

Ketersediaan Nitrogen pada Ultisol dengan Aplikasi Kotoran Walet dan Arang Kayu

Nur Indah Wulansari¹, Ahkmad Rizalli Saidy^{1,2}, Bambang Joko Priatmadi^{1*}

¹ Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat, Jalan Jenderal A. Yani KM 36 Simpang Empat, Banjarbaru 70714, Indonesia

² Program Studi Doktor Ilmu Pertanian, Program Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat, Jalan Jenderal A. Yani KM 36 Simpang Empat, Banjarbaru 70714, Indonesia

* Email penulis korespondensi: bj_priatmadi@ulm.ac.id

Informasi Artikel

Received 01 Maret 2024

Accepted 29 Maret 2024

Published 30 Maret 2024

Online 30 Maret 2024

Keywords:

Acidity; Ammonification;

Nitrogen mineralization;

Nitrification; Amino acid

Abstract

The application of organic matter with a high nitrogen (N) content in combination with the application of wood charcoal is a common soil fertility management practice in Ultisols. This study aims to determine the availability of N in Ultisols, which are applied to swallow droppings and wood charcoal. The experimental design used was a two-factor Completely Randomized Design (CRD), with the first factor being swallow droppings (0.5 and 10 t ha⁻¹) and the second factor being wood charcoal (0, 10, and 20 t ha⁻¹), with as many as three repetitions. As much as 200 g of soil was put into the incubation site, then swallow droppings and wood charcoal were added according to the treatment, stirred until evenly distributed, and then incubated at 70% field capacity for 14 days. The contents of NH₄⁺, NO₃⁻, and pH were observed at the end of the incubation period. The results showed that the application of swallow droppings and wood charcoal increased the content of NH₄⁺, NO₃⁻, and mineral N but lowered soil pH. The best treatment was given to swallow manure at 10 t ha⁻¹ which increased mineral N by 59%, and a combination of swallow manure 10 t ha⁻¹+10 t ha⁻¹ wood charcoal which increased nitrate content by 1,666%. The results of this study indicate that the application of swallow droppings combined with wood charcoal can increase the availability of N in Ultisols.

1. Pendahuluan

Tanah Ultisol mendominasi sebagian besar wilayah Indonesia, di mana jenis tanah ini dicirikan dengan tanah yang masam, agregat kurang stabil, bahan organik, dan permeabilitas yang rendah. Hal ini menimbulkan masalah dalam produktivitas pertanian dan perkebunan. Ultisol saat ini masih belum tertangani dengan baik, sehingga salah satu pengelolaan tanah untuk memperoleh produktivitas yang tinggi dan berkelanjutan adalah dengan pemberian bahan organik (Sujana dan Pura, 2015).

Kandungan nitrogen (N) yang rendah karena pencucian, penguapan dan terangkut saat panen merupakan permasalahan pada Ultisol (Jayadi et al., 2023). Kandungan N yang rendah akan menghambat pertumbuhan tanaman. Oleh sebab itu untuk mengatasi permasalahan ini perlu adanya penambahan bahan organik dengan kandungan N yang tinggi untuk meningkatkan ketersediaan N dan memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah (Nariratih et al., 2013). Permasalahan yang terjadi dalam pengelolaan bahan organik meliputi bahan organik harus diberikan dengan dosis yang tinggi dan bahan organik cepat terdekomposisi di dalam tanah, sehingga pengaplikasian bahan organik dilakukan secara berulang setiap musim. Keterbatasan akses petani terhadap ketersediaan bahan organik, penggunaan bahan organik tahan dekomposisi seperti arang akan sangat berharga sebagai sumber bahan organik untuk pertanian (Sujana dan Pura, 2015).

Salah satu bahan organik yang dapat dijadikan sebagai pupuk dan mampu memperbaiki struktur tanah dan sebagai sumber karbon dan energi bagi mikroorganisme yang ada di tanah dan tinggi kandungan unsur hara N adalah kotoran walet (Alfionita et al., 2018). Penelitian Hariyadi (2012) memperlihatkan hasil analisis kandungan hara yang ada di kotoran walet yaitu unsur N sebesar 4,2%, fosfor (P) sebesar 1377,39 mg kg⁻¹, kalium (K) sebesar

13721,05 mg kg⁻¹, kalsium (Ca) 2152,85 mg kg⁻¹, dan magnesium (Mg) 2557,12 mg kg⁻¹ sudah mampu meningkatkan pertumbuhan cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.).

Arang atau biochar merupakan sumber energi yang biasa digunakan masyarakat sebagai bahan bakar dan sumber panas. Sifatnya arang yang sulit terdekomposisi dapat membantu konservasi karbon di dalam tanah karena mampu bertahan lama di dalam tanah (Nurida et al., 2015). Permukaan arang yang porus dapat menjadi tempat tumbuh yang baik untuk mikroba dan mampu menahan nutrisi dan menyimpan air yang dibutuhkan tanaman (Sarwono, 2016) yang akan mengikat hara pada saat terjadi kelebihan hara dan melepaskan hara pada saat tanaman membutuhkan (*slow release*) (Wang et al., 2022). Besarnya luas permukaan pada biochar melepaskan karbon untuk sumber energi pertumbuhan mikroba sehingga dapat meningkatkan mineralisasi NH₄⁺ dan NO₃⁻ (Bolan et al., 2023).

Dalam penelitian ini kotoran walet berperan sebagai sumber unsur hara N, dan arang kayu sebagai pembenah tanah yang membantu dalam meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk kotoran walet. Hal ini sejalan dengan Agegnehu et al. (2015) yang menyatakan bahwa pengaruh menguntungkan arang hayati terhadap pertumbuhan tanaman adalah ketika dikombinasikan dengan pupuk organik. Kanthle et al. (2016) menyatakan bahwa arang dapat mempertahankan nutrisi karena dapat meningkatkan KTK, dan memiliki kapasitas penyerapan yang baik sehingga dapat menjaga keseimbangan hara tanaman, ketersediaan N pun dapat terjaga. Nguyen et al. (2017) melaporkan peningkatan kelembaban dan pH tanah karena pengaplikasian arang dapat merangsang proses mineralisasi N dan nitrifikasi yang pada akhirnya menyebabkan serapan tanaman meningkat. Arang juga efektif dalam menjerap N tersedia sehingga berpotensi mengurangi kerugian N akibat proses pencucian (Hossain et al., 2020). Dengan demikian tujuan penelitian ini adalah untuk mengkuantifikasi pengaruh aplikasi kotoran walet dan arang kayu terhadap ketersediaan N pada tanah Ultisol.

2. Metode Penelitian

2.1. Sampling dan Karakterisasi Contoh Tanah, Kotoran Walet, dan Arang

Contoh tanah Ultisol diambil dari Kelurahan Cempaka, Kecamatan Banjarbaru Selatan, Kota Banjarbaru, Provinsi Kalimantan Selatan (-3°29'23"LS, 114°53'3"BT). Tanah diambil pada kedalaman 0-20 cm. Contoh tanah yang telah diambil dibersihkan dari sisa-sisa tanaman, kerikil, akar dan potongan kayu, kemudian dikering-anginkan, ditumbuk, dan disaring dengan ayakan 2 mm. Sebagian dari contoh tanah kemudian digunakan untuk penetapan sifat fisika dan kimia tanah, yang meliputi tekstur tanah, berat isi (*bulk density*), berat partikel (*partikel density*), pH, kandungan C-organik, N-total, Al-tukar, dan KTK.

Kotoran walet yang digunakan untuk penelitian diambil dari rumah walet di Kelurahan Pekapuran Raya, Kecamatan Banjarmasin Tengah, Kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan. Kotoran walet yang digunakan untuk penelitian merupakan kotoran walet yang dalam kondisi kering dan berumur >12 bulan. Sampel kotoran walet dilakukan penetapan pH, kandungan C-organik, dan kandungan N-total pada kotoran walet.

Arang kayu yang digunakan pada penelitian adalah arang kayu halaban, yang digunakan untuk bahan bakar oleh masyarakat dan dibeli dari toko arang di Kampung Melayu Darat, Banjarmasin, Kalimantan Selatan. Arang kayu dihancurkan dan diayak menggunakan ayakan 2 mm, kemudian dilakukan penetapan pH, kandungan C-organik, dan kandungan N-total.

2.2. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini bertempat di Laboratorium Fisika, Kimia, dan Biologi Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru dan dilaksanakan selama 4 bulan (Februari sampai Mei 2022). Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial (dua faktor). Faktor pertama adalah kotoran walet (P) (0, 5, dan 10 t ha⁻¹) dan faktor kedua adalah arang kayu (B) (0, 10, dan 20 t ha⁻¹). Setiap kombinasi perlakuan mempunyai tiga ulangan, sehingga terdapat 27 satuan percobaan. Tanah sebanyak 200 g yang telah dikering-anginkan dimasukkan ke dalam pot percobaan (diameter 9 cm dan tinggi 12 cm), kemudian kotoran walet dan arang kayu sesuai perlakuan ditambahkan ke dalam pot percobaan. Tanah, kotoran walet, dan arang kayu diaduk sampai homogen, kemudian ditambahkan aquades untuk memperoleh 70% kapasitas lapang. Campuran tanah, kotoran walet, dan arang diinkubasi pada temperatur ruang selama 14 hari. Kandungan air 70% kapasitas lapang dipertahankan selama masa inkubasi dengan menambahkan air yang hilang karena evaporasi. Setelah masa inkubasi selesai dilakukan sub-sampling pada setiap pot percobaan untuk penetapan pH tanah (Ifansyah, 2008), kandungan NH₄⁺ (Kempers and Zweepers, 1986), kandungan NO₃⁻ (Yang et al., 1998) dan kandungan N-mineral (NH₄⁺ dan NO₃⁻).

2.3. Analisis Data

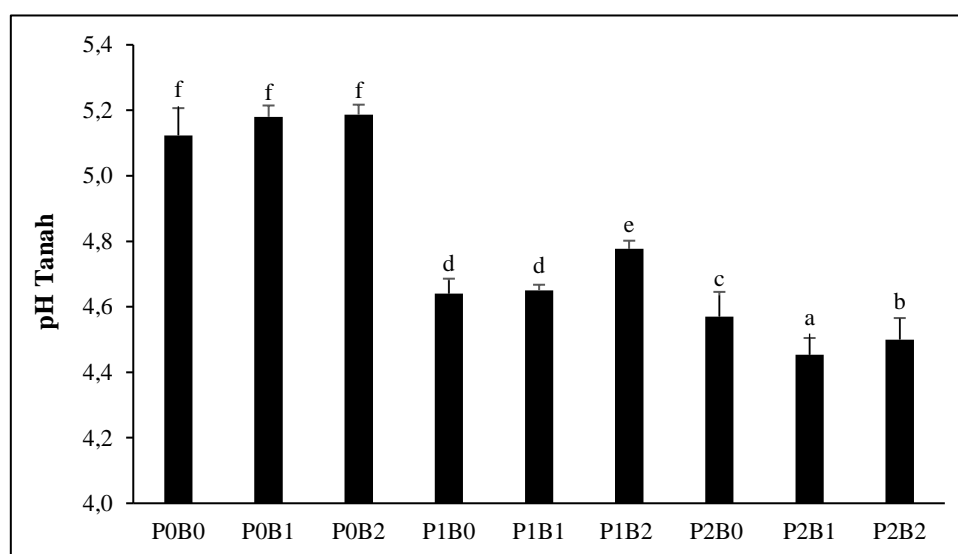
Pengaruh aplikasi kotoran walet dan arang terhadap pH tanah, kandungan NH₄⁺, kandungan NO₃⁻, dan kandungan N-mineral (NH₄⁺ dan NO₃⁻) dikuantifikasi dengan analisis ragam. Sebelum dilakukan analisis ragam, dilakukan

Uji Bartlett untuk memastikan data mempunyai ragam yang homogen, di mana jika data tidak mempunyai ragam yang homogen maka dilakukan transformasi data sampai data mempunyai ragam yang homogen. Ketika hasil analisis ragam memperlihatkan bahwa perlakuan mempunyai pengaruh yang signifikan, analisis dilanjutkan dengan uji nilai tengah Duncan Multiple Range Test (DMRT) pada taraf 5%.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Reaksi pH Tanah

Hasil analisis ragam pH tanah menunjukkan bahwa interaksi pemberian kotoran walet dan arang berpengaruh nyata terhadap perubahan nilai pH tanah. Pemberian tunggal arang dengan dosis 10 t ha^{-1} dan 20 t ha^{-1} tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap pH tanah. Sebaliknya, pemberian kotoran walet pada berbagai dosis arang menyebabkan terjadinya perubahan pada yang signifikan terhadap pH tanah (Gambar 1). Penurunan pH yang terjadi disebabkan karena adanya proses mineralisasi dari kotoran walet. Kenaikan pH akibat dari penambahan arang dikarenakan arang yang digunakan memiliki pH yang alkali (7,02).

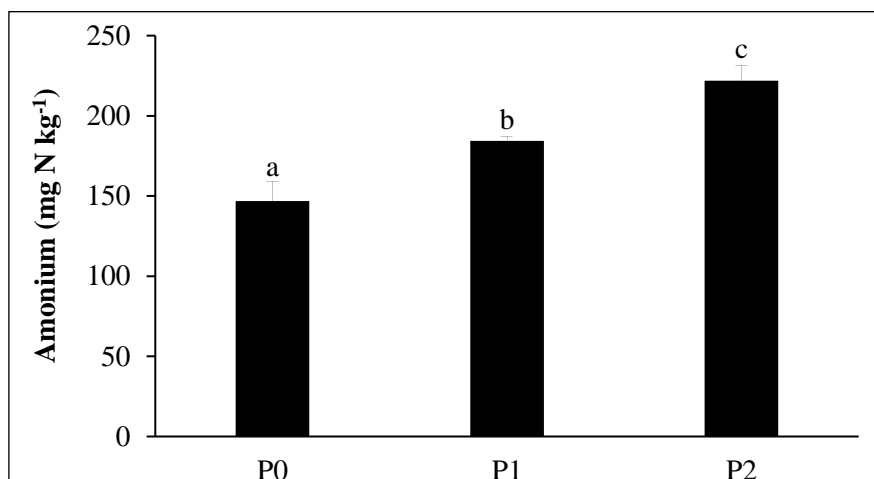


Gambar 1. Pengaruh kotoran walet dan arang kayu terhadap perubahan pH tanah. Garis di atas batang merupakan simpangan baku. Huruf yang berbeda di atas garis menunjukkan pengaruh perlakuan yang berbeda berdasarkan uji beda nyata *Duncan's Multiple Range Test* pada $P \leq 0,05$. P0 = 0 t kotoran walet ha^{-1} ; P1 = 5 t kotoran walet ha^{-1} ; P2 = 10 t kotoran walet ha^{-1} ; B0=0 t arang kayu ha^{-1} ; B1 = 10 t arang kayu ha^{-1} ; B2 = 20 arang kayu t ha^{-1}

Kenaikan pH akibat dari penambahan arang diduga dikarenakan arang yang digunakan memiliki pH yang alkali (7,02). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Solaiman dan Anwar (2015) yang menyatakan bahwa peningkatan pH tanah dengan pemberian arang kayu berkaitan dengan tingkat alkalinitas di dalam arang yang berkontribusi terhadap potensinya sebagai kapur. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Cha et al. (2016) yang menyatakan bahwa arang kayu memiliki gugus fungsional fenolik, karboksil, dan hidroksil yang dapat bereaksi dengan ion H^+ di dalam tanah sehingga mengurangi konsentrasi H^+ di larutan tanah, yang pada akhirnya akan meningkatkan pH tanah. Arang hayati dapat meningkatkan pH pada tanah masam melalui peningkatan kandungan kation basa seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan K^+ dari arang hayati, dan melalui penurunan kadar Al^{3+} yang terlarut di dalam tanah (Johan et al., 2021; Syifa et al., 2023).

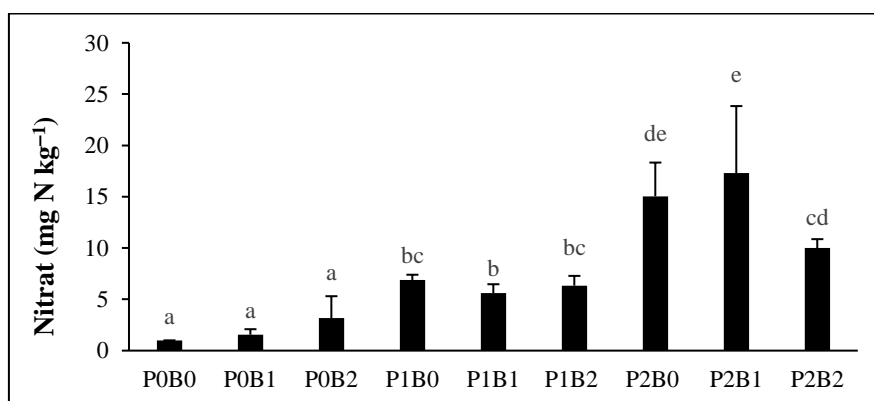
3.2 Nitrogen Tersedia

Hasil analisis ragam memperlihatkan bahwa hanya pemberian kotoran walet yang berpengaruh signifikan terhadap konsentrasi amonium tanah. Pemberian arang dan interaksi kotoran walet dan arang tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan nilai amonium tanah. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa peningkatan jumlah kotoran walet yang diberikan ke tanah menghasilkan kandungan amonium tanah yang semakin meningkat (Gambar 2). Pemberian kotoran walet sebesar 10 t ha^{-1} memberikan hasil amonium tertinggi dibanding perlakuan lainnya sebesar $221,8 \text{ mg N kg}^{-1}$. Peningkatan N tersedia yang cukup signifikan karena kotoran walet yang digunakan pada penelitian mengandung N-total sebesar 4,29% dan memiliki nisbah C/N sebesar 0,69. Kotoran walet dengan karakteristik demikian akan mengalami proses mineralisasi jika ditambahkan ke dalam tanah, sehingga menghasilkan peningkatan N-anorganik yang signifikan pada tanah.



Gambar 2. Pengaruh pemberian kotoran walet terhadap amonium tanah. Huruf yang berbeda di atas garis menunjukkan pengaruh perlakuan yang berbeda berdasarkan uji beda nyata *Duncan's Multiple Range Test* pada $P \leq 0,05$; P0 = 0 t kotoran walet ha⁻¹; P1=5 t kotoran walet ha⁻¹; P2=10 t kotoran walet ha⁻¹.

Kotoran walet yang digunakan pada penelitian mengandung N-total sebesar 4,29% dan memiliki nisbah C/N sebesar 0,69. Kotoran walet dengan karakteristik demikian akan mengalami proses mineralisasi jika ditambahkan ke dalam tanah, sehingga menghasilkan peningkatan N-anorganik yang signifikan pada tanah. Hal ini sesuai dengan pendapat Masunga et al. (2016) yang melaporkan bahwa salah satu faktor penting yang mempengaruhi kecepatan pelepasan N dari bahan organik adalah kualitas atau komposisi kimia bahan organik. Kualitas bahan organik yang berkaitan dengan kecepatan dekomposisi dan mineralisasi N bahan organik adalah nisbah C/N.



Gambar 3. Pengaruh Kotoran walet dan arang kayu terhadap perubahan Nitrat tanah. di atas batang merupakan simpangan baku (*standard deviation*) dari rata-rata (n=3). Huruf yang berbeda di atas garis menunjukkan pengaruh perlakuan yang berbeda berdasarkan uji beda nyata *Duncan's Multiple Range Test* pada $P \leq 0,05$. P0=0 t kotoran walet ha⁻¹; P1= 5 t kotoran walet ha⁻¹; P2= 10 t kotoran walet ha⁻¹; B0=0 t arang kayu ha⁻¹; B1=10 t arang kayu ha⁻¹; B2=20 arang kayu t ha⁻¹.

Hasil analisis memperlihatkan bahwa interaksi pemberian kotoran walet dan arang kayu berpengaruh nyata terhadap perubahan konsentrasi nitrat tanah. Pemberian kotoran walet dengan jumlah 5 t ha⁻¹ yang dikombinasikan dengan pemberian arang kayu dengan berbagai dosis dapat meningkatkan konsentrasi N-NO₃⁻ dari 0,98 mg N kg⁻¹ menjadi 5,59 mg N kg⁻¹ dan 6,89 mg N kg⁻¹ (Gambar 3). Hal yang sama diamati pada pemberian kotoran walet sebesar 10 t ha⁻¹ yang dikombinasikan dengan pemberian arang kayu, konsentrasi N-NO₃⁻ tanah mengalami peningkatan sebesar 920,4% sampai 1.666,3% jika dibanding kontrol (Gambar 3). Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa konsentrasi nitrat lebih rendah dari pada amonium pada tanah. Hal ini diduga karena proses nitrifikasi yang lambat. Pemberian kotoran walet sebesar 10 t ha⁻¹ yang dikombinasikan dengan arang kayu sebesar 10 t ha⁻¹ memberikan hasil konsentrasi nitrat yang paling tinggi, yaitu sebesar 17,31 mg N kg⁻¹.

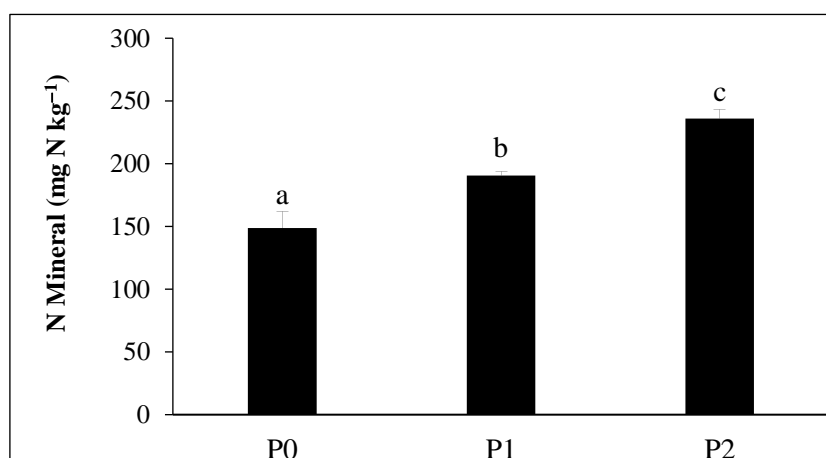
Nitrat dihasilkan dari proses nitrifikasi yang merupakan proses biokimia konversi amonia menjadi nitrit dan nitrat. Proses nitrifikasi terdiri atas dua tahapan reaksi, yaitu proses nitritasi yang merupakan konversi amonium ke nitrit, dan nitratasi yang merupakan konversi nitrit ke nitrat (Zhao et al., 2022). Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa konsentrasi nitrat lebih rendah dari pada amonium pada tanah. Hal ini diduga karena proses

nitrifikasi yang lambat. Faktor yang menyebabkan lambatnya nitrifikasi salah satunya adalah pH tanah yang masam, pH tanah pada penelitian ini berkisar dari 4,45 – 5,19 yang tergolong masam dan sangat masam. Hal ini sesuai dengan penjelasan Ni et al. (2023) yang menyatakan bahwa nitrifikasi terjadi pada pH tanah yang netral dan akan terhambat prosesnya dalam keadaan anaerob atau keadaan tanah menjadi masam.

Peningkatan NO_3^- dengan penambahan arang karena arang mampu dalam meretensi hara. Arang memiliki kapasitas menahan air yang tinggi, meningkatkan kelembaban, pH tanah dan dapat menstimulasi proses nitrifikasi. Penelitian yang dilakukan oleh Ding et al. (2016) memperlihatkan bahwa arang mampu meretensi N dan P sehingga tidak mudah tercuci oleh air dan akan berada dalam bentuk yang tersedia bagi tanaman. Ketersediaan hara akibat dari pemberian arang terjadi melalui tiga mekanisme yaitu, suplai hara langsung dari arang, kemampuan arang meretensi hara, dan pengaruh arang terhadap dinamika mikroorganisme di dalam tanah (Mukherjee dan Zimmerman, 2013).

3.3 Kandungan Nitrogen-mineral pada Tanah

Hasil analisis ragam memperlihatkan bahwa hanya pemberian kotoran walet yang berpengaruh signifikan terhadap konsentrasi N-mineral tanah (Gambar 4). Interaksi pemberian kotoran walet dan arang tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan nilai N-mineral tanah. Pemberian tunggal arang tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap N-mineral tanah, dan pemberian tunggal kotoran walet analisis ragam menunjukkan berpengaruh sangat nyata terhadap N mineral tanah. Perlakuan kotoran walet sebesar 10 t ha^{-1} memberikan hasil N mineral yang paling tinggi dibandingkan perlakuan lainnya, yaitu sebesar $235,9 \text{ mg N kg}^{-1}$ (Gambar 4). Peningkatan N tanah yang cukup tinggi disebabkan karena proses mineralisasi bahan organik, di mana N yang tersedia di dalam tanah merupakan sisa-sisa dari pemanfaatan bahan organik untuk keperluan aktivitas mikroorganisme perombak (Normaulidia et al., 2022).



Gambar 4. Pengaruh kotoran walet terhadap perubahan N mineral tanah. Huruf yang berbeda di atas garis menunjukkan pengaruh perlakuan yang berbeda berdasarkan uji beda nyata *Duncan's Multiple Range Test* pada $P \leq 0,05$. P0= 0 t ha^{-1} kotoran walet; P1= 5 t ha^{-1} kotoran walet; P2= 10 t ha^{-1} kotoran walet.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemberian kotoran walet dan arang kayu ke dalam tanah dapat menurunkan pH tanah dan dapat meningkatkan kandungan NH_4^+ , NO_3^- , dan N-mineral di dalam tanah. Perlakuan terbaik dari penelitian ini adalah pemberian kotoran walet 10 t ha^{-1} terhadap kandungan amonium dan N mineral tanah, dan kombinasi kotoran walet $10 \text{ t ha}^{-1} + 10 \text{ t ha}^{-1}$ arang kayu memberikan hasil paling baik terhadap kandungan nitrat tanah.

Daftar Pustaka

- Agegnehu, G., Bass, A.M., Nelson, P.N., Muirhead, B., Wright, G., Bird, M.I. 2015. Biochar and biochar-compost as soil amendments: Effects on peanut yield, soil properties and greenhouse gas emissions in tropical North Queensland, Australia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 213, 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.07.027>
- Alfionita, R., Paranoan, R.R., Kesumaningwati, R. 2018. Pemberian bokashi kotoran walet terhadap beberapa sifat kimia tanah dan pertumbuhan serta hasil tanaman cabai merah (*Capsicum annum* L.) *Agroekoteknologi Tropika Lembab* 1, 43–52. <http://dx.doi.org/10.35941/jatl.1.1.2018.1587.43-52>
- Bolan, S., Hou, D., Wang, L., Hale, L., Egamberdieva, D., Tammeorg, P., Li, R., Wang, B., Xu, J., Wang, T., Sun,

- H., Padhye, L.P., Wang, H., Siddique, K.H.M., Rinklebe, J., Kirkham, M.B., Bolan, N. 2023. The potential of biochar as a microbial carrier for agricultural and environmental applications. *Science of The Total Environment* 886, 163968. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163968>
- Cha, J.S., Park, S.H., Jung, S.C., Ryu, C., Jeon, J.K., Shin, M.C., Park, Y.K. 2016. Production and utilization of biochar: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 40, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.06.002>
- Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Li, Z., Tan, X., Huang, X., Zeng, G., Zhou, L., Zheng, B. 2016. Biochar to improve soil fertility. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 36. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0372-z>
- Hariyadi. 2012. Aplikasi Takaran Guano Walet sebagai Amelioran dengan Interval Waktu Pemberian terhadap Pertumbuhan dan Hasil Cabai Rawit (*Capsicum Frutescens* L.) pada Tanah Gambut Pedalaman. Skripsi. Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.
- Hossain, M.Z., Bahar, M.M., Sarkar, B., Donne, S.W., Ok, Y.S., Palansooriya, K.N., Kirkham, M.B., Chowdhury, S., Bolan, N. 2020. Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. *Biochar* 2, 379–420. <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00065-z>
- Ifansyah, H. 2008. Prosedur Analisa Tanah Jaringan Tanaman dan Pupuk. Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.
- Jayadi, M., Rismaneswati., Majid, S.A. 2023. Availability of phosphorus in Ultisols by applying compost and phosphate rock. *Anjoro: International Journal of Agriculture and Business* 4(1), 21-28. <https://doi.org/10.31605/anjoro.v4i1.2278>
- Johan, P.D., Ahmed, O.H., Omar, L., Hasbullah, N.A. 2021. Phosphorus transformation in soils following co-application of charcoal and wood ash. *Agronomy* 11(10), 2010. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102010>
- Kanthle, A.K., Lenka, N.K., Lenka, S., Tedia, K. 2016. Biochar impact on nitrate leaching as influenced by native soil organic carbon in an Inceptisol of central India. *Soil and Tillage Research* 157(3), 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.11.009>
- Kempers, A. J., Zweers, A. 1986. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate method. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 17(7), 715–723. <https://doi.org/10.1080/00103628609367745>
- Masunga, R.H., Uzokwe, V.N., Mlay, P.D., Odeh, I., Singh, A., Buchan, D., Neve, S.D. 2016. Nitrogen mineralization dynamics of different valuable organic amendments commonly used in agriculture. *Applied Soil Ecology* 101, 185-193. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.01.006>
- Mukherjee, A., Zimmerman, A.R. 2013. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar-soil mixtures. *Geoderma* 193–194, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.10.002>
- Nariratih, I., Damanik, M., Sitanggang, G. 2013. Ketersediaan nitrogen pada tiga jenis tanah akibat pemberian tiga bahan organik dan serapannya pada tanaman jagung. *Jurnal Online Agroekoteknologi* 1(3), 479-488. <https://dx.doi.org/10.32734/jaet.v1i3.2645>
- Nguyen, T.T.N., Xu, C.Y., Tahmasbian, I., Che, R., Xu, Z., Zhou, X., Bai, S.H. 2017. Effects of biochar on soil available inorganic nitrogen: A review and meta-analysis. *Geoderma* 288, 79–96. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.11.004>
- Ni, G., Leung, P.M., Daebeler, A., Guo, J., Hu, S., Cook, P., Nicol, G.W., Daims, H., Greening, C. 2023. Nitrification in acidic and alkaline environments. *Essays Biochem* 67(4), 753-768. <https://doi.org/10.1042/EBC20220194>
- Normaulidia, N., Saidy, A.R., Yusran, F.H. 2022. Nitrogen availability in upland soil treated with swallow dropping. *Acta Solum* 1(1), 28-35. <https://doi.org/10.20527/actasolum.v1i1.1382>
- Nurida, N.L., Rahman, A., Sutono, S. 2015. Biochar Pembenh Tanah Yang Potensial. IAARD Press, Jakarta.
- Sarwono, R. 2016. Biochar sebagai penyimpan karbon, perbaikan sifat tanah, dan mencegah pemanasan global : Review. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia* 18(1), 79–90. <https://doi.org/10.14203/jkti.v18i01.44>
- Solaiman, Z.M., Anawar, H.M. 2015. Application of biochars for soil constraints: Challenges and solutions. *Pedosphere* 25(5), 631–638. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)30044-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)30044-8)
- Sujana, I.P., Pura, I.N.L.S. 2015. Pengelolaan tanah Ultisol dengan pemberian pembenah organik biochar menuju pertanian berkelanjutan. *Agrimeta: Jurnal Pertanian Berbasis Keseimbangan Ekosistem* 5(9), 1–9.

- Syifa, M., Ifansyah, H., Fachruzi, I. 2023. Pengaruh aplikasi biokom, coal fly-ash, dan fungi pelarut P terhadap beberapa sifat kimia pada tanah gambut yang ditanami tanaman jagung (*Zea mays*). Acta Solum 1(3), 101-110. <https://doi.org/10.20527/actasolum.v1i3.2264>
- Wang, C., Luo, D., Zhang, X., Huang, R., Cao, Y., Liu, G., Zhang, Y., Wang, H. 2022. Biochar-based slow-release of fertilizers for sustainable agriculture: A mini review. Environmental Science and Ecotechnology 10, 100167. <https://doi.org/10.1016/j.ese.2022.100167>
- Yang, J. E., Skogley, E. O., Schaff, B. E., Kirn, J. J., Kim, J. J., Skogley, E. G. 1998. A simple spectrophotometric determination of nitrate in water, resin, and soil extracts. Soil Science Society American Journal 62(3), 1108-1115. <https://doi.org/10.2136/sssaj1998.03615995006200040036x>
- Zhao, H., Guo, Y., Wang, Q., Zhang, Z., Wu, C., Gao, M., Liu, F. 2022. The summary of nitrification process in mainstream wastewater treatment. Sustainability 14(24), 16453. <https://doi.org/10.3390/su142416453>