

Efektivitas Bahan Pembenh Tanah pada Dinamika Fosforus dengan Perunutan Isotop ^{32}P dan Hasil Jagung di Ultisol Jasinga

(Effectiveness of Soil Amendments on Phosphorus Dynamics using ^{32}P Isotope Tracing and Corn Yield on Ultisol in Jasinga)

Nur Robifahmi^{1*}, Muftia Hanani¹, Taufiq Bachtiar², Anggi Nico Flatian², Ania Citraresmini², Sudono Slamet¹

(Diterima Mei 2023/Disetujui Agustus 2024)

ABSTRAK

Pembenh tanah dapat mempercepat pemulihan kualitas tanah, baik fisik, kimia, dan/atau hayati tanah sehingga produktivitas tanah menjadi optimum. Teknik isotop ^{32}P berfungsi merinci kontribusi P yang berasal dari bahan pembenh tanah berupa kapur, biochar, dan kompos, serta mempelajari pengaruhnya pada efisiensi pemupukan P dan hasil tanaman jagung. Perlakuan penelitian meliputi kapur, biochar, kompos, serta kombinasi dari ketiga bahan tersebut. Parameter yang dianalisis adalah hasil tanaman jagung dan kontribusi P dari sumber P. Percobaan ini bertujuan menguji kemampuan bahan pembenh tanah dalam meningkatkan penyerapan P, pertumbuhan dan hasil tanaman jagung, serta mengukur sumbangan P yang berasal dari kapur, biochar, dan kompos pada tanaman jagung dengan menggunakan teknik isotop ^{32}P . Hasilnya menunjukkan bahwa kombinasi kapur 3 t ha^{-1} + biochar 15 t ha^{-1} + kompos 15 t ha^{-1} memberikan hasil tertinggi pada bobot biji, yaitu $45,942 \text{ g tanaman}^{-1}$; kontribusi P dari jenis bahan pembawa pada biji kombinasi kapur 3 t ha^{-1} + biochar 15 t ha^{-1} + kompos 15 t ha^{-1} adalah $44,945 \text{ mg tanaman}^{-1}$. Kombinasi pembenh tersebut dapat digunakan untuk meningkatkan ketersediaan P dan produksi tanaman jagung pada tanah Ultisol asal Jasinga, Bogor.

Kata kunci: bahan pembenh tanah, teknik perunut isotop ^{32}P , Ultisol

ABSTRACT

Soil conditioners can accelerate the recovery of soil physical, chemical, and/or biological quality, thus optimizing soil productivity. The ^{32}P isotope tracing technique was used to determine the contribution of P from soil amendments in the form of lime, biochar, and compost, as well as to study their effects on P fertilization efficiency and corn yield. The treatments included lime, biochar, compost, and combinations of these three materials. The parameters analyzed were corn yield and P contribution from P sources. This study aimed to evaluate the ability of soil amendments to increase P uptake, growth, and yield of corn, as well as to determine the P contribution from lime, biochar, and compost to corn plants using the ^{32}P isotope tracing technique. The results on Ultisol soil from Jasinga, Bogor, showed that the combination of 3 t ha^{-1} lime + 15 t ha^{-1} biochar + 15 t ha^{-1} compost resulted in the highest grain weight of $45.942 \text{ g plant}^{-1}$. The contribution of P from the carrier materials to the grain of the combination of 3 t ha^{-1} lime + 15 t ha^{-1} biochar + 15 t ha^{-1} compost was $44.945 \text{ mg plant}^{-1}$. In conclusion, the combination of these soil conditioners can increase P availability and corn production on Ultisol soil from Jasinga, Bogor.

Keywords: soil conditioner material, ^{32}P isotope tracer technique, Ultisol

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki luas daratan sekitar 191,09 juta ha yang terdiri atas berbagai jenis lahan, seperti lahan kering, lahan rawa, lahan basah non-rawa, permukiman, areal pertambangan, dan tubuh air. Lahan kering mendominasi dengan luas 144,47 juta ha

atau 76,20% dari total luas daratan Indonesia. Berdasarkan kemasaman tanah, sebagian besar lahan kering ini tergolong masam ($\text{pH} < 5,5$) dengan luas sekitar 107,36 juta ha (74,31%) (Sofyan *et al.* 2015).

Tanah Ultisol, salah satu jenis tanah masam yang banyak ditemukan di Indonesia, memiliki ciri-ciri seperti akumulasi liat di horizon bawah (argilik), kejenuhan basa kurang dari 35% pada kedalaman 180 cm dari muka tanah, pH masam (3,8 – 4,9), dan kondisi akuik selama sebagian waktu dalam tahun normal atau telah didrainase (Sarwono 2007; Syahputra & Fauzi 2015; Ye *et al.* 2020; Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian 2016). Tanah ini tergolong tua, telah tercuci intensif, memiliki lapisan atas tipis, kesuburan rendah, dan rentan degradasi (Subowo 2012). Untuk mengoptimalkan produktivitas

¹ Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi, Organisasi Riset Teknologi Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Gedung 90, Kompleks Nuklir Puspipetek, Jl. Puspipetek, Muncul, Tangerang Selatan 15314

² Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih, Organisasi Riset Hayati dan Lingkungan, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Kawasan Puspipetek Gd. 820, Serpong 15314

* Penulis Korespondensi: Email: nurr004@brin.go.id

tanaman pada lahan sub-optimal Ultisol, diperlukan berbagai upaya seperti pengelolaan air dan tanah yang efisien, menambah fosfat alami, aplikasi pupuk organik dan hayati, penggunaan varietas unggul adaptif, serta aplikasi bahan pembenah tanah.

Aplikasi bahan pembenah tanah menjadi tindakan penting dalam memperbaiki kualitas fisik, kimia, dan hayati tanah pada lahan sub-optimal, baik kering maupun basah. Pembenah tanah dapat bersifat alami maupun sintetik, dan dapat dibedakan berdasarkan senyawa atau unsur pembentuk utamanya, seperti pembenah tanah organik, hayati, dan mineral. Aplikasi pembenah tanah yang bersumber dari bahan organik dinilai efektif, terbarukan, *in situ*, relatif murah, dan dapat mendukung konservasi karbon dalam tanah (Dariah & Heryani 2017). Beberapa bahan pembenah tanah yang digunakan untuk memperbaiki lahan sub-optimal antara lain kapur pertanian, dolomit, bahan organik, dan biochar. Kombinasi bahan-bahan tersebut dipilih karena masing-masing memiliki fungsi dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, dan hayati tanah Ultisol. Aplikasi kapur pertanian atau dolomit dapat meningkatkan pH tanah dan mengurangi kandungan Al yang memfiksasi P (Kasno 2020; Atmaja *et al.* 2017). Bahan organik juga mampu meningkatkan pH tanah dengan mengikat logam Al^{3+} (Nariratih *et al.* 2019). Biochar ialah arang dari hasil proses pirolisis biomassa dalam kondisi lingkungan rendah oksigen atau tanpa oksigen sama sekali (Karhu *et al.* 2011), dapat digunakan sebagai bahan pembenah tanah organik yang mampu meningkatkan pH tanah dan hasil tanaman jagung manis (Teixeira *et al.* 2014; Kizito *et al.* 2019; Nurhidayati 2014). Berdasarkan penelitian Antonius *et al.* (2018), perlakuan kompos, pupuk organik hayati dan biochar berpengaruh nyata pada peningkatan aktivitas mikroorganisme tanah dalam bentuk total populasi bakteri, respirasi tanah, P-tersedia, pH, dan meningkatkan pertumbuhan bawang merah.

Untuk menentukan jenis bahan pembenah tanah yang paling efektif dalam meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman jagung pada tanah Ultisol Jasinga, penelitian ini menggunakan teknik isotop ^{32}P sebagai perunut (*tracer*) dalam mempelajari dinamika dan serapan fosforus yang berasal dari bahan pembenah tanah oleh tanaman jagung (Achat *et al.* 2014). Kombinasi bahan pembenah tanah seperti

kapur, biochar, kompos, dan pupuk NPK digunakan secara terpadu untuk mengoptimalkan kondisi tanah dan pertumbuhan tanaman. Penelitian ini bertujuan menentukan bahan pembenah tanah yang paling efektif dalam meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman jagung pada lahan Ultisol di Jasinga, Bogor.

METODE PENELITIAN

Alat-alat yang digunakan antara lain surveymeter, pencacah sintilasi cair (*liquid scintillation counter*, Beckman LS 6500), dan tungku (*furnace*, Pyrolab). Bahan yang digunakan terdiri atas: kapur, kompos komersial merek Pak Tani, *biochar*, pupuk urea (45,18% N) merek Petrokimia Gresik, pupuk SP 36 (36,38% P_2O_5), pupuk KCl (61,09% K_2O).

Rancangan Percobaan

Percobaan dilaksanakan di Laboratorium Pemupukan dan Nutrisi Tanaman, Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Pasar Jumat, Jakarta Selatan. Percobaan menggunakan rancangan acak lengkap dengan 10 perlakuan. Semua perlakuan diulang 3 kali sehingga terdapat 30 plot percobaan. Perlakuan yang diberikan mencakup kombinasi pemberian bahan pembenah tanah berupa kapur, biochar, kompos, dan pupuk NPK dengan dosis yang beragam (Tabel 1).

Persiapan Tanah

Tanah yang digunakan adalah jenis Ultisol Jasinga, diambil dari lokasi Kementan Pangaur, Jasinga, Bogor 16670. Sampel tanah diambil dari lapisan olah, yaitu pada kedalaman 0–20 cm. Tanah dimasukkan ke dalam pot, masing-masing 9 kg bobot kering udara (BKU) per pot.

Aplikasi Isotop ^{32}P

Penelitian ini menggunakan isotop ^{32}P dengan metode tidak langsung. Isotop ^{32}P dalam bentuk larutan $KH_2^{32}PO_4$ diaplikasikan pada setiap pot dengan aktivitas 460 μCi atau setara dengan nilai tertentu dalam satuan MBq (MegaBecquerel). Sebanyak 0,67 mL larutan isotop dipindahkan ke labu ukur 2 L. Dari labu ukur tersebut, larutan dipindahkan

Tabel 1 Perlakuan aplikasi bahan pembenah tanah dan pupuk NPK

Perlakuan
Kontrol tanah Jasinga tanpa NPK
Kontrol tanah Jasinga + NPK
Kapur 1,5 t ha ⁻¹ + NPK
Kapur 3 t ha ⁻¹ + NPK
Biochar 15 t ha ⁻¹ + NPK,
Kompos 15 t ha ⁻¹ + NPK
Kapur 1,5 t ha ⁻¹ + biochar 7,5 t ha ⁻¹ + kompos 7,5 t ha ⁻¹ + NPK
Kapur 3 t ha ⁻¹ + biochar 7,5 t ha ⁻¹ + kompos 7,5 t ha ⁻¹ + NPK
Kapur 1,5 t ha ⁻¹ + biochar 15 t ha ⁻¹ + kompos 15 t ha ⁻¹ + NPK
Kapur 3 t ha ⁻¹ + biochar 15 t ha ⁻¹ + kompos 15 t ha ⁻¹ + NPK

ke Erlenmeyer atau botol plastik berukuran 50 mL. Akuades 100 mL ditambahkan ke dalam larutan isotop, kemudian campuran larutan diaplikasikan ke dalam tanah dengan pengadukan merata kemudian diinkubasi selama 3 hari.

Penanaman Jagung

Sebanyak 4 benih tanaman jagung dimasukkan ke dalam lubang tanam, kemudian setelah umur 14 HST dipilih 2 tanaman yang seragam dalam setiap pot.

Pemupukan

Dosis pemupukan yang digunakan adalah 150 ppm N, 120 ppm P₂O₅, dan 100 ppm K₂O. N (urea), pupuk P (SP-36), dan pupuk K (KCl) diberikan pada semua perlakuan. Pupuk KCl, dan SP-36 diaplikasikan pada saat tanaman umur 7 HST, sedangkan urea diberikan secara bertahap, yaitu 50 ppm N pada saat 7 HST, 50 ppm N pada saat 30 HST, dan 50 ppm N pada saat 45 HST.

Pemanenan

Jagung dipanen pada fase generatif umur 120 HST. Parameter yang dianalisis meliputi hasil tanaman jagung (bobot biji dan brangkasan), aktivitas jenis ³²P, persentase dan jumlah P yang berasal dari pupuk (P_{bdp}), serta serapan P pada biji dan brangkasan jagung. Data dianalisis secara statistik menggunakan uji DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) pada taraf kesalahan 5% untuk melihat perbedaan antar-perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aplikasi bahan pembenah tanah mampu meningkatkan nilai pH (Tabel 2). Penelitian terdahulu (Vici *et al.* 2017; Herhandini *et al.* 2021) juga melaporkan bahwa aplikasi biochar dan bahan organik mampu meningkatkan nilai pH tanah. Nilai pH yang rendah pada kontrol, yakni 3,897, mencerminkan sifat alami tanah Ultisol. Sejumlah studi mutakhir mengungkap bahwa tanah Ultisol di Indonesia umumnya memiliki tingkat kemasaman yang tinggi, dengan pH di bawah 4,5. Melimpahnya ion hidrogen

(H⁺), ditambah dengan tingginya kandungan aluminium (Al) dan besi (Fe), menjadi faktor utama penyebab keasaman pada jenis tanah ini (Sukarman & Dariah 2018; Fitriatin *et al.* 2014; Dai *et al.* 2017). Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa tanah Ultisol pada dasarnya terkendala dalam hal kesuburan sehingga diperlukan upaya pengelolaan yang tepat untuk mengoptimalkan potensinya dalam bidang pertanian.

Perlakuan dengan aplikasi kompos 15 t ha⁻¹ meningkatkan pH tanah tertinggi, mencapai 4,853. Hal ini terjadi karena kompos mengandung bahan organik yang terdekomposisi dan melepaskan basa-basa terlarut seperti kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K), dan natrium (Na) (Oladele *et al.* 2019). Basa-basa tersebut bereaksi dengan ion hidrogen (H⁺) dalam tanah, menetralkan kemasaman tanah. Selain itu, kompos juga meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah sehingga tanah dapat mengikat lebih banyak kation basa (Diacono & Montemurro 2015).

Berdasarkan Tabel 2, perlakuan kontrol + NPK, kapur 1,5 t ha⁻¹, kapur 1,5 t ha⁻¹ + biochar 7,5 t ha⁻¹ + kompos 7,5 t ha⁻¹, kapur 3 t ha⁻¹ + biochar 7,5 t ha⁻¹ + kompos 7,5 t ha⁻¹, kapur 1,5 t ha⁻¹ + biochar 15 t ha⁻¹ + kompos 15 t ha⁻¹, dan kapur 3 t ha⁻¹ + biochar 15 t ha⁻¹ + kompos 15 t ha⁻¹ tidak menunjukkan perbedaan nyata dalam meningkatkan pH tanah Ultisol. Hal ini antara lain karena dosis amelioran yang diaplikasikan relatif rendah. Pada perlakuan kombinasi, dosis amelioran yang digunakan lebih rendah dibandingkan perlakuan tunggal sehingga kemampuan dalam menetralkan kemasaman tanah tidak jauh berbeda (Elfarisna *et al.* 2023; Sudratt & Faiyue 2023), mengingat karakteristik tanah ultisol yang sangat masam.

Tanah Ultisol memiliki tingkat kemasaman yang sangat tinggi sehingga respons tanah terhadap amelioran dengan dosis rendah tidak terlihat nyata (Syahputra *et al.* 2015), di samping waktu aplikasi yang relatif singkat. Penelitian ini hanya mengamati respons tanah terhadap perlakuan amelioran dalam waktu yang relatif singkat. Perubahan pH tanah yang nyata mungkin membutuhkan waktu yang lebih lama untuk dapat terlihat (Kabir *et al.* 2023). Oleh karena itu, pengamatan jangka panjang diperlukan untuk mengevaluasi efektivitas amelioran pada tanah Ultisol.

Tabel 2 Analisis pH tanah setelah aplikasi ke tanaman

Perlakuan	Rata-rata
Kontrol	3,897 A
Kontrol + NPK	4,267 B
Kapur 1,5 t ha ⁻¹	4,343 BC
Kapur 3 t ha ⁻¹	4,710 D
Biochar 15 t ha ⁻¹	4,323 BC
Kompos 15 t ha ⁻¹	4,853 D
Kapur 1,5 t/ha + biochar 7,5 t ha ⁻¹ + kompos 7,5 t ha ⁻¹	4,410 BC
Kapur 3 t/ha + biochar 7,5 t ha ⁻¹ + kompos 7,5 t ha ⁻¹	4,483 C
Kapur 1,5 t/ha + biochar 15 t ha ⁻¹ + kompos 15 t ha ⁻¹	4,350 BC
Kapur 3 t/ha + biochar 15 t ha ⁻¹ + kompos 15 t ha ⁻¹	4,480 C

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf kesalahan 5%.

Dinamika P di dalam Bobot Stover Tanaman Jagung

Bobot stover tertinggi dihasilkan dari perlakuan kapur 3 t ha⁻¹ + biochar 15 t ha⁻¹ + kompos 15 t ha⁻¹, yakni 65,534 g tanaman⁻¹ (Tabel 3). Perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan kontrol, tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan kontrol + NPK, kapur 1,5 t ha⁻¹, kapur 3 t ha⁻¹, biochar 15 t ha⁻¹, kompos 15 t ha⁻¹, kapur 1,5 t ha⁻¹ + biochar 7,5 t ha⁻¹ + kompos 7,5 t ha⁻¹, dan kapur 3 t ha⁻¹ + biochar 7,5 t ha⁻¹ + kompos 7,5 t ha⁻¹ berdasarkan uji DMRT pada taraf 5%. Hal ini disebabkan oleh kombinasi amelioran dengan dosis tinggi tersebut dapat memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah secara optimal sehingga mendukung pertumbuhan tanaman (Herman & Resigia 2018). Perbaikan sifat kimia tanah ditunjukkan dengan peningkatan pH tanah menjadi 4,480 pada perlakuan tersebut. Peningkatan pH tanah dapat meningkatkan ketersediaan P dalam tanah (Kadek *et al.* 2013). Selain itu, aktivitas jenis ³²P yang relatif tinggi (6357 Bq mg P⁻¹), persentase P-bdp yang cukup tinggi (18,748%), dan serapan P yang juga relatif tinggi (32,238 mg tanaman⁻¹) pada perlakuan ini menunjukkan bahwa aplikasi amelioran dapat meningkatkan ketersediaan dan serapan P oleh tanaman, yang akhirnya mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal.

Sebaliknya, bobot stover terendah terdapat pada perlakuan kontrol, yakni 16,542 g tanaman⁻¹. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya aplikasi amelioran, sehingga pertumbuhan tanaman terhambat akibat karakteristik tanah Ultisol yang masam dan miskin hara. Pada perlakuan kontrol, pH tanah yang sangat masam (3,897), dapat mengakibatkan ketersediaan P dalam tanah menjadi rendah karena adanya fiksasi P oleh Al dan Fe (Putri *et al.* 2017). Aktivitas jenis ³²P yang sangat tinggi (7805 Bq mg P⁻¹) pada perlakuan

kontrol menunjukkan rendahnya ketersediaan P dalam tanah, karena tidak ada pengenceran ³²P akibat tambahan sumber P lain dari amelioran (Flatian *et al.* 2018). Rendahnya ketersediaan P dalam tanah mengakibatkan rendahnya serapan P oleh tanaman (15,964 mg tanaman⁻¹) pada perlakuan kontrol. Hal ini sejalan dengan temuan Herhandini *et al.* (2021) bahwa aplikasi amelioran berupa biochar sekam padi dan kompos memberikan hasil bobot kering tanaman dan serapan P tanaman jagung yang secara nyata lebih tinggi daripada tanpa aplikasi amelioran (kontrol).

Dinamika P di dalam Bobot Biji Tanaman Jagung

Bobot biji tertinggi dihasilkan dari perlakuan kapur 3 t ha⁻¹ + biochar 15 t ha⁻¹ + kompos 15 t ha⁻¹, sebesar 45,942 g tanaman⁻¹ (Tabel 4). Perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan kontrol, kontrol + NPK, biochar 15 t ha⁻¹, dan kompos 15 t ha⁻¹, tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan kapur 1,5 t ha⁻¹, kapur 3 t ha⁻¹, kapur 1,5 t ha⁻¹ + biochar 7,5 t ha⁻¹ + kompos 7,5 t ha⁻¹, dan kapur 3 t ha⁻¹ + biochar 7,5 t ha⁻¹ + kompos 7,5 t ha⁻¹, berdasarkan uji DMRT pada taraf 5%.

Hal ini disebabkan oleh peningkatan bobot biji yang berkorelasi dengan beberapa faktor penting. Faktor-faktor tersebut meliputi peningkatan pH tanah (4,480), penurunan aktivitas jenis ³²P (2735 Bq mg P⁻¹) yang mengindikasikan tingginya ketersediaan P, peningkatan persentase P-bdp (64,238%), serta peningkatan serapan P (69,665 mg tanaman⁻¹) dari perlakuan yang diberikan. Rendahnya aktivitas jenis ³²P ini mengindikasikan terjadinya pengenceran ³²P yang tinggi dalam tanaman, yang merupakan konsekuensi dari meningkatnya ketersediaan P dalam tanah akibat aplikasi amelioran dengan dosis tinggi (Flatian *et al.* 2018). Kombinasi amelioran dengan dosis tinggi ini dapat memperbaiki sifat fisik, kimia, dan

Tabel 3 Dinamika P di dalam stover tanaman jagung umur 145 HST pada tanah Ultisol

Perlakuan	Aktivitas jenis ³² P (Bq mg P ⁻¹)	% P-bdp	P-bdp (mg tanaman ⁻¹)	Serapan P (mg tanaman ⁻¹)	Bobot stover (g tanaman ⁻¹)
Kontrol	7805 D	0 A	0 A	15,964 A	16,542 A
Kontrol + NPK	6068 CD	22,275 AB	7,800 AB	32,951 BC	59,355 BCD
Kapur 1,5 t ha ⁻¹	5341 BC	31,394 ABC	9,932 ABC	32,003 BC	57,064 BC
Kapur 3 t ha ⁻¹	5702 CD	26,386 ABC	9,471 ABC	35,202 BC	61,388 BCD
Biochar 15 t ha ⁻¹	4563 BC	41,114 BCD	16,192 BC	38,195 C	55,601 B
Kompos 15 t ha ⁻¹	4766 BC	37,881 BC	12,636 BC	32,932 BC	57,265 BCD
Kapur 1,5 t/ha + biochar 7,5 t ha ⁻¹ + kompos 7,5 t ha ⁻¹	5396 BC	30,385 ABC	10,338 BC	33,521 BC	59,845 BCD
Kapur 3 t ha ⁻¹ + biochar 7,5 t ha ⁻¹ + kompos 7,5 t ha ⁻¹	2215 A	70,274 D	20,889 C	29,914 B	64,936 CD
Kapur 1,5 t/ha + biochar 15 t ha ⁻¹ + kompos 15 t ha ⁻¹	3311 AB	56,747 CD	17,978 BC	31,781 BC	62,769 BCD
Kapur 3 t/ha + biochar 15 t ha ⁻¹ + kompos 15 t ha ⁻¹	6357 CD	18,748 AB	6,184 AB	32,238 BC	65,534 CD

Keterangan: (1) Pbdp = P berasal dari perlakuan, Pbdt = P berasal dari tanah. (2) Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf kesalahan 5%.

Tabel 4 Dinamika P di dalam biji tanaman jagung umur 145 HST pada tanah Ultisol

Perlakuan	Aktivitas jenis ³² P (Bq mg P ⁻¹)	% P-bdp	P-bdp (mg tanaman ⁻¹)	Serapan P (mg tanaman ⁻¹)	Bobot biji (g tanaman ⁻¹)
Kontrol	7805 E	0 A	0 A	0 A	0 A
Kontrol + NPK	4625 BCD	40,232 BC	23,414 BCD	57,614 BC	42,268 C
Kapur 1,5 t ha ⁻¹	4938 CD	35,632 B	21,062 BC	58,481 BC	39,419 BC
Kapur 3 t ha ⁻¹	5123 D	33,587 B	18,174 B	53,926 B	40,739 C
Biochar 15 t ha ⁻¹	4093 ABCD	47,534 BC	24,765 BCD	52,746 B	32,153 B
Kompos 15 t ha ⁻¹	3353 ABC	56,422 BC	31,491 BCDE	55,483 BC	40,256 BC
Kapur 1,5 t/ha + biochar 7,5 t ha ⁻¹ + kompos 7,5 t ha ⁻¹	4127 ABCD	46,451 BC	34,914 CDE	75,082 D	44,187 BC
Kapur 3 t/ha + biochar 7,5 t ha ⁻¹ + kompos 7,5 t ha ⁻¹	3270 AB	58,012 BC	37,816 DE	65,066 BCD	44,707 C
Kapur 1,5 t/ha + Biochar 15 t ha ⁻¹ + kompos 15 t ha ⁻¹	4062 ABCD	48,115 BC	27,469 BCD	56,666 BC	40,355 BC
Kapur 3 t ha ⁻¹ + biochar 15 t ha ⁻¹ + kompos 15 t ha ⁻¹	2735 A	64,238 C	44,945 E	69,665 CD	45,942 C

Keterangan: (1) Pbdp = P berasal dari perlakuan, Pbdt = P berasal dari tanah. (2) Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf kesalahan 5%.

biologi tanah secara optimal sehingga mendukung pertumbuhan dan hasil tanaman (Herman & Resigia 2018). Meningkatnya pH tanah akibat aplikasi kapur dapat meningkatkan ketersediaan P dalam tanah (Kadek *et al.* 2013), sedangkan biochar dan kompos berperan dalam meningkatkan KTK, memperbaiki struktur tanah, dan meningkatkan ketersediaan hara, termasuk P (Adhikari *et al.* 2024). Ketersediaan P yang tinggi akan meningkatkan serapan P oleh tanaman, yang selanjutnya akan mendukung peningkatan bobot biji. Hal ini sejalan dengan temuan Meena *et al.* (2013) bahwa aplikasi pupuk NPK dengan dosis 150-85-50 kg ha⁻¹ yang dikombinasikan dengan pupuk kandang 5 t ha⁻¹ dan inokulasi *Azotobacter* menghasilkan serapan P tertinggi, baik pada biji maupun brangkas tanaman jagung, dengan total serapan P mencapai 47 kg P ha⁻¹.

Sebaliknya, bobot biji terendah terdapat pada perlakuan kontrol yang juga memperlihatkan aktivitas jenis ³²P tertinggi (7805 Bq mg P⁻¹) yang menunjukkan rendahnya ketersediaan P, persentase P-bdp terendah (0%), dan serapan P terendah (0, mg tanaman⁻¹). Semakin banyak ³¹P yang diserap oleh tanaman akan mengakibatkan pengenceran ³²P di dalam tanaman (Robifahmi *et al.* 2020). Pelepasan P menjadi bentuk tersedia bagi tanaman akan menyebabkan penambahan ³¹P dan menyebabkan penurunan aktivitas jenis (³²P/³¹P) pada tanah berlabel isotop (Toro *et al.* 1997).

Rendahnya bobot biji ini disebabkan oleh tidak adanya aplikasi amelioran sehingga pertumbuhan dan hasil tanaman terhambat akibat tanah Ultisol yang masam dan miskin hara. Pada kondisi pH tanah yang sangat masam (3,897), ketersediaan P dalam tanah menjadi rendah karena adanya fiksasi P oleh Al dan Fe (Putri *et al.* 2017). Rendahnya ketersediaan P menyebabkan terhambatnya serapan P oleh tanaman,

yang pada akhirnya akan menghambat pembentukan biji. Hal ini sejalan dengan laporan Mahmood *et al.* (2017) bahwa perlakuan kontrol tanpa aplikasi amelioran menghasilkan hasil biji jagung paling rendah (2,1 mg ha⁻¹). Hasil ini lebih rendah dibandingkan perlakuan dengan amelioran, terutama kombinasi pupuk organik dan anorganik. Kombinasi pupuk NPK dosis 150-85-50 kg ha⁻¹ dengan 7 ton ha⁻¹ pupuk kandang ayam memberikan hasil biji tertinggi (4,3 mg ha⁻¹), meningkat 105,4% dari kontrol. Peningkatan ini terkait dengan peningkatan serapan hara, termasuk P, akibat aplikasi amelioran. Serapan P biji dan total serapan P tertinggi terdapat pada perlakuan kombinasi pupuk NPK dosis 150-85-50 kg ha⁻¹ dengan pupuk kandang ayam 7 ton ha⁻¹, masing-masing mencapai 20 kg P ha⁻¹ dan 47 kg P ha⁻¹, jauh lebih tinggi dibandingkan kontrol yang hanya 6 kg P ha⁻¹ dan 15 kg P ha⁻¹.

KESIMPULAN

Kombinasi kapur 3 t ha⁻¹ ditambah biochar 15 t ha⁻¹ + kompos 15 t ha⁻¹ memberikan hasil terbaik dalam meningkatkan produksi dan serapan P pada tanaman jagung yang ditanam di tanah Ultisol Jasinga. Perlakuan tersebut menghasilkan bobot biji tertinggi (45,942 g tanaman⁻¹) dan kontribusi P dari bahan pembenah tanah ke biji (44,945 mg tanaman⁻¹). Selain itu, kombinasi ini juga menghasilkan bobot brangkas tertinggi (65,534 g tanaman⁻¹) dan serapan P total tertinggi oleh tanaman (32,238 mg tanaman⁻¹). Aplikasi bahan pembenah tanah mampu meningkatkan pH tanah, ketersediaan P, serta serapan P oleh tanaman jagung daripada tanpa aplikasi pembenah tanah. Teknik isotop ³²P terbukti efektif untuk

mempelajari dinamika dan serapan P yang berasal dari bahan pembenah tanah oleh tanaman jagung. Kombinasi kapur, biochar, dan kompos dengan dosis tinggi mampu memperbaiki sifat fisik, kimia, dan hayati tanah Ultisol sehingga mendukung pertumbuhan dan hasil tanaman jagung yang optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada ORTN (Organisasi Riset Tenaga Nuklir) yang telah mendanai penelitian sehingga kegiatan ini dapat terlaksana dengan baik. Dukungan finansial yang diberikan memungkinkan kami untuk melakukan penelitian dengan menggunakan teknik isotop ^{32}P dalam mempelajari dinamika dan serapan fosforus dari berbagai bahan pembenah tanah pada tanaman jagung di tanah Ultisol Jasinga.

DAFTAR PUSTAKA

- Achat DL, Sperandio M, Daumer ML, Santellani AC, Prud'homme L, Akhtar M, Morel C. 2014. Plant-availability of phosphorus recycled from pig manures and dairy effluents as assessed by isotopic labeling techniques. *Geoderma*. 232–234: 24–33.
- Adhikari S, Moon E, Timms W. 2024. Identifying biochar production variables to maximise exchangeable cations and increase nutrient availability in soils. *Journal of Cleaner Production*. 446: 141–454.
- Atmaja T, Madjid M, Damanik B, Mukhlis. 2017. Pengaruh pemberian pupuk kandang ayam, pupuk hijau, dan kapur CaCO_3 pada tanah Ultisol terhadap pertumbuhan tanaman jagung. *Angewandte Chemie International Edition*. 6(11): 951–952.
- Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2016. *Kunci Taksonomi Tanah*. D Ritung, D Subardja, M Anda, H Bah, editor. Bogor (ID): Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Dai Z, Zhang X, Tang C, Muhammad N, Wu J, Brookes PC, Xu J. 2017. Potential role of biochars in decreasing soil acidification: A critical review. *Science of the Total Environment*. 581–582: 601–611. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.169>
- Dariah A, Heryani N. 2017. Pemberdayaan lahan kering suboptimal untuk mendukung kebijakan diversifikasi dan ketahanan pangan. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 8(3).
- Diacono M, Montemurro F. 2015. Effectiveness of organic wastes as fertilizers and amendments in salt-affected soils. *Agriculture*. 5(2): 221–230.
- Elfarisna, Rahmayuni E, Gustia H. 2023. Efek amelioran pada pertumbuhan dan produksi tanaman jagung manis. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 28(4): 660–666.
- Fitriatin BN, Yuniarti A, Turmuktini T, Ruswandi FK. 2014. The effect of phosphate solubilizing microbe producing growth regulators on soil phosphate, growth and yield of maize and fertilizer efficiency on Ultisol. *Eurasian Journal of Soil Science*. 3(2): 101.
- Flatian AN, Slamet S, Citraresmini A. 2018. Perunutan serapan fosfor (p) tanaman sorgum berasal dari 2 jenis pupuk yang berbeda menggunakan teknik isotop (^{32}P) phosphorus (P) uptake by sorghum plant derived from 2 types of p fertilizers traced by isotopic technique (^{32}P). *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*. 14(2): 109–116.
- Herhandini DA, Suntari R, Citraresmini A. 2021. Pengaruh aplikasi biochar sekam padi dan kompos terhadap sifat kimia tanah, pertumbuhan, dan serapan fosfor tanaman jagung pada Ultisol. *Jurnal Tanah Sumber Daya Lahan*. 8(2): 385–394.
- Herman W, Resigia E. 2018. Pemanfaatan biochar sekam dan kompos jerami padi terhadap pertumbuhan dan produksi padi (*Oryza sativa*) pada tanah ordo Ultisol. *Jurnal Ilmiah Pertanian*. 15(1): 42–50.
- Nariratih I, Damanik MMB, Sitanggang G. 2019. Ketersediaan nitrogen pada tiga jenis tanah akibat pemberian tiga bahan organik dan serapannya pada tanaman jagung. *Jurnal Online Agroekoteknologi*. 3(2): 479–488.
- Kabir E, Kim KH, Kwon EE. 2023. Biochar as a tool for the improvement of soil and environment. *Frontiers in Environmental Science* 11: 1–17.
- Karhu K, Mattila T, Bergström I, Regina K. 2011. Biochar Addition to agricultural soil increased CH_4 uptake and water holding capacity: Results from a short-term pilot field study. *Agric Ecosyst Environ*. 140(1–2): 309–313.
- Kasno A. 2020. Perbaikan tanah untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi pemupukan berimbang dan produktivitas lahan kering masam. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 13(1): 27–40.
- Kizito S, Luo H, Lu J, Bah H, Dong R, Wu S. 2019. Role of nutrient-enriched biochar as a soil amendment during maize growth: Exploring practical alternatives to recycle agricultural residuals and to reduce chemical fertilizer demand. *Sustainability*.
- Mahmood F, Shahzad T, Khan I, Ashraf U, Hussain S, Shahid M, Abid M, Ullah S. 2017. Effects of organic and inorganic manures on maize and their residual impact on soil physico-chemical properties. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 17(1): 22–32.

- Meena MD, Tiwari DD, Chaudhari SK, Biswas DR, Narjary B, Meena AL, Meena BL, Meena RB. 2013. Effect of biofertilizer and nutrient levels on yield and nutrient uptake by maize (*Zea mays* L.). *Annals of Agricultural and Biological Research*. 18(2): 176–181.
- Ni Kadek SD, Supadma AAN, Arthagama IDM. 2013. Pengaruh pemberian biourine dan dosis pupuk anorganik (N,P,K) terhadap beberapa sifat kimia tanah pegok dan hasil tanaman bayam (*Amaranthus* sp.). *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*. 2(3): 166–174.
- Nurhidayati M. 2014. Utilization of maize cob biochar and rice husk charcoal as soil amendments for improving acid soil fertility and productivity. *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 2(1): 223–230.
- Oladele SO, Adeyemo AJ, Awodun MA. 2019. Influence of Rice husk biochar and inorganic fertilizer on soil nutrients availability and rain-fed rice yield in two contrasting soils. *Geoderma*. 336: 1–11.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.08.025>.
- Putri VI, Mukhlis, Hidayat B. 2017. Pemberian beberapa jenis biochar untuk memperbaiki sifat kimia tanah Ultisol dan pertumbuhan tanaman jagung. *Agroekoteknologi*. 5(4): 824–828.
- Robifahmi N, Anas I, Setiadi Y, Ishak, Citraresmini A. 2020. The study of mycorrhiza ability in increasing P uptake, fertilizer efficiency and yield of sorghum on Latosol soils by using ³²P isotope technique. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*. 16(1): 48–58.
- Sarjiya A, Sahputra RD, Nuraini Y, Dewi TK. 2018. Manfaat pupuk organik hayati, kompos dan biochar pada pertumbuhan bawang merah dan pengaruhnya terhadap biokimia tanah pada percobaan pot menggunakan tanah Ultisol. *Jurnal Biologi Indonesia* 14(2): 243–250.
- Sarwono H. 2007. *Ilmu Tanah*. Jakarta (ID): Akademika Pressindo.
- Sofyan R, Suryani E, Subardja D, Sukarman, Nugroho K, Suparto, Hikmatullah, Mulyani A, Tafakresnanto C, Sulaeman Y, Subandiono RE, Wahyunto, Ponidi, Prasodjo N, Suryana U, Hidayat H, Priyono A, Supriatna W. 2015. *Sumber Daya Lahan Pertanian Indonesia*. Edisi ke-20. E Husen, F Agus, D Nursyamsi, editor. Jakarta (ID): IAARD Press.
- Subowo G. 2012. Pemberdayaan sumberdaya hayati tanah untuk rehabilitasi tanah Ultisol terdegradasi. *J Sumberd Lahan*. 6(2): 79–88.
- Sudratt N, Faiyue B. 2023. Biochar mitigates combined effects of soil salinity and saltwater intrusion on rice (*Oryza sativa* L.) by regulating ion uptake. *Agronomy*. 13(3): 815.
- Sukarman, Dariah A. 2018. *Tanah Andisol di Indonesia: Karakteristik, Potensi, Kendala, dan Pengelolaannya untuk Pertanian*. Bogor (ID): Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Syahputra E, Fauzi, Razali. 2015. Karakteristik sifat kimia sub grup tanah Ultisol di beberapa wilayah Sumatera Utara. *Jurnal Agroekoteknologi*. 4(1): 1796–1803.
- Teixeira WG, Steiner C, Martins GC, Arruda MR. 2014. Charcoal (biochar) as soil conditioner to enhance fertilizers and water use efficiency in agriculture in acid tropical soils in the Central Amazon Basin. Dalam: World Fertilizer Congress of CIEC. Rio de Janeiro: CIEC. hlm. 346-349.
- Toro M, Azcon R, Barea J. 1997. Improvement of Arbuscular mycorrhiza development by inoculation of soil with phosphate-solubilizing rhizobacteria to improve rock phosphate bioavailability (³²P) and nutrient cycling. *Applied and Environmental Microbiology*. 63(11): 4408–4412.
- Vici IP, Mukhlis, Hidayat B. 2017. Pemberian beberapa jenis biochar untuk memperbaiki sifat kimia tanah Ultisol dan pertumbuhan tanaman jagung. *Agroekoteknologi*. 5(4): 824–828.
- Ye G, Lin Y, Luo J, Di HJ, Lindsey S, Liu D, Fan J, Ding W. 2020. Responses of soil fungal diversity and community composition to long-term fertilization: Field experiment in an acidic Ultisol and literature synthesis. *Applied Soil Ecology*. 145: 1–12.