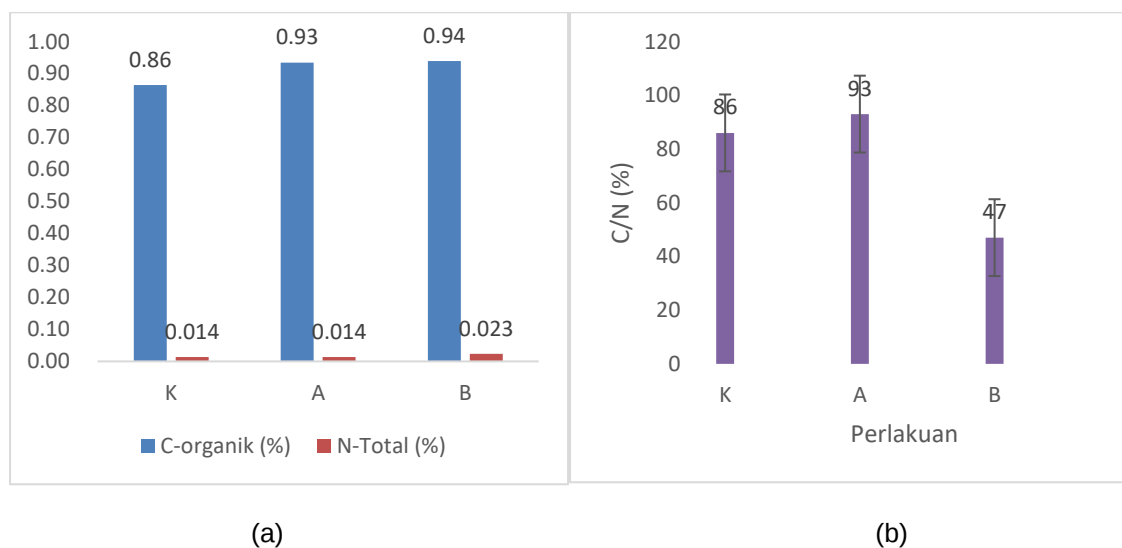
Gambar 1. pH H<sub>2</sub>O dan KCl berdasarkan perbedaan (a) perbandingan tanah dengan pelarut (b) lama pengocokan

Abu vulkanik memiliki komposisi mineral yang lebih kompleks dan bergantung pada jenis letusan serta jenis batuan asalnya. Abu vulkanik sering kali mengandung silika tinggi dan senyawa lainnya yang tidak berkontribusi signifikan terhadap peningkatan pH. Beberapa abu vulkanik juga bisa bersifat sedikit asam karena adanya senyawa seperti asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (Mihai *et al.*, 2023; Ermolin *et al.*, 2020).

Disisi lain diketahui bahwa pH Oxisol yang diameliorasi dengan biochar kulit kopi (B) lebih tinggi dari perlakuan Kontrol (K) maupun abu (A) karena biochar kulit kopi mengandung basa-basa yang dapat meningkatkan pH. Selain itu Asfaw *et al.* (2019) menjelaskan bahwa pemberian biochar kulit buah kopi pada lahan pertanian dapat meningkat pH, konduktivitas listrik dan kapasitas tukar kation yang mengindikasikan peningkatan kesuburan tanah

Jumlah pelarut juga mempengaruhi keberadaan  $H^+$  pada larutan ketika pengukuran. Pelarut yang lebih banyak (1:10) menyebabkan konsentrasi  $H^+$  lebih sedikit terlarut pada pelarut yang diberikan sehingga nilai pH-nya lebih tinggi dibandingkan dengan pelarut yang lebih sedikit (1:10). Pengocokan yang lebih lama (60 menit) bisa sedikit menurunkan pH karena lebih banyak ion hidrogen ( $H^+$ ) dan aluminium ( $Al^{3+}$ ) yang terlepas dari partikel tanah ke dalam larutan. Ini terjadi terutama pada tanah yang kaya akan mineral yang dapat dipertukarkan atau tanah yang sangat asam.

Lebih lanjut, peningkatan pH tersebut juga terjadi pada %C-organik dan %N-Total tanah setelah pengaplikasian amelioran (Gambar 2).



Gambar 2. Hasil pengukuran (a) %C-organik dan %N-Total tanah dan (b) %C/N tanah setelah diinkubasi.

Pemberian biochar kulit kopi menunjukkan peningkatan yang paling besar terhadap C-organik dalam tanah dibandingkan pemberian abu gunung Marapi. Abu gunung tidak berkontribusi secara langsung terhadap akumulasi bahan organik dalam tanah seperti biochar. Kemampuan biochar untuk menyimpan bahan organik dalam bentuk yang stabil dan mengurangi laju dekomposisi, berbeda dengan abu gunung yang cenderung memberikan manfaat lain seperti peningkatan nutrisi dan perbaikan struktur tanah (Hartati *et al.*, 2016). Kiggundu dan Sittamukyoto (2019) melaporkan 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%.

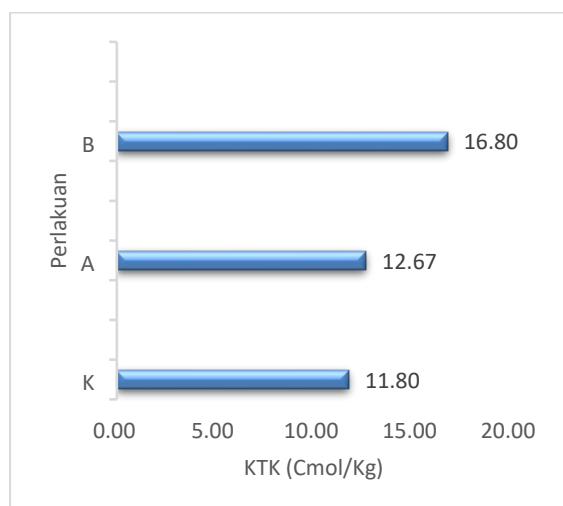
Selain itu, kondisi tersebut juga terjadi pada N-total di dalam tanah yang telah diameliorasi. Hasilnya menunjukkan tidak ada perubahan yang signifikan bahkan dengan pemberian abu gunung N-total tidak berubah dibandingkan kontrol. Sedangkan dengan perlakuan biochar terjadi 0.01 % peningkatan diindikasikan bahwa pemberian biochar dapat membantu meningkatkan aerasi dan drainase dalam tanah sehingga terjadi

pendekomposisian bahan organik dalam tanah sehingga menyebabkan pertambahan N-Total dalam tanah yang diameliorasi tersebut.

Demikian halnya pada nilai C/N pada tanah yang diameliorasi dengan biochar menunjukkan nilai C/N yang paling rendah sehingga dapat membuktikan bahwa dekomposisi lebih cepat terjadi. Biochar umumnya tidak menyediakan banyak nitrogen (N) tambahan ke tanah, kecuali jika biochar diproduksi dari sumber-sumber yang kaya akan nitrogen (Agegnehu *et al.*, 2017). Hal ini dapat menyebabkan perubahan dalam rasio C/N (Carbon-to-Nitrogen ratio) tanah setelah aplikasi biochar. Rasio C/N yang rendah atau seimbang biasanya diinginkan untuk mendukung dekomposisi bahan organik dan memfasilitasi mineralisasi nitrogen yang lebih baik.

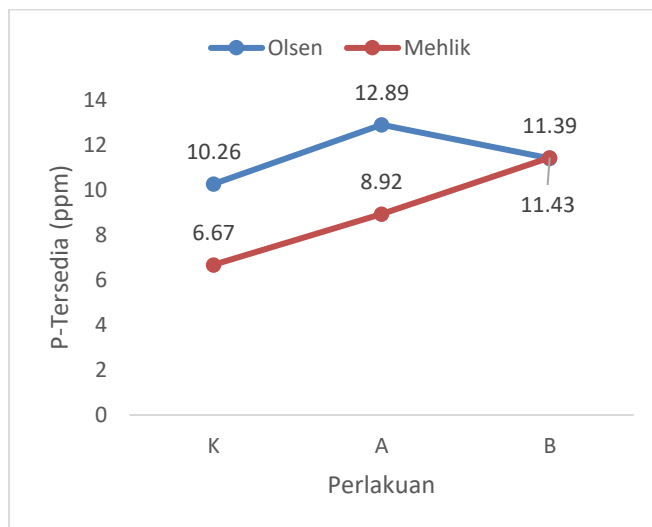
Kandungan C-organik pada tanah berkorelasi dengan kemampuan penjerapan kation pada tanah. Tanah yang diameliorasi dengan biochar berkontribusi dalam menyumbangkan muatan negative pada tanah melalui keberadaan gugus fungsi seperti karboksil yang berasal dari komposisi bahan baku pembuatan biochar tersebut.

Biochar mengandung gugus oksigen yang dapat berupa hidroksil (-OH), karbonil (C=O), dan karboksilat (COO-) yang melekat pada permukaan partikel biochar (Herviyanti *et al.*, 2023). Gugus-gugus ini dapat berperan sebagai situs pengikat ion, khususnya kation, seperti kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), dan kalium ( $\text{K}^{+}$ ), meningkatkan kapasitas tukar kation (CEC) tanah.



Gambar 3. Hasil pengukuran KTK Oxisol yang diameliorasi.

Sesuai dengan hasil penelitian KTK tanah berdasarkan Gambar 3 diketahui bahwa KTK-nya lebih tinggi menggunakan biochar kulit kopi dibanding perlakuan lainnya. Selain itu, biochar juga mempunyai surface area yang lebih besar sehingga menambah fungsi koloid pada Oxisol dalam menjerap kation.



Gambar 4. P-tersedia Oxisol yang diinkubasi dengan metode Olsen dan Mehlik.

Selain itu, gugus fungsi pada permukaan biochar dapat berikatan dengan ion  $Al^{3+}$  melalui interaksi ionik dan kovalensi, membentuk kompleks stabil yang tidak larut. Ini mengurangi konsentrasi  $Al^{3+}$  bebas yang dapat berinteraksi dengan akar tanaman. Dengan demikian keberadaan P yang sebelumnya diikat kuat (fiksasi) oleh  $Al^{3+}$  jadi terlepas sehingga tanah mempunyai P-tersedia yang lebih tinggi dibandingkan tanpa diberikan biochar.

Peningkatan P-tersedia dengan pemberian abu gunung disebabkan oleh sumbangan pospat dari mineral-mineral yang terkandung dalam abu. Mineral-mineral dalam abu gunung seperti apatit mengalami pelapukan kimia melalui proses hidrolisis dan asidifikasi. Reaksi ini memecah mineral dan melepaskan ion fosfat ( $PO_4^{3-}$ ) ke dalam tanah (Cornelissen *et al.*, 2020).

Secara khusus, hasil pengukuran P-tersedia pada kedua metode yaitu Mehlik dan Olsen menunjukkan hasil yang cukup berbeda. Hal ini dikarenakan perbedaan pelarut yang digunakan serta perbedaan pH tanah yang cocok untuk metode analisis tanahnya. Olsen lebih cocok digunakan untuk tanah-tanah yang lebih basa dibandingkan Mehlik yang dapat digunakan pada tanah masam (Ummatnate *et al.*, 2014).

## KESIMPULAN

Pemberian abu gunung Marapi dan biochar kulit kopi memperbaiki karakteristik pH, C-organik, N-Total, KTK dan P-tersedia tanah pada Oxisol. Amelioran ini dapat menjadi solusi efektif untuk mengatasi kendala kesuburan tanah marginal di wilayah tropis, sehingga mendukung peningkatan produktivitas pertanian. Pemanfaatan amelioran lokal seperti abu gunung dan biochar tidak hanya meningkatkan kesuburan tanah tetapi juga berkontribusi pada praktik pertanian berkelanjutan dan ramah lingkungan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan Fakultas Pertanian Universitas Andalas dalam memfasilitasi dan mensupport penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agegehu, G., Srivastava, A. K., & Bird, M. I. 2017. The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: A review. *Applied Soil Ecology*, 119, 156-170.
- Anda, M., 2016. Characteristics of pristine volcanic materials: beneficial and harmful effects and their management for restoration of agroecosystem. *Sci. Total Environ.* 543, 480–492.
- Anda, M., Sarwani, M., 2012. Mineralogy, chemical composition, and dissolution of freshash eruption: new potential source of nutrients. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 76 (2), 733–747.
- Asming, J., Yang, Y., & Chen, Y. 2020. Application of volcanic ash to improve soil properties and crop yield in acidic soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(14), 3821-3831.
- Asfaw, E., Nebiyu, A., Bekele, E., Ahmed, M., and Astatkie, T. 2019. Coffee-husk biochar application increased AMF root colonization, P accumulation, N<sub>2</sub> fixation, and yield of soybean grown in a tropical Nitisol, southwest Ethiopia. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 182(3): 419-428.
- Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk (BPSITP). 2023. *Analisis kimia tanah, tanaman, air, dan pupuk*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Cornelissen, S. G., Wittstock, L. E., & Teixeira, W. G. 2020. Weathering of volcanic ash soils: A geochemical perspective. *Geoderma*, 365, 114245.
- Craswell, E.T., & Lefroy, R.D.B. 2021. The Role and Potential of Biochar in Reclaiming Degraded Lands. *Springer*.
- Ermolin, M.S., & Fedotov, P.S. (2020). Methodology for separation and elemental analysis of volcanic ash nanoparticles. *Journal of Analytical Chemistry*, 72(5), 533-541.
- FAO. 2020. World Soil Resources Reports. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- 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), 161–172.
- Fidel, R.B., Laird, D.A., Thompson, M.L., & Lawrinenko, M. 2020. Characterization and quantification of biochar alkalinity. *Chemosphere*, 245, 125-162.
- Glaser, B., Lehmann, J., & Zech, W. 2019. Biochar in agricultural soils: Effects on soil properties and crop yield. *Science of The Total Environment*, 565, 120-135.
- Hartati, S., Nurtjahja, E., Kurniawan, A., & Witjaksono, A. (2016). Effect of volcanic ash on soil fertility and yield of maize in the highland acid soil of Sare." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 31(1), 012011.
- Herviyanti, A. Maulana, M. Monikasari, A. Leolita, dan A. M. Fathi. (2023). *Ameliorasi tanah tercemar berbasis biochar*. Deepublish: Yogyakarta.
- Herviyanti, Chici Anche, Gusnidar, dan Irwan Darfis. (2012). Perbaikan Sifat Kimia Oxisol dengan Pemberian Bahan Humat dan Pupuk P untuk Meningkatkan Serapan Hara dan Produksi Tanaman Jagung (*Zea mays*, L.). *Jurnal Solum*, 9 (2) 51-60.
- Jeffery, S., Abalos, D., Prodana, M., Bastos, A.C., van Groenigen, J.W., Hungate, B.A., & Verheijen, F.G. (2021). Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Environmental Research Letters*, 16(12), 125006.

- Kiggundu, N. and Sittamukyoto, J. (2019). Pyrolysis of coffee husk for biochar production. *Journal of Environmental Protection*, 10:1553-1564.
- Lal, R., & Stewart, B.A. 2021. *Soil Degradation and Restoration in Africa*. CRC Press.
- Laviendi, A., Ginting, J. dan Irsal. (2017). Pengaruh Perbandingan Media Tanam Kompos Kulit Biji Kopi dan Pemberian Pupuk NPK (15:15:15) Terhadap Pertumbuhan Bibit Kopi (*Coffea arabica* L.) di Rumah Kaca. *Jurnal Agroteknologi FP USU*, 5(1): 72-77.
- Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., & Crowley, D. 2020. Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812-1836.
- Mihai, M., Constantinescu, R., & Dumitrescu, E. (2023). Impact of volcanic ash on soil properties and plant growth. *Journal of Environmental Science and Health*, 58(4), 245-259.
- Minasny B, Dian Fiantis, Kurniatun Hairiah, dan Meine Van Noordwijk. (2021). Applying volcanic ash to croplands – The untapped natural solution. *Soil Security* (3) 100006. 1-5.
- Sanchez, P.A. (2019). *Properties and Management of Soils in the Tropics*. Cambridge University Press.
- Tobar, C.F.A., (2019). Weathering of Powdered Volcanic Rocks: Laboratory and Modelling Studies for Assessing Rates and Environmental Impacts. Université Catholique de Louvain.
- Umaternatea G. R, Jemmy Abidjlua, Audy D. Wuntu. 2014. Uji Metode Olsen dan Bray dalam Menganalisis Kandungan Fosfat Tersedia pada Tanah Sawah di Desa Konarom Barat Kecamatan Dumoga Utara. *Jurnal mipa unsrat online* 3 (1) 6-10.