

APLIKASI BAHAN ORGANIK DAN *Arachis pintoii* PADA MATERIAL LETUSAN GUNUNG API (KELUD DAN BROMO): PERUBAHAN UNSUR HARA C DAN N

THE APPLICATION OF ORGANIC MATTER AND *Arachis pintoii* TO VOLCANIC ERUPTION MATERIALS (KELUD AND BROMO): CHANGES IN C AND N NUTRIENTS

Christanti Agustina*, Anita Novita Sari, Bella Nurdiyanti, dan Sri Rahayu Utami

Departemen Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Kota Malang, Indonesia

* Corresponding Author. E-mail address: christanti.ag@ub.ac.id

ARTICLE HISTORY:

Received: 05 January 2024

Peer Review: 19 January 2024

Accepted: 13 November 2025

KATA KUNCI:

Bahan organik, material vulkanik, tanaman penutup tanah, pelapukan, pengayaan unsur hara N dan C

KEYWORDS:

Cover crop, nutrient enrichment, organic matter, volcanic materials, weathering

ABSTRAK

Material letusan gunung api memiliki kesuburan potensial yang tinggi, namun kandungan hara C dan N tergolong sangat rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji apakah perlakuan bahan organik *Tithonia diversifolia* dan *Arachis pintoii* sebagai tanaman penutup tanah selama setahun dapat meningkatkan kandungan C dan N dari material letusan gunung api. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok sebanyak 8 perlakuan yang diulang tiga kali. Material letusan diambil dari Gunung Kelud dan Gunung Bromo, lolos ayakan 2 mm untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam. Daun dan batang *Tithonia diversifolia* digunakan sebagai bahan organik yang dicacah sebelum dicampur dengan material letusan. *Arachis pintoii* sebagai tanaman penutup tanah diharapkan dapat membantu proses pelapukan material letusan, serta memfiksasi N dari udara. *Arachis pintoii* ditanam setelah 2 minggu inkubasi bahan organik dengan bahan letusan. Contoh tanah diambil setelah 1 tahun perlakuan, dan diukur kandungan C (Walkley-Black) dan N (Kjeldahl) pada material letusan gunung api. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan C-organik dan N-total pada material letusan gunung api mengalami peningkatan setelah diberikan bahan organik dan tanaman penutup tanah selama 1 tahun. Kandungan C-Organik tertinggi pada material Gunung Kelud sebesar $0,41 \pm 0,01\%$ (VkB0A1), sedangkan pada Gunung Bromo sebesar $0,28 \pm 0,04\%$ (VbB1A0 dan VbB1A1). Kandungan N-total tertinggi pada Gunung Kelud sebesar $0,004 \pm 0,001\%$ (VkB1A0) dan Gunung Bromo sebesar $0,003 \pm 0,001\%$ (VbB1A0). Material Gunung Kelud cenderung mengalami peningkatan C-Organik dan N-total lebih tinggi daripada material Gunung Bromo. Kandungan C-Organik tertinggi dijumpai pada penanaman *Arachis pintoii*, sedangkan N-total tertinggi dijumpai pada pemberian bahan organik *Tithonia diversifolia*.

ABSTRACT

Despite its tremendous reproductive potential, volcanic ash contains very little C and N nutrients. The purpose of this research is to see if using *Tithonia diversifolia* as organic matter and *Arachis pintoii* as a cover crop for a year may boost the C and N content of volcanic eruption material. The experiment used randomized block designs with eight treatments and three replications. To ensure uniform particle size, the eruption material from Mount Kelud and Mount Bromo was passed through a 2mm filter. *Tithonia diversifolia* stems and leaves are utilized as organic material, and they are chopped before being mixed with eruption materials. *Arachis pintoii*, as a cover crop, can help weather eruption materials and fix N from the air. *Arachis pintoii* was planted after two weeks of incubation organic matter with eruption materials. Soil samples were taken after a year of treatment, and C (Walkley-Black) and N (Kjeldahl) contents in volcanic eruption material were measured. The results showed that the C-organic and total N-content increased after a year of treatment. The highest C-Organic concentration in Mount Kelud material was $0.41 \pm 0.01\%$ (VkB0A1) and $0.28 \pm 0.04\%$ (VbB1A0 and VbB1A1) in Mount Bromo material. Mount Kelud had the highest total N content, at $0.004 \pm 0.001\%$ (VkB1A0), and Mount Bromo had the lowest, at $0.003 \pm 0.001\%$ (VbB1A0). C-Organic and N-total increases are greater in Mount Kelud material than in Mount Bromo material. *Arachis pintoii* plantings had the highest organic C content, but *Tithonia diversifolia* organic matter treatments had the highest overall N content.

1. PENDAHULUAN

Lokasi terdampak letusan gunung api memiliki endapan material letusan yang tebal, sehingga menjadi kendala dalam pengelolaan tanahnya. Material letusan gunung api merupakan bahan induk pembentuk tanah yang memiliki berbagai kandungan unsur hara yang penting bagi pertumbuhan tanaman (Ciriminna *et al.*, 2022). Unsur hara tersebut terdapat dalam kristal mineral (Fiantis *et al.*, 2021), sehingga mineral harus mengalami pelapukan untuk melepaskan unsur hara tersedia. Material letusan gunung api segar mengandung unsur hara yang belum tersedia atau rendah ketersediaannya bagi tanaman sehingga tidak memberikan kontribusi signifikan bagi tanaman (Ciriminna *et al.*, 2022; Suntoro *et al.*, 2014). Utami *et al.* (2017) menyebutkan bahwa material letusan gunung api memiliki pH yang sangat masam (4,33), kandungan % C-organik yang sangat rendah (0,35%) dan nitrogen yang sangat rendah (0,02% N). Material letusan gunung api dengan tekstur berpasir memiliki kemampuan menyimpan hara yang rendah (Damayani *et al.*, 2014). Pelepasan unsur hara dari material letusan gunung api tergantung pada faktor lingkungan. Dalam kondisi iklim dan topografi yang sama, maka faktor organisme dapat dimodifikasi untuk mempercepat pelapukan mineral dan pelepasan unsur hara tersedia ke dalam tanah.

Bahan organik mampu mempercepat proses pelapukan bahan mineral tanah melalui produk dari proses perombakan bahan organik yaitu asam-asam organik. Bahan organik yang tersedia di wilayah terdampak abu vulkanik misalnya *Tithonia diversifolia* memiliki berbagai kandungan unsur termasuk K, Na, Ca dan Mg serta asam humat dan asam fulvat yang cukup tinggi (Sarifuddin *et al.*, 2017). Keberadaan asam organik mampu mempercepat terjadinya proses pelapukan, sehingga unsur yang terkandung dapat terlepas dan tersedia (Aini *et al.*, 2016). Penggunaan tanaman penutup tanah seperti kacang hias (*Arachis pintoii*) mampu melindungi tanah dari pukulan air hujan, selain itu perakarannya dapat menurunkan pencucian sehingga unsur hara yang dilepaskan dari proses pelapukan dapat tertahan pada wilayah perakaran. Akar tanaman juga mengeluarkan berbagai ion dan senyawa seperti ion H^+ dan asam organik di daerah rizosfir sehingga meningkatkan pelarutan unsur hara dari mineral-mineral tanah. Hal tersebut disebabkan ion H^+ mampu menghancurkan struktur mineral sehingga dapat meningkatkan ketersediaan beberapa jenis hara.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Utami *et al.* (2017) menunjukkan bahwa pemberian bahan organik pada material letusan Gunung Kelud selama 3 bulan dapat meningkatkan kandungan C-organik dan N-total. Kusumarini *et al.* (2014) menyatakan bahwa bahan organik dan tanaman penutup tanah dapat mempercepat pelepasan kation dari bahan piroklastik dan mampu menurunkan pencucian kation basa pada abu vulkanik Gunung Merapi dan Gunung Bromo. Selain itu, hasil penelitian Arumsari (2019), didapatkan bahwa penambahan bahan organik mampu meningkatkan ketersediaan kation basa pada tanah residu (3 bulan) yang bahan induknya berasal dari abu vulkanik Gunung Kelud. Namun, apakah pemberian bahan organik dan tanaman penutup tanah dalam jangka panjang di lapangan tetap meningkatkan kandungan C-organik dan N-total, masih perlu dikaji lebih lanjut. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengkaji apakah perlakuan bahan organik *Tithonia diversifolia* dan penanaman *Arachis pintoii* selama setahun dapat meningkatkan kandungan C dan N unsur dari pada bahan letusan.

2. BAHAN DAN METODE

Percobaan pot dilaksanakan di Desa Kendalpayak, Kecamatan Pakisaji, Kabupaten Malang dari bulan Desember 2018 hingga Januari 2020. Analisis kimia dilaksanakan di Laboratorium Kimia Tanah, Departemen Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang. Bahan letusan Gunung Kelud diambil dari Desa Kutut, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang, sedangkan bahan letusan Gunung Bromo diambil dari Desa Ngadas, Kecamatan Sukapura, Kabupaten Probolinggo. Bahan

letusan diperoleh dari endapan baru hasil letusan yang terakhir. Bahan organik yang digunakan ialah batang muda dan daun tumbuhan *Tithonia diversifolia*, yang dicacah sebelum dicampur dengan bahan letusan. Tanaman penutup tanah yang digunakan adalah *Arachis pintoii* (kacang hias) yang digunakan memiliki umur tanam ± 2 bulan.

Metode penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK), dengan 8 perlakuan dan 3 ulangan. Perlakuan yang terdapat dalam penelitian antara lain: VkB0A0, VbB0A0, VkB1A0, VbB1A0, VkB0A1, VbB0A1, VkB1A1, dan VbB1A1; dimana Vk = material Gunung Kelud; Vb = material Gunung Bromo; B0 = tanpa bahan organik; B1 = penambahan bahan organik; A0 = tanpa *Arachis pintoii*; A1 = penanaman *Arachis pintoii*. Pot percobaan keseluruhan sebanyak 24 pot dengan dosis bahan organik yang diaplikasikan sebesar 19 gram per pot yang setara dengan 20 ton.ha⁻¹.

Percobaan ini merupakan percobaan pot yang diisi material letusan gunung api. Material letusan gunung api diayak menggunakan ayakan 2 mm agar didapatkan ukuran yang seragam (≤ 2 mm). Bahan organik tumbuhan *Tithonia diversifolia* dicacah menjadi ukuran yang lebih kecil ($\pm 0,5$ cm), kemudian ditimbang dengan berat 19 gram. Bahan organik dicampur merata dengan material letusan. Dosis bahan organik yang digunakan dalam penelitian mengacu pada penelitian Khaerunnisa et al. (2015) dan Eliyanti et al. (2024) dengan rekomendasi dosis pupuk organik sebesar 20 ton.ha⁻¹. Bahan organik dan material vulkanik dimasukkan dalam pot hingga garis batas pot (kedalaman 10 cm). Setelah itu, material vulkanik diinkubasi selama 2 minggu (Widowati & Agastya, 2015; Farni et al., 2022). Penanaman kacang hias dilakukan setelah masa inkubasi (2 minggu setelah aplikasi bahan organik). Tanaman kacang hias dipisahkan dari media tanam sebelumnya, kemudian ditanam dalam pot dengan jumlah 4 tanaman setiap pot. Kacang hias yang ditanam pada pot memiliki persentaseutupan lahan yang hampir sama antara pot satu dengan lainnya. Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan antara lain pemangkasan, penyiraman, dan penyulaman. Pemangkasan dilakukan setiap 10 minggu sekali, jika diperlukan. Hal tersebut bertujuan agar tajuk tanaman tidak ada yang merambat ke luar area permukaan pot. Penyiraman dilakukan untuk menjaga agar tanaman tetap tumbuh. Volume penyiraman mengacu pada intensitas curah hujan pada 10 tahun terakhir. Penyiraman dilakukan sebanyak 50 ml setiap 3 hari sekali pada musim kemarau. Penyulaman dilakukan apabila terdapat tanaman yang mati.

Pengambilan sampel tanah untuk uji laboratorium dilakukan setelah 1 tahun (59 MST) perlakuan bahan organik dan penanaman kacang hias. Tanah dipisahkan dari akar kemudian dikering-udarkan. Tanah yang telah kering udara diayak menggunakan ayakan 2 mm dan 0,5 mm. Hasil ayakan digunakan untuk analisa kandungan unsur hara.

Analisa laboratorium dilakukan untuk mengukur ketersediaan unsur hara C dan N dalam material letusan gunung api setelah setahun diberi perlakuan. Kandungan C diukur dengan menggunakan metode Walkley & Black (1934), sedangkan N total diukur dengan metode Kjeldahl (HNO₃ dan HClO₄) (Bremner, 1960).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

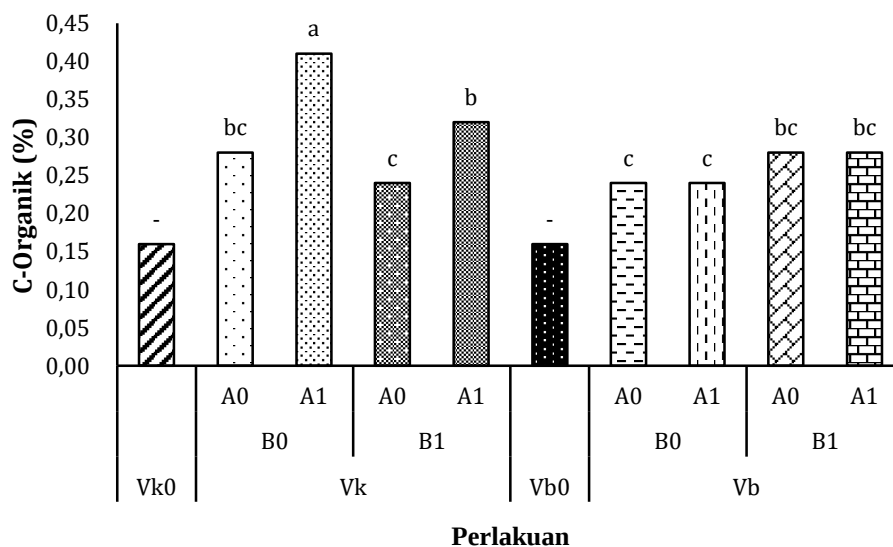
3.1 Kandungan C-Organik pada Material Letusan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan aplikasi bahan organik dan tanaman penutup tanah pada material letusan Gunung Kelud dan Gunung Bromo selama 1 tahun berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) pada kandungan C-Organik. Secara umum, kandungan C-Organik pada material Gunung Kelud cenderung lebih tinggi daripada Gunung Bromo. Hasil uji DMRT diketahui bahwa kandungan C-Organik antar perlakuan menunjukkan perbedaan yang ditandai dengan perbedaan notasi huruf pada setiap perlakuan (Gambar 1). Perbedaan kandungan C-Organik nyata terlihat pada perlakuan material letusan Gunung Kelud, sedangkan pada perlakuan material Gunung Bromo

tampak tidak ada perbedaan yang nyata pada kandungan C-Organik. Kandungan C-Organik tertinggi pada material letusan Gunung Kelud terdapat pada perlakuan tanaman penutup tanah *Arachis pintoii* (VkB0A1), yaitu sebesar $0,41 \pm 0,01\%$, sedangkan pada material letusan Gunung Bromo terjadi pada perlakuan bahan organik baik dengan atau tanpa *Arachis pintoii* (VbB1A0 dan VbB1A1), yaitu sebesar $0,28 \pm 0,04\%$.

Kandungan C-Organik pada seluruh perlakuan dibandingkan dengan material letusan segar tampak meningkat sebanyak 33 - 61%. Peningkatan C-Organik ini disebabkan oleh adanya penambahan bahan organik berupa *Tithonia diversifolia* pada awal perlakuan. Menurut Utami et al. (2017), inkubasi *Tithonia diversifolia* selama 90 hari pada material letusan Gunung Kelud mampu meningkatkan kandungan C-Organik sebanyak 1,19 kali dibandingkan tanpa penambahan bahan organik. Selain itu, penanaman *Arachis pintoii* sebagai tanaman penutup tanah dapat dapat memberikan masukan bahan organik secara terus-menerus baik berupa dedaunan yang gugur ataupun jaringan akar yang terkelupas. Utami et al. (2019) menjelaskan bahwa dekomposisi bahan organik dalam material piroklastik berlangsung cepat, sehingga adanya masukan bahan organik secara kontinyu dapat meningkatkan C-Organik secara signifikan seperti pada sistem agroforestri. Aplikasi *Arachis pintoii* juga dapat meningkatkan pembentukan agregat, sehingga dapat melindungi bahan organik secara fisik dari dekomposisi mikroba (Yost & Hartemink, 2019; Gentsch et al., 2024; T. Qiu et al., 2024).

Kandungan C-Organik pada material Gunung Kelud lebih tinggi daripada Gunung Bromo. Perbedaan kandungan C-Organik dipengaruhi oleh perbedaan karakteristik material letusan. Abu vulkanik Gunung Bromo yang cenderung lebih halus dan didominasi oleh gelas vulkanik mampu menyimpan air lebih banyak dibandingkan abu vulkanik Gunung Kelud (Sari, 2021). Laju mineralisasi C-Organik dipengaruhi oleh kandungan air tanah, dimana kelembaban tanah yang tinggi dapat meningkatkan laju mineralisasi C-Organik (Guo et al., 2019; W. Qiu et al., 2023; Gao et al., 2024). Laju mineralisasi C-Organik yang cepat menyebabkan partikel bahan organik cepat berkurang. Oleh karena itu, kandungan C-Organik abu vulkanik Gunung Bromo lebih rendah, karena seluruh bahan organik telah terdekomposisi lebih cepat. Hal ini ditandai dengan pengamatan agregat pada abu vulkanik Gunung Bromo, dimana jarang ditemukannya partikel bahan organik yang dikelilingi oleh partikel halus dan partikel bahan organik lebih mudah dihancurkan.



Keterangan: Vk: material vulkanik Kelud setelah 1 tahun; Vb: material vulkanik Bromo setelah 1 tahun; B0: tanpa bahan organik; B1: aplikasi bahan organik *Tithonia diversifolia*; A0: tanpa tanaman penutup tanah; A1: tanaman penutup tanah *Arachis pintoii*.

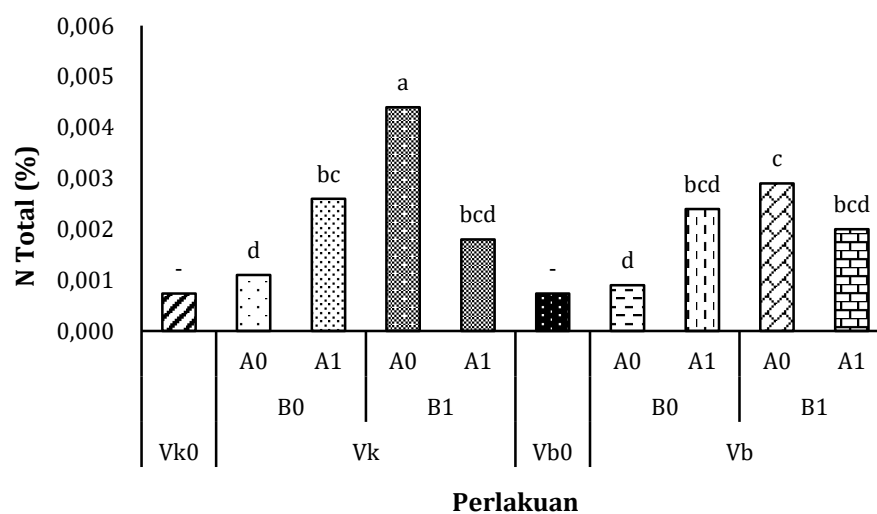
Gambar 1. Kandungan C-Organik pada setiap perlakuan

3.2 Kandungan N-Total pada Material Letusan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan aplikasi bahan organik dan tanaman penutup tanah pada material letusan Gunung Kelud dan Gunung Bromo selama setahun berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) pada kandungan N-total. Secara umum, kandungan N-total pada material Gunung Kelud cenderung lebih tinggi daripada material Gunung Bromo. Hasil uji DMRT menunjukkan bahwa kandungan N-total tampak berbeda nyata pada perlakuan pemberian bahan organik *Tithonia diversifolia*, penanaman *Arachis pintoii*, dan tanpa perlakuan, dan tidak berbeda nyata antara penanaman *Arachis pintoii* dengan atau tanpa pemberian bahan organik, baik pada material Gunung Kelud maupun Gunung Bromo (Gambar 2).

Kandungan N-total tertinggi terdapat pada perlakuan aplikasi bahan organik *Tithonia diversifolia* pada material letusan Gunung Kelud (VkB1A0) dan Gunung Bromo (VbB1A0), masing-masing sebesar $0,004 \pm 0,001\%$ dan $0,003 \pm 0,001\%$. *Tithonia diversifolia* termasuk bahan organik yang memiliki kandungan nitrogen yang tinggi (Utami et al., 2017; Farni et al., 2022). Farni et al. (2022) menyatakan bahwa pemberian 100% *Tithonia diversifolia* pada tanah lempung berpasir melepaskan mineral N sebesar 54,6-529,7 mg/kg. Kandungan N-total tertinggi pada perlakuan bahan organik tanpa tanpa *Arachis pintoii* disebabkan oleh tidak ada tanaman yang menyerap N dari hasil mineralisasi *Tithonia diversifolia*. Apabila ada *Arachis pintoii* ditanam pada perlakuan, maka akar tanaman akan mengambil N tersedia dan menyimpannya dalam jaringan tanaman, sehingga kandungan N total di tanah menjadi lebih rendah daripada perlakuan tanpa *Arachis pintoii* (Sparta et al., 2025).

Pemberian bahan organik *Tithonia diversifolia* mampu meningkatkan kandungan N-total setelah setahun aplikasi sebanyak 83% pada material Gunung Kelud dan 75% pada material Gunung Bromo daripada material letusan segar. Kombinasi pemberian bahan organik dan penanaman *Arachis pintoii* pada Gunung Kelud meningkatkan kandungan N- total sebanyak 59% sedangkan pada Gunung Bromo sebanyak 63%. Peningkatan N-total ini lebih rendah 13% dan 6% dibandingkan dengan penanaman *Arachis pintoii* saja. *Tithonia diversifolia* yang diberikan dapat meningkatkan jumlah karbon di dalam abu vulkanik. Karbon merupakan sumber makanan bagi mikroba yang berperan dalam proses dekomposisi. Karbon digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi (Xing et al., 2017; Yan et al., 2024).



Keterangan: Vk: material vulkanik Kelud setelah 1 tahun; Vb: material vulkanik Bromo setelah 1 tahun; B0: tanpa bahan organik; B1: aplikasi bahan organik *Tithonia diversifolia*; A0: tanpa tanaman penutup tanah; A1: tanaman penutup tanah *Arachis pintoii*.

Gambar 2. Kandungan N-total pada setiap perlakuan

Kandungan karbon yang meningkat diikuti dengan populasi mikroba. Aktivitas mikroba yang mendekomposisi bahan organik akan menghasilkan sejumlah asam organik dari metabolitnya (Raza et al., 2023; Zhan, 2024; Zhang et al., 2024). Bakteri merupakan kelompok mikroba dekomposer yang jumlahnya paling banyak dan bersama dengan mikroba indigen dari tanah mineral akan memberikan kontribusi dalam menguraikan bahan organik, mensintesis asam-asam atau senyawa organik tertentu serta memicu proses mineralisasi N. Peningkatan N-total memiliki pola yang sama dengan peningkatan karbon total dalam tanah (Bai et al., 2023; Smith et al., 2024). Penanaman *Arachis pintoii* tampak meningkatkan kandungan N-total dalam material letusan Gunung Kelud dan Gunung Bromo. Hal ini membuktikan bahwa *Arachis pintoii* sebagai tanaman legume mampu memberikan tambahan N-total bagi abu vulkanik. Tanaman legum memiliki kemampuan menambat N dari udara (Chen et al., 2023). *Arachis pintoii* mampu membentuk bintil akar yang menunjukkan bahwa terjadi simbiosis antara *Arachis pintoii* dan bakteri *Rhizobium* (Lopes de Sá et al., 2019; Abe et al., 2023).

4. KESIMPULAN

Aplikasi bahan organik *Tithonia diversifolia* dan penanaman *Arachis pintoii* selama setahun, baik secara individu maupun kombinasi, meningkatkan kandungan C-organik dan N-total pada material letusan Gunung Kelud dan Gunung Bromo. Kandungan C-organik pada Gunung Kelud lebih tinggi daripada Gunung Bromo. Abu vulkanik Gunung Bromo lebih halus dan didominasi oleh gelas vulkanik yang mampu menyimpan air lebih tinggi daripada Gunung Kelud. Tanah yang lebih lembab dapat meningkatkan laju mineralisasi dan mempercepat berkurangnya kandungan bahan organik dalam tanah. Kemampuan tanaman *Arachis pintoii* dalam menambat N di udara dan bahan organik *Tithonia diversifolia* yang mudah terdekomposisi mampu meningkatkan N-total secara nyata.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terlaksana dengan baik atas dukungan Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya melalui pendanaan penelitian dalam skema Hibah Dosen PNPB 2021 No Kontrak 2095/UN10.F04/PN/2021. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Sarkam yang telah membantu dalam proses penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abe, J.N.A., I. Dhungana, & N.H.N. Id. 2023. Legume-nodulating rhizobia are widespread in soils and plants across the island of O ' ahu , Hawai ' i. *PLoS ONE*. 18(9): e0291250.
- Aini, L.N., Mulyono, & E. Hanudin. 2016. Mineral mudah lapuk material piroklastik merapi dan potensi keharaannya bagi tanaman. *Planta Tropika Journal of Agro Science*. 4(2): 84–94.
- Arumsari, L. 2019. Sifat kimia bahan letusan kelud dan pertumbuhan pakcoy akibat aplikasi bahan organik baru pada residu pupuk anorganik dan tithonia diversifolia. *Skripsi*. Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya.
- Bai, X., J. Tang, W. Wang, J. Ma, J. Shi, & W. Ren. 2023. Organic amendment effects on cropland soil organic carbon and its implications: A global synthesis. *CATENA*. 231: 107343.
- Bremner, J.M. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *The Journal of Agricultural Science*. 55(1): 11–33.
- Chen, D., D. Li, Z. Li, Y. Song, Q. Li, L. Wang, D. Zhou, F. Xie, & Y. Li. 2023. Legume nodulation and nitrogen fixation require interaction of DnaJ-like protein and lipid transfer protein. *Plant Physiology*. 193(3): 2164–2179.

- Ciriminna, R., A. Scurria, G. Tizza, & M. Pagliaro. 2022. Volcanic ash as multi-nutrient mineral fertilizer: Science and early applications. *JSFA reports* 2(11): 528–534.
- Damayani, D., N. Nurlaeny, & S. Kamil. 2014. Efek residu dari kombinasi media tanam abu vulkanik merapi, pupuk kandang sapi dan tanah mineral terhadap c-organik, kapasitas pegang air, kadar air dan bobot kering pupus tanaman jagung (*Zea mays* L.). *Bionatura - Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik*. 15(3): 196–202.
- Eliyanti, E., Z. Zulkarnain, B. Ichwan, & M. Mairizal. 2024. Application of tricho-tithonia as compost and organic ameliorant in inducing growth and yield of Local-Jambi varieties of red chili. *RJOAS: Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*. 145(1): 40–47.
- Farni, Y., S. Prijono, R. Suntari, & E. Handayanto. 2022. Pattern of N mineralization and nutrient uptake of tithonia diversifolia and saccharum officinarum leaves in Sandy Loam Soil. *Indian Journal of Agricultural Research*. 56(1): 65–69.
- Fiantis, D., F.I. Ginting, M. Nelson, E. Van Ranst, & B. Minasny. 2021. Geochemical characterization and evolution of soils from Krakatau Islands. *Eurasian Soil Science*. 54(11): 1629–1643
- Gao, Z., P. Shi, L. Bai, Z. Min, D. Xu, B. Wang, & L. Cui. 2024. The impact of soil dry–wet cycles on the mineralization of soil organic carbon and total nitrogen in check dams of the loess plateau. *Water*. 16(22): 3274.
- Gentsch, N., F.L. Riechers, J. Boy, D. Schweneker, U. Feuerstein, D. Heuermann, & G. Guggenberger. 2024. Cover crops improve soil structure and change organic carbon distribution in macroaggregate fractions. *Soil*. 10(1): 139–150.
- Guo, Z., J. Han, Y. Xu, Y. Lu, C. Shi, L. Ge, T. Cao, & J. Li. 2019. The mineralization characteristics of organic carbon and particle composition analysis in reconstructed soil with different proportions of soft rock and sand. *PeerJ*. 7: e7707.
- Khaerunnisa, A., A. Rahayu, & S.A. Adimihardja. 2015. Perbandingan pertumbuhan dan produksi kedelai edamame (*Glycine max* (L.) Merr.) pada berbagai dosis pupuk organik dan pupuk buatan. *Jurnal Agronida*. 1(1): 11–20.
- Lopes de Sá, O.A.A., P.R. de Almeida Ribeiro, M. Rufini, I.A. de Freitas Cruvinel, D. Rume Casagrande, & F.M. de Souza Moreira. 2019. Microsymbionts of forage peanut under different soil and climate conditions belong to a specific group of Bradyrhizobium strains. *Applied Soil Ecology*. 143: 201–212.
- Qiu, T., Y. Shi, J. Peñuelas, J. Liu, Q. Cui, J. Sardans, F. Zhou, L. Xia, W. Yan, S. Zhao, S. Peng, J. Jian, Q. He, W. Zhang, M. Huang, W. Tan, & L. Fang. 2024. Optimizing cover crop practices as a sustainable solution for global agroecosystem services. *Nature Communications*. 15(1): 10617.
- Qiu, W., D. Curtin, W. Hu, & M. Beare. 2023. Sensitivity of organic matter mineralisation to water availability: role of solute diffusivity and the 'Birch effect.' *Soil Research*. 61(1): 9–19.
- Raza, T., M.F. Qadir, K.S. Khan, N.S. Eash, M. Yousuf, S. Chatterjee, R. Manzoor, S. Rehman, & J.N. Oetting. 2023. Unraveling the potential of microbes in decomposition of organic matter and release of carbon in the ecosystem. *Journal of Environmental Management*. 344: 118529.
- Sari, A.N. 2021. Perkembangan sifat fisiko-kimia abu vulkanik dengan pengaplikasian bahan organik dan tanaman penutup tanah. *Skripsi*. Universitas Brawijaya.
- Sarifuddin, E., Y.S. Patadungan, & Isrun. 2017. Pengaruh asam humat dan fulvat ekstrak kompos tithonia diversifolia terhadap Hg-khelat, pH, dan C-Organik entisol tercemar merkuri. *Agrotekbis*. 5(3): 284–290.
- Smith, B.C., T.A. Rogan, M.R. Redding, & S.M.F. Rabbi. 2024. Carbon-to-nitrogen stoichiometry of organic amendments regulates microbial biomass growth and nitrogen mineralization in soil. *Soil Use and Management*. 40(4): e13116.
- Sparta, A., J.S. Hamdani, Y. Yuwariah, & E. Wulandari. 2025. Effects of Tithonia diversifolia biomass soil amendments on three annual crops (peanut, maize and soybean) grown in succession in

- an intercropping system with bananas in ultisol article history. *Biological Agriculture & Horticulture*. 41(1): 65–78.
- Suntoro, H. Widiyanto, Sudadi, & E.E. Sambodo. 2014. Dampak abu vulkanik erupsi gunung kelud dan pupuk kandang terhadap ketersediaan dan serapan magnesium tanaman jagung di tanah alfisol. *Sains Tanah - Jurnal Ilmu Tanah dan Agroklimatologi*. 11(2): 69–138.
- Utami, S.R., C. Agustina, K.S. Wicaksono, B.D. Prasajo, & H. Hanifa. 2017. Utilization of locally available organic matter to improve chemical properties of pyroclastic materials from Mt. Kelud of East Java. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 4(2): 717–721.
- Utami, S.R., R. Suntari, C. Agustina, & N. Kusumarini. 2019. Improving nutrient availability in pyroclastic materials from Mount Kelud using organic and inorganic amendments. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 7(1): 1987–1993.
- Walkley, A., & I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjaref method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37: 29–38.
- Widowati, & I.M.I. Agastya. 2015. Dekomposisi dan mineralisasi kadar N bokashi pupuk kandang kotoran ayam. *Buana Sains*. 15(2): 189–196.
- Xing, L., S. Yang, Q. Yin, S. Xie, P.J. Strong, & G. Wu. 2017. Effects of carbon source on methanogenic activities and pathways incorporating metagenomic analysis of microbial community. *Bioresource Technology*. 244: 982–988.
- Yan, X., S. Shan, X. Li, Q. Xu, X. Yan, R. Ruan, & P. Cheng. 2024. Carbon and energy metabolism for the mixotrophic culture of *Chlorella vulgaris* using sodium acetate as a carbon source. *Frontiers in Microbiology*. 15(October): 1–10
- Yost, J.L., & A.E. Hartemink. 2019. Soil organic carbon in sandy soils: a review. *Advances In Agronomy*. 158: 217–310.
- Zhan, C. 2024. *Microbial Decomposition and Soil Health : Mechanisms and Ecological Implications*. 15(2): 59–70.
- Zhang, Y., J. Zhou, Z. Lei, H. Ren, & H. Chen. 2024. Effect of acid production from forest litter on the availability of heavy metals in soil. *Forests*. 15(12): 2097.