

Detoksifikasi Aluminium dan Ketersediaan Fosfor dalam Tanah Masam Melalui Aplikasi Bahan Organik

(Detoxification of Aluminum and Phosphorus Availability in Acid Soil by Organic Materials Application)

Lilik Tri Indriyati*, Budi Nugroho, Fahrizal Hazra

(Diterima Juli 2022/Disetujui Desember 2022)

ABSTRAK

Bahan organik yang biasanya cukup banyak tersedia di sekitar lahan petani dapat merupakan salah satu solusi dalam mengatasi masalah kemasaman tanah dan defisiensi unsur hara pada tanah-tanah yang telah melapuk-lanjut di daerah tropis. Salah satu masalah utama dalam pemanfaatan bahan organik tersebut pada tanah-tanah masam adalah keragaman komposisi kimianya yang memengaruhi dekomposisi bahan organik tersebut. Dalam penelitian ini, diinkubasikan campuran tanah dengan lima jenis bahan organik, yaitu pupuk kandang sapi, pupuk kandang ayam, jerami padi, limbah tanaman legum, dan kombinasinya, dengan dosis setara 0, 7,5 dan 15 ton/ha. Campuran tanah dengan bahan organik diinkubasi selama 120 hari dalam kondisi kadar air kapasitas lapangan. Tujuannya ialah untuk mengevaluasi pengaruh ameliorasi beberapa macam bahan organik pada kemasaman tanah (kandungan Al dapat-ditukar dan pH tanah), P-tersedia, dan aktivitas enzim fosfatase. Aplikasi jenis dan dosis bahan organik berpengaruh nyata pada penurunan kandungan Al dapat-ditukar dan peningkatan pH tanah, P-tersedia, serta aktivitas fosfatase. Pupuk kandang ayam menunjukkan pengaruh terbaik dalam menurunkan kandungan Al dapat-ditukar dan peningkatan pH, kandungan P-tersedia, dan aktivitas fosfatase.

Kata kunci: ameliorasi, fosfatase, pupuk kandang

ABSTRACT

Organic matter that is usually quite widely available around farmers' land can be one of the solutions in overcoming the problem of soil acidification and nutrient deficiencies in tropical highly weathered soils. However, one of the main problems in utilizing such organic matter on acidic soils is the diversity of its chemical composition, which affects the decomposition of the organic matter. In this study, a mixture of soil with five types of organic matter was incubated, namely cow manure, chicken manure, rice straw, legume plant residue, and their combination, with doses equivalent to 0, 7.5, and 15 tons/ha. Mixtures of soil with organic matter were incubated for 120 days under conditions of field capacity moisture. The aim was to evaluate the amelioration effect of the organic matter on soil acidification (exchangeable-Al and soil pH), available P, and phosphatase activity. The application of organic matter type and dose has a marked effect on decreasing the content of exchangeable Al and increasing soil pH, P-available, and phosphatase activity. Chicken manure application showed the best effect in lowering soil exchangeable-Al and increasing pH, available-P, and phosphatase activity.

Keywords: amelioration, manure, phosphatase

PENDAHULUAN

Kira-kira 70% dari luas total lahan di Indonesia merupakan tanah masam dengan pH kurang dari 5 (Sumiahadi & Acar 2019), terutama pada tanah-tanah yang sudah mengalami pelapukan lanjut, seperti Ultisol dan Oksisol. Oksisol dan Ultisol di wilayah tropik umumnya dicirikan dengan pH rendah, kapasitas tukar kation (KTK) yang rendah, dan kandungan hidroksida-hidroksida aluminium $[Al(OH)_3]$ dan hidroksida besi $[Fe(OH)_3]$ (Van Wambeke 1992), kejenuhan aluminium (Al) dan Al monomer yang tinggi (Hue 1992; Heim *et*

al. 2003), kesuburan tanah yang rendah (defisiensi Ca, Mg, dan P), tingginya kemasaman dapat-ditukar (Ward *et al.* 2010). Akhir-akhir ini tingkat kemasaman tanah semakin meningkat dengan adanya aktivitas manusia, antara lain gejala hujan asam sebagai hasil polusi industri yang mampu mencuci basa-basa dalam tanah dan proses nitrifikasi yang terjadi dalam tanah setelah pemberian pupuk nitrogen. Gambaran ini menyebabkan defisiensi hara fosfor (P) yang parah karena terjadi erapan ion fosfat ($H_2PO_4^-$ dan HPO_4^{2-}) secara kuat pada permukaan oksida dalam tanah dan pembentukan senyawa Fe dan Al fosfat yang tidak larut (Cross & Schlesinger 1995). Pada saat yang sama, KTK tanah yang rendah menyebabkan pencucian nitrogen (N) yang cukup besar sehingga membuat pemupukan menjadi tidak efisien dan mahal (Chan *et al.* 1993; Thomsen *et al.* 1993). Kemasaman tanah dan

Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB University, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

* Penulis Korespondensi: Email: tri1503@yahoo.co.id

kekurangan P membatasi produksi tanaman di banyak tanah-tanah tropika. Di samping itu, reaksi tanah (pH) memengaruhi kelarutan dan ketersediaan hara esensial bagi tanaman dan dekomposisi bahan organik. Kemasaman tanah dan defisiensi unsur hara dapat diperbaiki dengan pengapuran dan pemupukan, tetapi kapur dan pupuk bukan merupakan pilihan yang murah bagi petani kecil. Umumnya dosis kapur dan pupuk P yang diperlukan untuk mendapatkan pertumbuhan tanaman yang cukup baik pada tanah-tanah masam cukup besar, yaitu 2–10 ton kapur per hektar (Hue 1992). Oleh karena itu diperlukan alternatif yang lebih praktis, seperti aplikasi bahan organik. Aplikasi bahan organik pada tanah masam untuk mengurangi kebutuhan kapur dan pupuk P akan sangat bermanfaat bagi petani dengan sumber daya rendah. Di samping itu bahan organik seperti pupuk kandang, kompos, dan residu tanaman (termasuk pupuk hijau) biasanya cukup banyak tersedia di sekitar lahan petani.

Terdapat banyak sumber bahan organik yang dimungkinkan dapat diaplikasikan ke dalam tanah, misalnya residu tanaman, pupuk kandang, dan kompos. Salah satu masalah utama dalam pemanfaatan bahan organik tersebut pada tanah-tanah masam adalah keragaman komposisinya. Hal ini berarti bahwa ameliorasi bahan organik tersebut dalam tanah masam memberikan pengaruh yang berbeda, termasuk pengaruhnya pada beberapa aktivitas enzimatik tanah. Enzim hidrolitik merupakan indikator yang sensitif dari pengelolaan yang disebabkan oleh perubahan sifat-sifat tanah, karena hubungannya yang kuat dengan kandungan bahan organik tanah dan kualitas tanah (Masciandaro *et al.* 2004).

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi pengaruh ameliorasi lima macam dan dosis bahan organik terhadap kemasaman tanah (kandungan Al dapat-ditukar, Al_{dd}, dan pH tanah), P-tersedia, dan aktivitas enzim fosfatase dalam Podsolik Merah Kuning dari Gajrug, Kabupaten Bogor.

METODE PENELITIAN

Penyiapan bahan inkubasi

Inkubasi menggunakan kotak plastik berpenutup yang diletakkan secara acak di meja ruang penge-ringan tanah. Bahan tanah yang digunakan dalam

penelitian ini adalah Podsolik dari Gajrug, lima jenis bahan organik, yaitu pupuk kandang ayam, pupuk kandang sapi, jerami padi, campuran jerami padi+pupuk kandang sapi (1:1) (b/b), dan bahan tanaman legum kacang tanah (*Arachis hypogaea*). Jerami padi dan bahan tanaman legum dicacah terlebih dahulu sampai berukuran 1–2 cm sebelum diaplikasikan. Bahan tanah Podsolik diambil dari kedalaman 0–20 cm dari permukaan tanah, selanjutnya dikeringudarkan selama beberapa hari, dan kemudian disaring hingga lolos saringan 2 mm. Tanah yang lolos saringan 2 mm ditimbang sebanyak 2 kg bobot kering mutlak (BKM) atau setara dengan 2,3 kg bobot kering udara (BKU) dengan kadar air 16,7%, dimasukkan ke dalam pot plastik berbentuk kotak dengan kapasitas 2,5 kg. Setiap bahan organik dicampur secara merata ke dalam tanah sesuai dengan perlakuan (Tabel 1), dan kemudian ditambahkan akuades sehingga kelembapan tanah mencapai kondisi kapasitas lapangan. Selama masa inkubasi, campuran tanah dan bahan organik dipertahankan pada kondisi kadar air kapasitas lapangan dengan cara menimbang bobot tanah setiap tiga hari, dan disemprotkan akuades sampai bobot tanah mencapai bobot semula. Pengurangan bobot tanah pada kotak inkubasi menunjukkan berkurangnya kadar air tanah. Dosis bahan organik yang diberikan ke dalam tanah berbeda-beda, bergantung pada kadar air bahan organik saat diaplikasikan (Tabel 1). Campuran tanah dan bahan organik diinkubasi selama 120 hari. Contoh tanah diambil pada akhir masa inkubasi untuk dianalisis sifat kimia dan biologi tanahnya. Analisis sifat kimia tanah meliputi pH H₂O, kadar Al_{dd}, fosfor tersedia (P-tersedia), dan aktivitas enzim fosfatase. Pengukuran pH tanah H₂O (1:2) menggunakan pH meter, P dengan menggunakan metode Bray-1 dan spektrofotometer, penetapan Al_{dd} dengan menggunakan metode titrasi dengan pengekstraksi KCl 1N, dan pengukuran aktivitas enzim fosfatase dengan metode Eivazi & Tabatabai (1977).

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan adalah acak lengkap faktorial dengan dua faktor yang masing-masing diulang tiga kali. Faktor pertama adalah jenis bahan organik, yaitu pupuk kandang ayam (A), jerami padi (J), campuran jerami padi+pupuk kandang sapi (P), bahan tanaman legum (L), dan pupuk kandang sapi (S).

Tabel 1 Dosis bahan organik yang diaplikasikan ke dalam tanah pada percobaan inkubasi

| Bahan organik | Kode | Kadar air (%) | Dosis (ton/ha) | Dosis (g/pot) |
|----------------------------------|------|---------------|----------------|---------------|
| Pupuk kandang ayam | AD0 | 112,4 | 7,5 | 15,9 |
| | AD1 | | 15 | 31,8 |
| Jerami padi | JD0 | 205,6 | 7,5 | 22,9 |
| | JD1 | | 15 | 45,8 |
| Jerami padi + pupuk kandang sapi | PD0 | 90,0 | 7,5 | 14,2 |
| | PD1 | | 15 | 28,5 |
| Legum | LD0 | 497 | 7,5 | 44,7 |
| | LD1 | | 15 | 89,5 |
| Pupuk kandang sapi | SD0 | 147,8 | 7,5 | 18,5 |
| | SD1 | | 15 | 37,2 |

Faktor kedua adalah dosis bahan organik yang setara dengan 0 (tanpa bahan organik, D0), 7,5 ton/ha atau 7,5 g bobot kering (BK) bahan organik per pot (D1), dan setara dengan 15 ton/ha atau 15 g BK bahan organik per pot (D2). Data yang diperoleh diuji dengan uji F untuk menentukan pengaruh perlakuan dan uji lanjut menggunakan uji Duncan pada taraf 5% untuk menentukan pengaruh antarperlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Tanah

Berdasarkan penelitian sebelumnya (Wahjudin 2006), Podsolik Merah Kuning dari Gajrug memiliki sifat kimia tanah yang kurang baik bagi pertumbuhan tanaman, terutama untuk tanaman semusim. Sifat kimia tersebut antara lain tingginya kandungan Al_{-dd} yang merupakan salah satu sumber kemasaman tanah dalam tanah tersebut. Selain itu kandungan Al_{-dd} yang tinggi dapat meracuni sehingga menghambat pertumbuhan tanaman. Dibandingkan dengan jenis tanah lainnya seperti Latosol dari Darmaga atau Podsolik dari Jasinga, Podsolik dari Gajrug memiliki kandungan Al_{-dd} yang jauh lebih tinggi, yaitu 18–23 $cmol_c/kg$. Sifat kimia sampel Podsolik ini disajikan dalam Tabel 2.

pH sampel tanah termasuk sangat masam (pH = 3,98). Kalium dapat-ditukar (K_{-dd}) yang menduduki kompleks jerapan tanah tergolong sedang, kalsium (Ca_{-dd}), dan magnesium (Mg_{-dd}) tergolong rendah. Rendahnya basa-basa yang menduduki kompleks jerapan tanah ini ditunjukkan juga oleh nilai kejenuhan basanya yang termasuk sangat rendah, yaitu kurang dari 20%. Hal ini menunjukkan bahwa kompleks jerapan tanah lebih banyak diisi oleh kation-kation masam seperti Al^{3+} dan H^+ , dan hal ini sejalan dengan tingginya kandungan Al_{-dd} (26,58 $cmol_c/kg$). Kemasaman yang tinggi dan kandungan basa-basa yang rendah tersebut berkaitan erat dengan tingginya kejenuhan Al (77,04%), sedangkan kandungan P-tersedia tanah tergolong sangat rendah. Rendahnya P-tersedia dalam tanah diduga karena terikat pada Al^{3+} yang tinggi dalam tanah masam ini dalam bentuk senyawa tidak larut. Berdasarkan data pada Tabel 2,

tingkat kesuburan sampel tanah dari Gajrug termasuk rendah dengan potensi keracunan Al yang tinggi pada tanaman. Gejala keracunan Al yang cepat terlihat pada tanaman adalah penghambatan pemanjangan sel dan akar tanaman. Oleh karena itu, sampel tanah cocok untuk digunakan dalam percobaan inkubasi. KTK termasuk tinggi (34,5 $cmol_c/kg$), tidak seperti umumnya KTK pada tanah-tanah masam yang telah mengalami pelapukan lanjut lainnya, karena adanya mineral klei smektit dan bahan amorf (Djokosudardjo 1982). Menurutnya, bahan amorf tersebut berasal dari bahan volkan akibat pengaruh aktivitas volkan Galunggung pada tahun 1982. Aktivitas volkan dapat menambah bahan-bahan amorf tanah lapisan atas sehingga mengubah komposisi mineral pada lapisan atas (epipedon).

Karakteristik Bahan Organik yang Digunakan

Komposisi kimia dari bahan organik yang digunakan dalam percobaan disajikan pada Tabel 3. Kandungan total kalium (K) dari bahan organik berkisar dari 0,2–1,49%, dengan nilai rata-rata 0,73%. Kandungan K tertinggi diperoleh pada jerami padi diikuti dengan pupuk kandang ayam, sedangkan yang terendah pada pupuk kandang sapi. Kandungan hara makro N, P, Ca, dan Mg serta kandungan hara mikro Fe dan Cu tertinggi terdapat pada pupuk kandang ayam. Kandungan N total terendah terdapat pada jerami padi, dan nilai ini hampir sama dengan kandungan N total pada pupuk kandang sapi.

Tingginya kandungan N total pada pupuk kandang ayam ialah karena merupakan campuran dari kotoran padat dan urine. Kandungan C-organik tertinggi terdapat pada bahan tanaman legum, diikuti oleh jerami padi. Nilai C-organik yang tinggi pada bahan tanaman legum ini karena bahan tanaman yang diberikan ke dalam tanah tidak hanya bagian daun tetapi juga termasuk bagian tangkai daunnya (petiolus). Pupuk kandang ayam yang digunakan sudah bercampur dengan alas kandang yang berupa sekam padi yang digunakan untuk menyerap kandungan air dari kandang. Oleh karena itu, campuran sekam ini menyumbang pada relatif besarnya kandungan C-organik dalam pupuk kandang ayam.

Tabel 2 Sifat kimia Podsolik dari Gajrug, Kabupaten Bogor sebelum percobaan

| Sifat tanah | Nilai | Kategori |
|----------------------------|-------|---------------|
| N total (%) | 0,05 | Sangat rendah |
| P-tersedia (ppm) | 7,19 | Rendah |
| Al_{-dd} ($cmol_c/kg$) | 26,58 | - |
| Kejenuhan Al (%) | 77,04 | Sangat tinggi |
| pH (H_2O) 1:1 | 3,98 | Sangat masam |
| KTK ($cmol_c/kg$) | 34,50 | Tinggi |
| Kejenuhan Al (%) | 77,04 | Sangat tinggi |
| Ca_{-dd} ($cmol_c/kg$) | 2,92 | Rendah |
| Mg_{-dd} ($cmol_c/kg$) | 0,95 | Rendah |
| K_{-dd} ($cmol_c/kg$) | 0,44 | Sedang |
| KB (%) | 13,54 | Sangat rendah |

Keterangan: Kategori didasarkan pada Kriteria Penilaian Status Sifat Kimia Tanah (Balai Penelitian Tanah 2009).

Pengaruh Jenis dan Dosis Bahan Organik pada Kandungan Al_{-dd}, pH Tanah, P-tersedia, dan Aktivitas Fosfatase

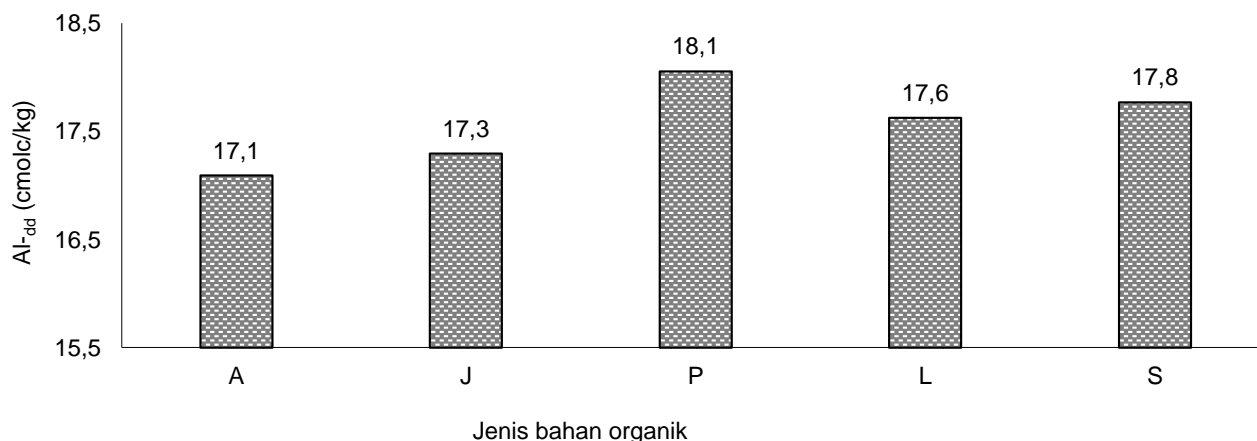
Hasil percobaan menunjukkan bahwa perlakuan tunggal jenis bahan organik dan dosis berpengaruh nyata pada kandungan Al_{-dd} tanah (Gambar 1 dan 2), tetapi interaksi jenis dan dosis bahan organik tidak berpengaruh nyata. Kedua gambar tersebut mengindikasikan bahwa ameliorasi bahan organik nyata menurunkan kandungan Al_{-dd} dalam tanah dibandingkan dengan tanpa bahan organik (D0), tetapi pengaruh antarjenis bahan organik tidak berbeda nyata. Hal ini

memperlihatkan bahwa amelirasi, tanpa membedakan jenis bahan organik, mampu menurunkan kandungan Al_{-dd} atau mendetoksifikasi Al dalam tanah pada tingkat yang berbeda.

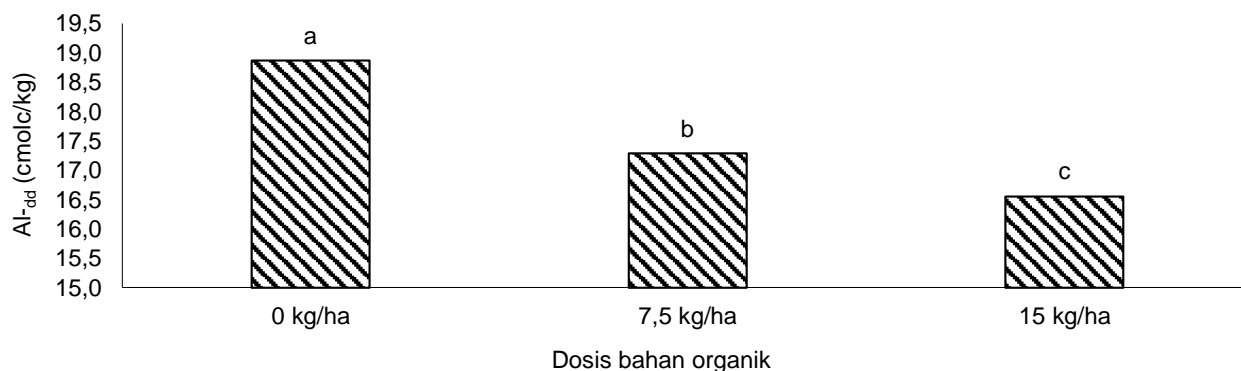
Al dapat berikatan kuat pada senyawa organik yang merupakan hasil dekomposisi bahan organik. Menurut Stevenson & Vance (1989), kompleks bahan organik tanah yang mengikat Al dan kation-kation polivalen lainnya dapat dikelompokkan menjadi dua kategori utama, yaitu (1) senyawa biokimia seperti asam organik alifatik sederhana, fenol, asam fenolik, siderofor hidroksamat, asam gula, dan fenol polimerat;

Tabel 3 Komposisi kimia bahan organik yang digunakan dalam percobaan

| Sifat Kimia | P. ayam (A) | Jerami padi (J) | Jerami+sapi (P) | Legum (L) | P. sapi (S) |
|-------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------|-------------|
| N-total (%) | 3,36 | 1,91 | 2,01 | 2,05 | 1,94 |
| P-total (%) | 0,99 | 0,20 | 0,19 | 0,07 | 0,16 |
| C-org (%) | 33,76 | 44,85 | 41,21 | 52,17 | 38,21 |
| C/N | 10,04 | 23,48 | 20,50 | 25,45 | 19,70 |
| Ca (%) | 0,14 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Mg (%) | 0,31 | 0,13 | 0,11 | 0,19 | 0,21 |
| K (%) | 0,90 | 1,49 | 0,63 | 0,45 | 0,20 |
| Fe (ppm) | 7.487 | 3.053 | 7.160 | 85,00 | 6.746 |
| Zn (ppm) | 26,60 | 34,00 | 37,50 | 11,60 | 32,60 |
| Cu (ppm) | 33,40 | 3,30 | 9,10 | 2,00 | 9,50 |



Gambar 1 Pengaruh jenis bahan organik pada aluminium dapat-ditukar (Al_{-dd}) tanah. Huruf berbeda di atas grafik menunjukkan pengaruh antar perlakuan berbeda nyata dengan uji DMRT pada taraf uji α = 5 %).



Gambar 2 Pengaruh dosis bahan organik pada aluminium dapat-ditukar (Al_{-dd}) tanah. Huruf berbeda di atas grafik menunjukkan pengaruh antar perlakuan berbeda nyata dengan uji DMRT pada taraf uji α = 5 %).

(2) bahan humat kompleks. Kemampuan bahan organik mengkelat atau mengikat kation logam seperti Al tersebut membentuk kompleks organik-Al yang tidak larut dan bersifat tidak meracun (Besso & Bell 1992; Wong & Swift 1995). Haynes & Mokolobate (2001) menyatakan bahwa mekanisme yang terjadi dari detoksifikasi Al dalam tanah adalah (1) penurunan Al_{dd} karena pengkompleksan dengan bahan organik dalam fase padat; (2) pengkompleksan Al dalam larutan dengan bahan organik terlarut sehingga menurunkan aktivitas Al³⁺ dalam larutan, dan (3) peningkatan pH. Gambar 2 jelas menunjukkan penurunan kandungan Al_{dd} tanah secara nyata disbandingkan dengan tanpa ameiiorasi (0), dan penurunan terbesar diperoleh pada perlakuan dosis bahan organik setara dengan 15 ton/ha (2) diikuti oleh perlakuan dosis setara 7,5 ton/ha (D1), yaitu masing-masing dengan penurunan 29,1% dan 24,8%. Tambahan dosis bahan organik 7,5 ton/ha pada perlakuan D2 yang hanya mampu menurunkan 4,3% Al_{dd} dibandingkan dengan perlakuan D1 ini diduga karena daya sangga tanah Podsolik dari Gajrug ini yang tinggi sebagaimana ditunjukkan oleh nilai KTK tanah yang tinggi (Tabel 2).

Pemberian jenis atau dosis bahan organik maupun interaksinya berpengaruh nyata pada pH tanah (Tabel 4). Diperlihatkan bahwa pemberian bahan organik nyata meningkatkan nilai pH tanah dibandingkan dengan tanpa bahan organik (D0). Peningkatan pH tanah masam terbesar diperoleh pada pemberian pupuk kandang sapi (S) dibandingkan dengan perlakuan jenis bahan organik lainnya. Peningkatan pH akibat pemberian pupuk kandang sapi (S) nyata lebih besar dibandingkan perlakuan pupuk kandang ayam (A) dan legum (L), tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan jerami padi (J) dan campuran jerami padi+pupuk kandang sapi (P). Peningkatan pH terkecil terjadi pada pemberian legum (L). Nilai pH tanah pada pemberian pupuk kandang ayam (A) dan legum (L) nyata lebih rendah daripada pemberian pupuk kandang sapi (S), jerami padi (J), dan kombinasi pupuk kandang sapi+jerami padi (P). Hal ini diduga karena pupuk kandang ayam dan legum di dalam tanah mengalami laju dekomposisi yang lebih cepat dibandingkan dengan bahan organik lainnya (J, P, dan S). Indriyati (1997) dan Indriyati (2014) melaporkan bahwa pupuk kandang ayam banyak mengandung senyawa N organik yang mudah dimineralisasi (*potentially mineralizable nitrogen*) sehingga laju dekomposisinya lebih cepat dibandingkan pupuk

kandang hewan lainnya seperti pupuk kandang sapi dan pupuk kandang babi. Menurut USDA Natural Resources Conservation Service (2014), senyawa N yang mudah dimineralisasi merupakan fraksi nitrogen organik yang potensial diubah menjadi bentuk tersedia bagi tanaman (mineral) di bawah kondisi suhu, kelembapan, aerasi, dan waktu yang kondusif. Selama masa inkubasi 120 hari, terjadi dekomposisi bahan organik; senyawa N organik mengalami proses amonifikasi dan menghasilkan ion NH₄⁺, dan diikuti dengan proses nitrifikasi, yaitu perubahan ion NH₄⁺ menjadi ion nitrat (NO₃⁻) dengan melepas proton (H⁺), dan akibatnya nilai pH tanah pada perlakuan dengan pupuk kandang ayam tidak meningkat.

Peningkatan dosis bahan organik dari setara 7,5 ton/ha menjadi setara 15 ton/ha nyata meningkatkan nilai pH tanah (Tabel 4). Naiknya pH tanah ini diduga karena meningkatnya kandungan kation-kation basa (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, dan Na⁺) yang berasal dari hasil dekomposisi bahan organik di dalam tanah, terutama sumbangan dari K dan Mg (Tabel 3).

Interaksi antara jenis dan dosis bahan organik berpengaruh nyata pada pH tanah (Tabel 4). Pada perlakuan pupuk kandang sapi dengan dosis setara 15 ton/ha, pH tanah nyata lebih tinggi daripada interaksi lainnya. Secara umum pemberian bahan organik, tanpa membedakan jenisnya, dengan dosis setara 7,5 ton/ha atau lebih, nyata meningkatkan pH tanah masam seperti Podsolik Merah Kuning dari Gajrug dibandingkan tanpa pemberian bahan organik.

Tabel 5 menunjukkan pengaruh pemberian jenis atau dosis bahan organik, atau interaksinya yang nyata meningkatkan aktivitas fosfatase dalam tanah masam daripada tanpa pemberian bahan organik. Enzim fosfatase dihasilkan oleh mikroorganisme tanah dan berfungsi mengubah senyawa organik yang mengandung fosfat, ester fosfat organik, menjadi ion ortofosfat (Araujo & Vihko 2013) yang dapat diserap oleh tanaman. Aktivitas fosfatase pada amelorasi pupuk kandang ayam (A) nyata lebih tinggi daripada jenis bahan organik lainnya, sedangkan aktivitas fosfatase pada pemberian jenis bahan organik lainnya selain pupuk kandang ayam tidak berbeda nyata. Demikian pula perlakuan pupuk kandang ayam dengan dosis setara 7,5 ton/ha (AD1) nyata lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya, tetapi pada dosis 15 ton/ha (AD2) peningkatan aktivitas fosfatase tidak berbeda nyata. Sebagaimana telah disebutkan, pemberian pupuk kandang ayam nyata menurunkan

Tabel 4 Pengaruh jenis dan dosis bahan organik pada pH tanah

| Perlakuan | Dosis bahan organik | | | Rata-rata |
|------------------------|---------------------|-----------------|----------------|-----------|
| | 0 ton/ha (D0) | 7,5 ton/ha (D1) | 15 ton/ha (D2) | |
| Pupuk kandang ayam (A) | 4,03 d | 4,07 d | 4,02 c | 4,10 c |
| Jerami padi (J) | 4,04 d | 4,23 bc | 4,30 b | 4,19 b |
| Jerami+K. sapi (P) | 4,04 d | 4,23 bc | 4,30 b | 4,19 b |
| Legum (L) | 4,04 d | 4,07 d | 4,00 d | 4,04 d |
| Pupuk kandang sapi (S) | 4,04 d | 4,30 b | 4,37 a | 4,24 a |
| Rata-rata | 4,04 c | 4,18 b | 4,23 a | |

Keterangan: Angka rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama pada satu kolom tidak berbeda nyata dengan uji DMRT pada taraf uji α = 5 %

kandungan Al³⁺ dalam tanah, diduga kondisi ini merangsang aktivitas mikroorganisme dalam tanah untuk menghasilkan fosfatase dalam tanah. Peningkatan dosis pupuk kandang ayam menjadi 15 ton/ha (AD2) nyata menurunkan aktivitas enzim fosfatase dibandingkan dengan pupuk kandang ayam pada dosis 7,5 ton/ha (AD1). Hal ini diduga karena pengaruh kandungan logam mikro yang cukup tinggi dalam pupuk kandang ayam (Tabel 3) dan juga adanya residu antibiotik dalam pupuk kandang ayam yang dapat menjadi penghambat aktivitas enzim fosfatase. Enzim tanah sangat sensitif terhadap cekaman lingkungan yang disebabkan oleh antara lain tingkat logam mikro yang tinggi (Hinojosa *et al.* 2008; Kizilkaya *et al.* 2004), hormon, dan antibiotik (Martinez-Carballo *et al.* 2007) dalam pupuk kandang, karena dampaknya secara langsung pada aktivitas hayati tanah. Di samping itu, Berezhetsky *et al.* (2008) melaporkan adanya interaksi langsung antara unsur mikro dan molekul-molekul enzim, atau substrat enzim yang membentuk kompleks substrat yang menyebabkan aktivitas fosfatase menurun.

Jenis atau dosis bahan organik juga interaksinya nyata meningkatkan ketersediaan P dalam tanah (Tabel 6). Pemberian dosis bahan organik nyata meningkatkan ketersediaan P dibandingkan tanpa pemberian bahan organik, kecuali pada pemberian jerami pada kandungan P-tersedia yang tidak menghasilkan perbedaan (D0). Kandungan P-tersedia pada pemberian pupuk legum (L) nyata lebih tinggi daripada bahan organik lainnya (Gambar 3). Semakin tinggi dosis bahan organik, makin besar P-tersedia. Peningkatan P-tersedia tersebut selain karena meningkatnya sumbangan P dari bahan organik ke dalam tanah sebagai hasil mineralisasi P-organik yang terkandung dalam bahan organik, juga karena menurunnya aktivitas ion Al³⁺ dalam tanah masam Podsolik Merah Kuning dari Gajrug ini (Gambar 1 dan 2) serta adanya senyawa-senyawa organik hasil dekomposisi bahan organik dalam tanah sehingga mengurangi potensi pengikatan P oleh Al dan komponen tanah lainnya. Peningkatan ketersediaan P dalam tanah dengan pemberian bahan organik meningkatkan pelepasan P yang tererap pada koloid

Tabel 5 Pengaruh jenis dan dosis bahan organik pada aktivitas enzim fosfatase ($\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{BK jam}^{-1}$)

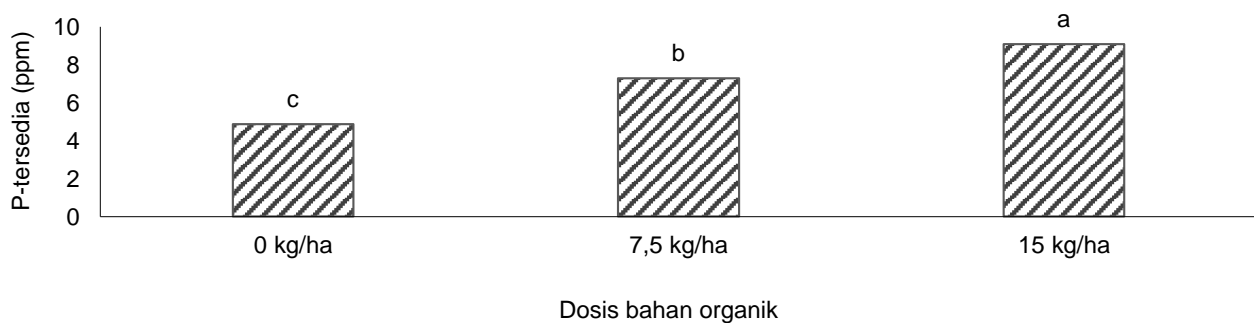
| Perlakuan | Dosis bahan organik | | | Rata-rata |
|------------------------|---------------------|-----------------|----------------|-----------|
| | 0 ton/ha (D0) | 7,5 ton/ha (D1) | 15 ton/ha (D2) | |
| Pupuk kandang ayam (A) | 4,76 bc | 18,08 a | 6,59 bc | 9,81 a |
| Jerami padi (J) | 4,75 bc | 6,99 b | 5,82 bc | 5,86 b |
| Jerami+K. sapi (P) | 4,75 bc | 6,91 b | 6,17 bc | 5,95 b |
| Legum (L) | 4,75 bc | 5,66 bc | 5,98 bc | 5,46 b |
| Pupuk kandang sapi (S) | 4,75 bc | 6,08 c | 4,13 c | 4,99 b |
| Rata-rata | 4,75 a | 8,74 b | 5,74 b | |

Keterangan: Angka rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama pada satu kolom tidak berbeda nyata dengan uji DMRT pada taraf uji $\alpha = 5 \%$.

Tabel 6 Pengaruh jenis dan dosis bahan organik pada P-tersedia tanah (ppm)

| Perlakuan | Dosis bahan organik | | | Rata-rata |
|------------------------|---------------------|-----------------|----------------|-----------|
| | 0 ton/ha (D0) | 7,5 ton/ha (D1) | 15 ton/ha (D2) | |
| Pupuk kandang ayam (A) | 4,91 e | 7,49 cd | 10,69 b | 7,69 b |
| Jerami padi (J) | 4,86 e | 6,38 cde | 5,58 de | 5,51 d |
| Jerami+K. sapi (P) | 4,88 e | 6,51 cde | 7,28 cde | 6,22 cd |
| Legum (L) | 4,86 e | 8,09 c | 14,27 a | 9,08 a |
| Pupuk kandang sapi (S) | 4,89 e | 7,97 c | 7,93 c | 6,93 bc |
| Rata-rata | 4,88 c | 7,29 b | 9,09 a | |

Keterangan: Angka rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama pada satu kolom tidak berbeda nyata dengan uji DMRT pada taraf uji $\alpha = 5 \%$.



Gambar 3 Pengaruh dosis bahan organik terhadap P-tersedia tanah. Huruf berbeda di atas grafik menunjukkan pengaruh antar perlakuan berbeda nyata dengan uji DMRT pada taraf uji $\alpha = 5 \%$.

tanah melalui persaingan antara P anorganik dan ligan organik hasil dekomposisi bahan organik, seperti asam humat. Asam humat merupakan bagian aktif dari bahan humat yang mengandung sejumlah besar muatan negatif (gugus karboksil dan hidroksil), yang bersaing kuat untuk menempati tapak-tapak jerapan Pi (Shen *et al.* 2011). Ketersediaan P dalam tanah dengan pemberian bahan tanaman legum atau pupuk kandang ayam dengan dosis setara 15 ton/ha (LD2 dan AD2) nyata meningkat dibandingkan dengan perlakuan interaksi lainnya.

KESIMPULAN

Jenis bahan organik berpengaruh nyata pada pH tanah, P-tersedia, dan aktivitas enzim fosfatase, sedangkan peningkatan dosis dari semua jenis bahan organik nyata meningkatkan pH tanah, P-tersedia tanah, dan aktivitas fosfatase, serta nyata menurunkan kandungan Al_{dd} tanah dibandingkan tanpa pemberian bahan organik. Secara umum pupuk kandang ayam menunjukkan aktivitas fosfatase tertinggi dan penurunan kandungan Al_{dd} tertinggi daripada jenis bahan organik lainnya (jerami padi, legum, dan pupuk kandang sapi), dan nyata meningkatkan P-tersedia dalam tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (BOPTN 2017) atas dukungan dana penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Araujo CL, Vihko PT. 2013. Structure of Acid Phosphatases. *Methods in Molecular Biology*. 1053: 155–166. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-562-0_11
- Balai Penelitian Tanah. 2006. Potensi lahan kering masam untuk pengembangan pertanian. *Warta Penelitian Pengembangan Pertanian*. 28(2): 16–17.
- Berezhetsky AL, Sosovska OF, Durrieu C, Chovelon JM, Dzyadevych SV, Tran-Minh C. 2008. Alkaline phosphatase conductometric biosensor for heavy-metal ions determination. *Intermediate-Range Ballistic Missile*. 29: 136–140. <https://doi.org/10.1016/j.rbmret.2007.12.007>
- Chan MD, Bouldin M, Cravo MS, Bowen W. 1993. Cation and nitrate leaching in an Oxisol of the Brazilian Amazon. *Agronomy Journal*. 85(2): 334–340. <https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500020032x>
- Cross AWH, Schlesinger. 1995: A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: applications to the bio-geochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma*. 64(3–4): 197–214. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(94\)00023-4](https://doi.org/10.1016/0016-7061(94)00023-4)
- Daniel RT, Wang X. 2016. Why are nitrogen concentration in plant tissues lower under elevated CO₂ ? A critical examination of the hypothesis. Biology Department and Environmental Studies Program, Southwestern University, 1001 East University Avenue, Georgetown TX 78626, USA.
- Djokosudarjo S. 1982. Pengaruh Pemberian Fosfor Terhadap Keefisienan Pemupukan Beberapa Macam Tanah di Indonesia. [Disertasi]. Bogor (ID) : Institut Pertanian Bogor.
- Harper SM, Edwards DG, Kerven GL, Asher CJ. 1995. Effects of organic acid fractions extracted from *Eucalyptus camaldulensis* leaves on root elongation of maize (*Zea mays*) in the presence and absence of aluminium. *Plant Soil*. 171: 189–192. <https://doi.org/10.1007/BF00009586>
- Heim A, Brunner I, Frossard E, Luster J. 2003. Aluminum effects on *Picea abies* at low solution concentrations. *Soil Science Society of America Journal*. 67: 895–898. <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.8950>
- Hinojosa MB, Carreira JA, Rodriguez-Moroto JM, Garcia-Ruiz R. 2008. Effects of pyrite sludge pollution on soil enzyme activities: Ecological dose-response model. *Science of The Total Environment*. 396: 89–99. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.02.014>
- Hue NV. 2011. Alleviating Soil Acidity With Crop Residues. *Soil Science*. 176(10). <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e31822b30f1>
- Hue NV. 1992. Correcting soil acidity of a highly weathered Ultisol with chicken manure and sewage sludge. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 23: 241–264. <https://doi.org/10.1080/00103629209368586>
- Kizilkaya R, Askin T, Bayraki B, Saglam M. 2004. Microbial characteristics of soil contaminated with heavy metals. *European Journal of Soil Biology*. 40: 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2004.10.002>
- Marschner H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd ed. London (GB): Academic Press.
- Martínez-Carballo E, González-Barreiro C, Scharf S, Gans O. 2007. Environmental monitoring study of selected veterinary antibiotics in animal manure and soils in Austria. *Environmental Pollution*. 148: 570–579. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.11.035>
- Masciandaro G, Ceccanti B, Benedicto S, Lee HC, Cook F. 2004. Enzyme activity and C and N pools in soil following application of mulches. *Canadian*

- Journal of Soil Science*. 84: 19–30. <https://doi.org/10.4141/S03-045>
- Miner GS, Tucker MR. 1990. Plant analysis as an aid in fertilizing tobacco. pp. 645-657. In: Westerman, R.L. (ed.). *Soil testing and plant analysis*. 3rd ed. Soil Science Society of America Book Ser. 3. SSSA, Madison, WI. <https://doi.org/10.2136/sssabookser3.3ed.c24>
- Ouni Y, Ghnaya T, Montemurro F, Abdelly CH, Lakhdar A. 2014. The role of humic substances in mitigating the harmful effects of soil salinity and improve plant productivity. *International Journal of Plant Production*. 8(3): 353–374.
- Sanchez-Monedero MA, Cegarra J, García D, Roig A. 2002. Chemical and structural evolution of humic acids during organic waste composting. *Biodegradation*. 13(6): 361–371. <https://doi.org/10.1023/A:1022888231982>
- Sumiahadi A, Acar R. 2019. Forage crops in acid soils of Indonesia. International Symposium for Environmental Science and Engineering Research (ISESER), Konya, Turkey, May 25–27 2019.
- Summer ME, Noble AD. 2003. Soil acidity: The world story. In: *Handbook of Soil Acidity*. Z. Rengel (ed.). Marcel Dekker Inc., New York, pp. 1–28.
- Tan KH. 2003. *Humic Matter in Soil and the Environment : Principles and Controversies*, Marcel Dekker, New York, NY, USA.
- Thomsen IK, Hansen JF, Kjellerup V, Christensen BT. 1993: Effects of cropping system and rates of nitrogen in animal slurry and mineral fertilizer on nitrate leaching from a sandy loam. *Soil Use Manage*. 9(2): 53–58. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1993.tb00929.x>
- Van Wambeke A. 1992. *Soils of the Tropics*. New York (US): McGraw-Hill.
- Ward J, Andersen MS, Appleyard BS, Clohessy S. 2010. Acidification and trace metal mobility in soil and shallow groundwater on the Gnangara Mound, Western Australia. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1–6 August 2010, Brisbane, Australia. 1–4.
- Wild A. 1988. Soil acidity and alkalinity. In: A. Wild (ed). *Russell's Soil Conditions and Plant Growth*, pp 844–889. Longman, Harlow
- USDA Natural Resources Conservation Service. 2014. Soil Quality Indicator: Potentially mineralizable nitrogen (PMN).