



Efek Abu Hasil Erupsi Gunung Marapi dan Biochar Kulit Kopi Terhadap Perubahan Sifat Kimia Andisol

Muhammad Aknil Sefano^{1*} dan Gusmini²

Departemen Ilmu Tanah dan Suberdaya Lahan, Universitas Andalas, Kota Padang, Indonesia

Email: ¹m.aknil.sefano@gmail.com, ²gusminianis@agr.unand.ac.id

Email Penulis Korespondensi: m.aknil.sefano@gmail.com

Abstrak-Hasil letusan gunung api adalah pelepasan abu vulkanik dengan volume yang cukup besar dan merupakan sumber cadangan unsur hara bagi tanah. Di sisi lain, biochar kulit kopi, sebuah produk berbasis biomassa yang dihasilkan dari pirolisis kulit kopi, telah menarik perhatian sebagai perbaikan tanah yang berpotensi untuk meningkatkan kesuburan tanah. Penelitian dirancang dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL), yang terdiri atas 3 percobaan dan 3 ulangan. Macam perlakuan dalam penelitian ini adalah Kontrol (K), 5 ton/ha Abu Gunung Marapi (A), 5 ton/ha Biochar Kulit Kopi (C) dan dilakukan inkubasi selama 1 bulan. Hasil penelitian menunjukkan pemberian 5 ton abu vulkanik Gunung Marapi meningkatkan Nilai pH dari 4,78 menjadi 6,33. kadar P-Olsen (ppm) meningkat dari 41,43 menjadi 44,98. Kadar C-Organik (%) menurun dari 2,96 menjadi 2,73. Nilai KTK (cmol/kg) dari 26,50 menjadi 33,20. Kadar N-total (%) sebesar 0,31. Sedangkan pemberian 5 ton Biochar Kulit Kopi meningkatkan Nilai KTK (cmol/kg) dari 26,50 menjadi 39,80, lebih baik dari pemberian abu gunung. Pemberian abu vulkanik Gunung Marapi dapat meningkatkan pH tanah dan ketersediaan fosfor, sementara pemberian biochar kulit kopi menunjukkan peningkatan yang lebih signifikan dalam nilai KTK tanah. Kedua bahan tersebut memiliki potensi untuk memperbaiki sifat-sifat tanah Andisol

Kata Kunci: Abu Vulkanik, Gunung Marapi, Andisol, Biochar

Abstract-The result of volcanic eruptions is the release of volcanic ash with a large enough volume and is a source of nutrient reserves for the soil. On the other hand, coffee husk biochar, a biomass-based product produced from the pyrolysis of coffee husk, has attracted attention as a potential soil amendment to improve soil fertility. The research was designed with a Completely Randomized Design (CRD), consisting of 3 experiments and 3 replications. The treatments in this research were Control (K), 5 tons/ha of Mount Marapi Ash (A), 5 tons/ha of Coffee Peel Biochar (C) and incubated for 1 month. The results showed that the application of 5 tons of Mount Marapi volcanic ash increased the pH value from 4.78 to 6.33. P-Olsen levels (ppm) increased from 41.43 to 44.98. C-Organic content (%) decreased from 2.96 to 2.73. CEC value (cmol/kg) from 26.50 to 33.20. N-total content (%) amounted to 0.31. Meanwhile, the application of 5 tons of coffee husk biochar increased the CEC value (cmol/kg) from 26.50 to 39.80, better than the application of mountain ash. The application of Mount Marapi volcanic ash can increase soil pH and phosphorus availability, while the application of coffee skin biochar showed a more significant increase in soil CEC value. Both materials have the potential to improve Andisol soil properties.

Keywords: Volcanic Ash, Mount Marapi, Andisol, Biochar

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan jumlah gunung berapi terbanyak di dunia. Di antara gunung-gunung tersebut, Gunung Marapi di Sumatra Barat adalah salah satu yang paling aktif. Aktivitas vulkanik yang tinggi menghasilkan abu vulkanik yang terdistribusi luas, mempengaruhi kondisi lingkungan, termasuk tanah (Prasetyo, 2015). Abu vulkanik merupakan material piroklastik yang kaya akan mineral dan dapat mempengaruhi sifat fisik dan kimia tanah (Shoji, et.al, 1993). Dalam pertanian, abu vulkanik sering dianggap sebagai sumber alami hara tanah yang berpotensi meningkatkan kesuburan tanah, terutama di daerah yang terkena dampak erupsi. (Witham, 2005)

Erupsi Gunung Marapi yang menghasilkan abu vulkanik memberikan peluang untuk memanfaatkan material ini dalam peningkatan kualitas tanah. Dengan pengolahan yang tepat, abu vulkanik bisa dijadikan sebagai bahan amelioran untuk memperbaiki sifat kimia tanah Andisol. (Amini dan Ghadiri, 2014). Abu vulkanik mengandung berbagai mineral yang dapat menjadi sumber hara bagi tanaman. Abu ini kaya akan silika, aluminium, besi, kalsium, magnesium, dan kalium (Wiedner, et.al, 2013). Kandungan mineral ini berpotensi meningkatkan kesuburan tanah dengan menambah unsur hara makro dan mikro yang dibutuhkan tanaman. Namun, abu vulkanik juga dapat menyebabkan penurunan pH tanah, yang bisa berdampak negatif pada ketersediaan hara dan kesehatan tanaman.

Andisol, salah satu jenis tanah vulkanik yang subur, merupakan tanah yang terbentuk dari abu vulkanik dan memiliki kapasitas pertukaran kation tinggi serta kemampuan menyimpan air yang baik. Meskipun demikian, Andisol juga memiliki beberapa keterbatasan, seperti pH yang rendah, kandungan aluminium yang tinggi, dan kemampuan mengikat fosfor yang kuat sehingga mengurangi ketersediaan fosfor bagi tanaman (Setiawan, 2017). Mempelajari bagaimana abu hasil erupsi Gunung Marapi memengaruhi sifat kimia tanah Andisol dapat memberikan wawasan yang berharga tentang adaptasi tanaman dan manajemen tanah pasca-erupsi.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan biochar. Biochar adalah bahan padat yang kaya karbon yang dihasilkan dari pirolisis biomassa, seperti limbah pertanian, pada kondisi anaerob (Lehmann dan Joseph, 2009). Biochar dikenal memiliki kemampuan memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa aplikasi biochar dapat meningkatkan pH tanah, menurunkan kadar aluminium, dan meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman (Sohi, et.al, 2010).

Kulit kopi, sebagai salah satu limbah pertanian yang melimpah di Indonesia, dapat dijadikan bahan baku untuk produksi biochar (Zhou dan Lu, 2013). Kulit kopi mengandung berbagai unsur hara seperti nitrogen, fosfor, dan

kalium, serta senyawa organik yang bermanfaat bagi tanah (Sefano, et.al, 2023). Dengan memanfaatkan kulit kopi menjadi biochar, selain mengurangi limbah, juga dapat memberikan nilai tambah sebagai amelioran tanah. (Wijaya, 2014)

Biochar yang dihasilkan dari pirolisis kulit kopi mengandung karbon stabil yang dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan retensi air, dan menurunkan laju pelindian hara (Suryani, 2018). Selain itu, biochar dapat meningkatkan kapasitas tukar kation (CEC), yang penting untuk menjaga ketersediaan hara bagi tanaman (Novak, et.al 2009). Kulit kopi sebagai bahan baku biochar memiliki keunggulan tersendiri karena mudah didapat dan merupakan limbah pertanian yang belum dimanfaatkan secara optimal. (Schimmelpfennig dan Glaser, 2012). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh inkubasi abu vulkanik dan biochar terhadap beberapa sifat kimia tanah Andisol.

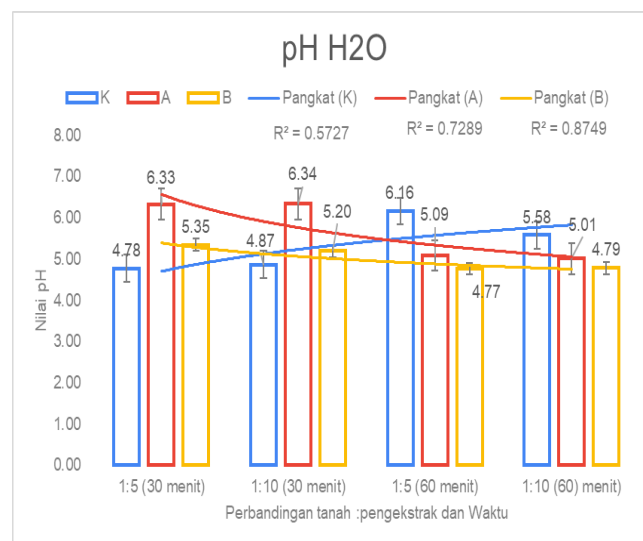
2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini akan menggunakan metode eksperimen dengan rancangan acak lengkap (RAL). Percobaan dilakukan di laboratorium untuk mengkaji efek penambahan abu vulkanik dan biochar kulit kopi pada tanah Andisol. Perlakuan yang dicoba meliputi Kontrol (tanpa perlakuan) (K), 5 ton/ha Abu Vulkanik (A), dan 5 ton/ha Biochar Kulit Kopi (B). Tanah ditimbang sebanyak 5 kg/polibag lalu disiram sampai kapasitas lapang dan diinkubasi selama 1 bulan. Setelah inkubasi selesai, dilakukan analisis kimia tanah seperti pH H₂O dan KCl (Metode Elektrometri) dengan perbandingan 1:5 dan 1:10 (w/l) dengan 2 waktu pengocokan yaitu 30 menit dan 60 menit, N-total (Metode Kjeldhal), C-Organik (Metode Walkley dan black), P-Tersedia (Metode Olsen dan Mehlich), KTK (Metode Ekstraksi NH₄OAc 1 M). Data yang didapat diolah secara statistik dengan uji-F dan dilanjutkan dengan uji BNT pada taraf nyata 5%. Serta dilakukan analisis regresi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Nilai pH H₂O dan KCl

pH tanah merupakan tingkat keasaman suatu tanah yang menunjukkan konsentrasi ion H⁺ didalam suatu larutan tanah, semakin tinggi konsentrasi ion H⁺ dalam tanah maka semakin masam tanah tersebut. Nilai pH tanah setelah inkubasi disajikan pada gambar dibawah :



Gambar 1. Grafik Nilai pH H₂O dengan berbagai perbandingan dan waktu kocok

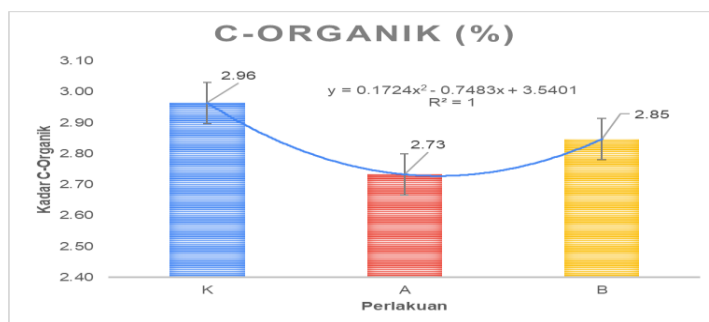
Dari grafik diatas menunjukkan nilai pH air (H₂O) yang dipengaruhi oleh kondisi berbeda, yang diwakili oleh batang dan garis regresi untuk tiga kelompok berbeda: K (biru), A (merah), dan B (kuning). Data tersebut dianalisis berdasarkan waktu ekstraksi dan rasio antara tanah dan pengeksrak. Pada kelompok K, nilai pH cenderung meningkat dari 4.78 pada rasio 1:5 (30 menit) menjadi 6.16 pada rasio yang sama setelah 60 menit. Garis regresi untuk kelompok K menunjukkan tren positif dengan R² sebesar 0.5727, menunjukkan bahwa ada peningkatan pH yang cukup signifikan meskipun korelasinya tidak sangat kuat. Sebaliknya, kelompok A menunjukkan tren penurunan nilai pH dari 6.33 pada rasio 1:5 (30 menit) menjadi 5.09 pada rasio yang sama setelah 60 menit. Garis regresi merah memperlihatkan tren negatif dengan R² sebesar 0.7289, yang menunjukkan korelasi yang cukup kuat antara waktu/rasio dengan penurunan pH. Kelompok B juga menunjukkan tren penurunan yang konsisten dalam nilai pH dari 5.20 pada rasio 1:5 (30 menit) menjadi 4.79 pada rasio yang sama setelah 60 menit. Garis regresi kuning menunjukkan tren negatif dengan R² sebesar 0.8749, menunjukkan korelasi yang sangat kuat dan konsisten antara waktu/rasio dengan penurunan pH.

Secara umum, nilai pH KCl cenderung meningkat dengan peningkatan waktu pengocokan dan rasio pengestrak. Nilai pH tertinggi diamati pada perbandingan 1:10 dan waktu pengocokan 60 menit untuk semua perlakuan. Nilai pH KCl untuk kontrol cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan A dan B pada semua kondisi. Nilai pH untuk perlakuan abu vulkanik selalu lebih rendah dibandingkan dengan kontrol. Nilai pH untuk perlakuan biochar kulit kopi sedikit lebih rendah daripada kontrol pada sebagian besar kondisi, namun menunjukkan peningkatan signifikan pada rasio 1:10 (60 menit). Model regresi kuadrat menunjukkan nilai R^2 sebesar 0.8252 untuk perlakuan K, 0.8601 untuk perlakuan A, dan 0.9405 untuk perlakuan B, mengindikasikan kecocokan model yang baik dengan data yang ada. Kelompok K mengalami peningkatan pH yang cukup signifikan pada ekstraksi 60 menit dibandingkan dengan 30 menit. Kelompok A dan B, sebaliknya, mengalami penurunan pH yang menunjukkan bahwa komponen yang diekstraksi cenderung meningkatkan keasaman seiring waktu. Kesalahan pengukuran yang ditunjukkan oleh garis vertikal pada setiap batang menunjukkan bahwa data pada kelompok K lebih konsisten pada waktu ekstraksi yang lebih lama, sementara kelompok A dan B menunjukkan variabilitas data yang lebih tinggi. Rasio ekstraksi juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai pH. Rasio yang lebih tinggi (1:10) cenderung menunjukkan nilai pH yang lebih rendah dibandingkan dengan 1:5, yang mungkin menunjukkan bahwa konsentrasi yang lebih tinggi dari bahan ekstraksi menghasilkan lebih banyak komponen asam atau menurunkan alkalinitas.

3.2 Kadar C-Organik

C-Organik adalah bahan organik yang terkandung di dalam maupun pada permukaan tanah yang berasal dari senyawa karbon di alam, dan semua jenis senyawa organik yang terdapat di dalam tanah, termasuk serasah, fraksi bahan organik ringan, biomassa mikroorganisme, bahan organik terlarut di dalam air, dan bahan organik yang stabil atau humus (Supryono, 2009). Kadar C-Organik disajikan sebagai berikut:

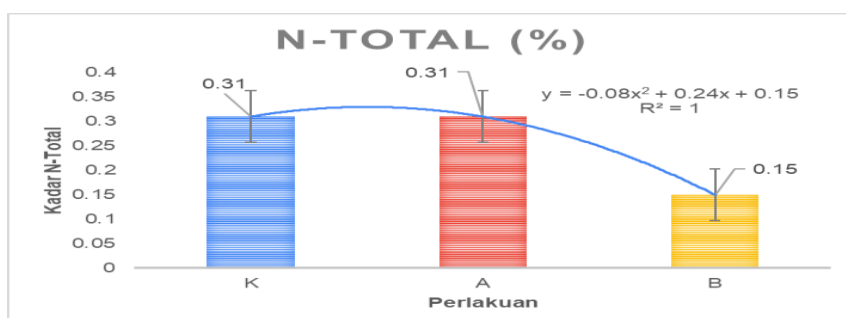
Dari data diatas terlihat perlakuan K sebagai kontrol menunjukkan kadar C-Organik tertinggi sebesar 2.96% dengan variasi data yang kecil, menandakan kondisi tanah yang stabil sebelum diberikan perlakuan. Perlakuan A menghasilkan penurunan signifikan pada kadar C-Organik menjadi 2.73%, dengan variasi data yang lebih besar dibandingkan kontrol, menurut Setiawan (2017) bahwa abu vulkanik dapat menurunkan kadar bahan organik dalam tanah karena ketika abu tersebut menyebar, ia dapat mengubur dan menghalangi sintesis bahan organik oleh mikroorganisme. Dampak ini hanya bersifat sementara karena seiring waktu, abu vulkanik dapat memberikan nutrisi tambahan kepada tanah yang dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara untuk tanaman, sehingga dapat meningkatkan produksi bahan organik. Perlakuan B menghasilkan kadar C-Organik sebesar 2.85%, lebih tinggi dari A tetapi masih lebih rendah dari kontrol. Hal ini sesuai dengan pernyataan Hanafiah (2007) yang menyatakan bahwa bahan organik dapat berkurang karena adanya aktifitas mikroorganisme.



Gambar 2. Grafik kadar C-organik

3.3 Kadar N-Total

N-Total merupakan jumlah atau kadar keseluruhan nitrogen yang terdapat di dalam tanah, unsur hara N merupakan salah satu unsur hara makro yang artinya di butuhkan dalam jumlah yang banyak oleh tanaman. Kadar N-total disajikan sebagai berikut:



Gambar 3. Grafik kadar N-total

Dari grafik terlihat bahwa kadar N-Total pada perlakuan K dan A adalah sama, yaitu sekitar 0.31%. Kadar N-Total menurun signifikan pada perlakuan B, yaitu menjadi 0.15%. Penurunan ini terjadi karena biochar memiliki sifat poros, yang memungkinkannya untuk menyerap dan menyimpan sebagian nitrogen yang ada dalam tanah selama proses inkubasi, yang menyebabkan penurunan kadar N-total yang terukur (Prasetyo, 2015). Kadar N-Total yang stabil pada perlakuan A menunjukkan bahwa abu vulkanik tidak berdampak terhadap kandungan nitrogen di tanah. Hal ini disebabkan oleh abu vulkanik tidak mempengaruhi proses mineralisasi nitrogen serta kandungan mineral dalam abu yang tidak mengikat nitrogen secara signifikan (Shoji, *et.al*, 1993). Dengan nilai $R^2 = 1$, model ini menjelaskan 100% variabilitas dalam data, menunjukkan kecocokan yang sangat baik antara model dan data yang diamati.

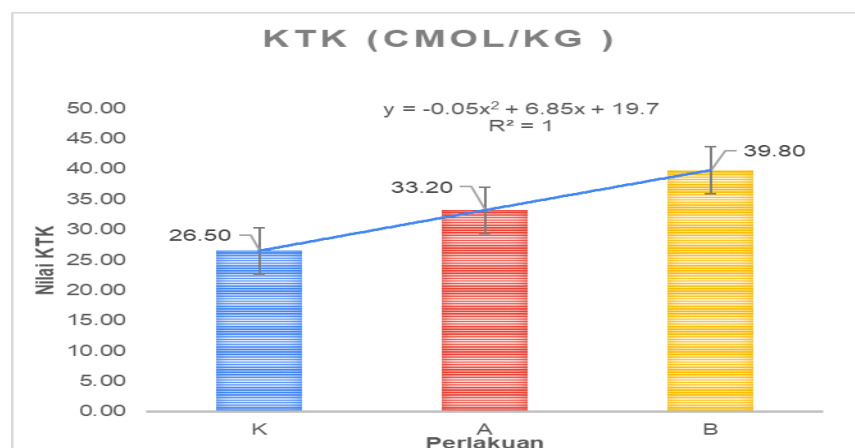
Kadar N-Total yang terdapat pada tanah di pengaruhi oleh kandungan bahan organik yang berhubungan dengan C-Organik yang terdapat di dalam tanah. Hal ini sesuai dengan pernyataan Leiwakabessy (2003) yang menyatakan bahwa kadar N-Total yang terdapat di dalam tanah berbanding lurus dengan kandungan bahan organik yang ada di dalam tanah, dengan hal tersebut maka dapat dikatakan bahwa setiap faktor yang mempengaruhi kadar bahan organik tanah juga mempengaruhi kadar N-Total tanah.

3.4 Kadar P-Tersedia

Faktor yang mempengaruhi kadar P-Tersedia adalah pH tanah. Apabila pH pada tanah rendah atau di kriterikan masam, maka ketersediaan P-tersedia yang terdapat di dalam tanah juga ikut rendah. Fosfor akan bereaksi dengan ion besi serta aluminium sehingga membentuk besi fosfat dan aluminium fosfat yang mana sukar di dalam air, sehingga tidak dapat digunakan oleh tanaman yang tanahnya memiliki pH yang masam.

3.5 Kapasitas Tukar Kation (KTK)

Berikut hasil analisis Kapasitas Tukar Kation (KTK) disajikan sebagai berikut:



Gambar 4. Grafik KTK setelah Inkubasi

Dari grafik terlihat bahwa nilai KTK meningkat dari perlakuan K ke A, dan dari A ke B. Kenaikan KTK menunjukkan bahwa perlakuan A dan B memiliki efek positif dalam meningkatkan kapasitas tukar kation dibandingkan dengan kontrol (K). Perlakuan A meningkatkan KTK dari 26.50 cmol/kg (K) menjadi 33.20 cmol/kg. Perlakuan B lebih lanjut meningkatkan KTK menjadi 39.80 cmol/kg. Ini menunjukkan bahwa perlakuan B adalah yang paling efektif dalam meningkatkan nilai KTK di antara ketiga perlakuan. Besar atau tingginya nilai KTK disebabkan oleh kemampuan biochar dalam menyerap dan melepaskan ion-ion. Hal ini sesuai dengan pernyataan Mukhlis (2007) yang menyatakan bahwa biochar sebagai salah satu biomass yang berpori, mampu menjadi tempat untuk menyerap unsur hara. Tanah yang memiliki KTK yang rendah menyimpan hara yang sedikit, tetapi mudah dalam melepaskannya ke dalam larutan, sehingga mudah tersedia bagi tanaman (Hakim, 1986). Dari analisis regresi didapat nilai $R^2 = 1$, model ini menjelaskan 100% variabilitas dalam data, menunjukkan kecocokan yang sangat baik antara model dan data yang diamati.

Selain kandungan bahan organik yang terdapat di dalam tanah KTK tanah juga di pengaruhi oleh pH tanah. Apabila pH pada tanah rendah maka menyebabkan kejenuhan basa (KB) pada tanah tersebut juga rendah sehingga kation tanah hanya di dominasi oleh kation asam Al dan H sehingga apabila kation asam banyak terutama Al akan dapat menyebabkan racun bagi tanaman. Hal ini sesuai dengan pernyataan Pairunan (1999) yang menyatakan bahwa penurunan nilai KTK tanah disebabkan oleh nilai pH tanah, semakin masam suatu tanah maka nilai KTK juga semakin menurun. Hal tersebut terjadi karena KTK memiliki banyak muatan yang berubah-ubah tergantung pada pH tanah. Nilai pH yang semakin masam menyebabkan tanah kehilangan kemampuan dalam menyimpan hara dan terjadilah penurunan nilai KTK yang didapatkan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai Efek abu hasil erupsi gunung marapi dan biochar kulit kopi terhadap perubahan sifat kimia andisol dapat disimpulkan bahwa penambahan abu vulkanik dari erupsi Gunung



Marapi dan biochar kulit kopi pada tanah Andisol memberikan efek yang signifikan terhadap perubahan sifat kimia tanah. Pemberian abu vulkanik meningkatkan nilai pH dari 4.78 menjadi 6.33, sementara biochar kulit kopi juga meningkatkan pH namun dalam skala yang berbeda. Kedua perlakuan, baik abu vulkanik maupun biochar, meningkatkan nilai KTK. Biochar menunjukkan peningkatan KTK yang lebih signifikan (39.80 cmol/kg) dibandingkan dengan abu vulkanik (33.20 cmol/kg). Pemberian abu vulkanik menurunkan kadar C-Organik dari 2.96% menjadi 2.73%, sedangkan biochar mempertahankan kadar C-Organik pada 2.85%. Kadar N-Total tetap stabil pada perlakuan abu vulkanik namun menurun signifikan pada perlakuan biochar. Pemberian abu vulkanik meningkatkan kadar P-Olsen dan P-Mehlich, menandakan peningkatan ketersediaan fosfor di tanah. Secara Keseluruhan, abu vulkanik dan biochar memiliki potensi besar dalam memperbaiki sifat kimia tanah Andisol, dengan biochar menunjukkan hasil yang lebih unggul dalam beberapa parameter.

REFERENCES

- Amini, H., & Ghadiri, H. (2014). *Impact of volcanic ash on soil properties: a review*. Geoderma, 232-234, 227-236. doi:10.1016/j.geoderma.2014.05.005.
- 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. doi:10.1111/gcbb.12037.
- 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, 219-230. doi:10.1007/s00374-002-0466-4.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London.
- Novak, J. M., Busscher, W. J., Laird, D. L., Ahmedna, M., Watts, D. W., & Niandou, M. A. S. (2009). *Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil*. Soil Science, 174(2), 105-112. doi:10.1097/SS.0b013e3181981d9a.
- Prasetyo, D. (2015). *Pengaruh Pemberian Abu Vulkanik terhadap Kandungan Nitrogen Tanah*. Surabaya: Penerbit Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Schimmelpfennig, S., & Glaser, B. (2012). *One step forward toward characterization: some important material properties to distinguish biochars*. Journal of Environmental Quality, 41(4), 1001-1013. doi:10.2134/jeq2011.0146.
- 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>
- Setiawan, B. (2017). *Pengaruh Abu Vulkanik terhadap Sifat Kimia Tanah*. Bandung: Penerbit Universitas Pendidikan Indonesia.
- Shoji, S., Nanzyo, M., & Dahlgren, R. A. (1993). *Volcanic Ash Soils: Genesis, Properties and Utilization*. Elsevier Science. ISBN: 978-0-444-89498-0.
- Sohi, S. P., Krull, E., Lopez-Capel, E., & Bol, R. (2010). *A review of biochar and its use and function in soil*. Advances in Agronomy, 105, 47-82. doi:10.1016/S0065-2113(10)05002-9.
- Suryani, A. (2018). *Pemanfaatan Biochar dalam Meningkatkan Kesuburan Tanah*. Jakarta: Penerbit Buku Kita.
- Wiedner, K., Rumpel, C., Steiner, C., Pozzi, A., Maas, R., & Glaser, B. (2013). *Chemical evaluation of chars produced by thermochemical conversion (gasification, pyrolysis and hydrothermal carbonization) of agro-industrial biomass on a commercial scale*. Biomass and Bioenergy, 59, 264-278. doi:10.1016/j.biombioe.2013.08.026.
- Wijaya, E. (2014). *Peran Bahan Organik dalam Meningkatkan Kesuburan Tanah*. Semarang: Penerbit Universitas Diponegoro.
- Witham, C. S. (2005). *Volcanic disasters and incidents: A new database*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 148(3-4), 191-233. doi:10.1016/j.jvolgeores.2005.04.017.
- Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I. F., Anshori, S., & Ogawa, M. (2006). *Effects of the application of charred bark of Acacia mangium on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia*. Soil Science and Plant Nutrition, 52(4), 489-495. doi:10.1111/j.1747-0765.2006.00065.x.
- Zhou, Y., & Lu, Y. (2013). *Study on the effect of biochar on soil nutrients and the growth of maize in subtropical China*. Journal of Integrative Agriculture, 12(3), 496-503. doi:10.1016/S2095-3119(13)60238-4.
- Zimmerman, A. R. (2010). *Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbon (biochar)*. Environmental Science & Technology, 44(4), 1295-1301. doi:10.1021/es903140c.