

PENGARUH KOMBINASI KOMPOS DAN *Trichoderma* sp. TERHADAP PELEPASAN FOSFOR TERSEDIA PADA BEBERAPA JENIS TANAH

EFFECT OF COMBINATION OF COMPOSES AND Trichoderma sp. ON PHOSPHOR RELEASE ON SOME TYPES OF SOILS

Ainur Risma Miftakhul Maghfiroh, Maroeto*, Moch. Arifin, Fitri Wijayanti, dan Safira Rizka Lestari

Fakultas Pertanian, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

* Corresponding Author. E-mail address: maroeto@upnjatim.ac.id

ARTICLE HISTORY:

Received: 27 May 2024

Peer Review: 14 July 2024

Accepted: 18 November 2025

KATA KUNCI:

Jenis tanah, kompos, P-terseedia, *Trichoderma* sp.

KEYWORDS:

Compost, P-availability, soil types, *Trichoderma* sp.

ABSTRAK

Fosfor (P) merupakan salah satu unsur hara esensial yang ketersediaannya dapat ditingkatkan melalui penambahan kompos dan *Trichoderma* sp. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kompos dan *Trichoderma* sp. pada peningkatan unsur P pada jenis tanah Alfisol, Inceptisol, dan Vertisol. Penelitian dilaksanakan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 2 faktor. Faktor pertama yaitu dosis kompos dengan empat taraf 0 ton ha⁻¹ atau tanpa kompos, 10 ton ha⁻¹, 20 ton ha⁻¹, dan 30 ton ha⁻¹. Faktor kedua yaitu konsentrasi *Trichoderma* sp. dengan empat taraf, 0 CFU ml⁻¹, 10⁶ CFU ml⁻¹, 10⁸ CFU ml⁻¹, dan 10¹⁰ CFU ml⁻¹. Kompos dan *Trichoderma* sp. mampu meningkatkan kandungan P tersedia masing-masing jenis tanah.

ABSTRACT

Phosphorus (P) is one of the essential nutrients whose availability can be increased by adding compost and *Trichoderma* sp. This study aimed to evaluate the effect of the Compost and *Trichoderma* sp. on the increase of P in Alfisol, Inceptisol, and Vertisol. The research was conducted using a completely randomized design (CRD) with 2 factors. The first factor was compost dosage with four levels: 0 tons ha⁻¹ or no compost, 10 tons ha⁻¹, 20 tons ha⁻¹, and 30 tons ha⁻¹. The second factor was the concentration of *Trichoderma* sp. with four levels: 0 CFU ml⁻¹, 10⁶ CFU ml⁻¹, 10⁸ CFU ml⁻¹, and 10¹⁰ CFU ml⁻¹. Compost and *Trichoderma* sp. was able to increased available P content of each soil type.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan produktivitas tanaman perlu ditingkatkan seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk. Salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan dalam meningkatkan produktivitas tanaman yakni optimalisasi ketersediaan unsur hara. Menurut Hasan *et al.*, (2016) fosfor merupakan unsur hara makro esensial yang berperan penting dalam pembentukan asam nukleat, metabolisme energi, serta berbagai proses fisiologis dan biologis selama pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Namun demikian, ketersediaan fosfor di dalam tanah sering kali rendah, baik akibat terbatasnya fraksi fosfor yang dapat diserap tanaman maupun adanya faktor lingkungan yang memengaruhi tingkat ketersediaannya. Oleh sebab itu, diperlukan penambahan bahan organik sebagai sumber fosfor serta pemanfaatan mikroorganisme yang mampu meningkatkan pelepasan fosfor sehingga dapat dimanfaatkan tanaman secara lebih optimal.

Kompos merupakan bahan organik yang berperan dalam memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah serta meningkatkan ketersediaan unsur hara, termasuk fosfor, bagi tanaman. Menurut Hapsoh *et al.*, (2019) pemberian pupuk organik seperti kompos ke dalam tanah mampu meningkatkan ketersediaan fosfor yang berperan dalam pembentukan bunga dan pemasakan buah. Salah satu cara untuk mempercepat pelepasan P pada bahan organik yakni dengan menambahkan mikroorganisme yang berkemampuan untuk mempercepat proses dekomposisi, salah satunya yakni *Trichoderma* sp. Mikroorganisme yang dapat digunakan untuk membantu pelepasan P adalah jenis pelarut fosfat, misalnya dengan aplikasi *Trichoderma* sp. (Gayo *et al.*, 2017 dan Pane *et al.*, 2022).

Pupuk organik dengan tambahan *Trichoderma* sp. telah digunakan untuk mempertahankan hasil panen yang stabil dengan mengurangi penggunaan pupuk kimia, karena pengaruhnya dalam memperbaiki mikrobiota tanah dan meningkatkan ketersediaan hara tanah (Pang *et al.*, 2017). Berdasarkan penelitian Busato *et al.*, (2021) inokulasi kombinasi *Trichoderma asperellum* dan *T. virens* pada vermikompos yang diperkaya fosfat alam terbukti mempercepat stabilisasi bahan organik serta meningkatkan kandungan asam humat dan fosfor tersedia, sehingga meningkatkan kualitas hara vermikompos dan berpotensi mengurangi ketergantungan pertanian pada pupuk fosfat anorganik. Perlakuan tanah dengan pemberian *Trichoderma* sp. cenderung meningkatkan ketersediaan P, hal tersebut dapat menyuplai ketersediaan P dalam larutan tanah karena dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme tanah dan menghasilkan P anorganik dari hasil mineralisasi mikroba (Savira & Indrawati, 2024)

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh kombinasi pemberian kompos dan *Trichoderma* sp. terhadap pelepasan fosfor tersedia (P-tersedia) pada masing-masing jenis tanah.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2022 hingga Januari 2023 di rumah kaca serta Laboratorium Sumber Daya Lahan, Fakultas Pertanian, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.

2.2. Metode Penelitian

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial yang melibatkan dua faktor perlakuan. Faktor pertama adalah dosis kompos yang terdiri atas empat taraf, yaitu K1 (0 ton ha⁻¹ atau tanpa kompos), K2 (10 ton ha⁻¹), K3 (20 ton ha⁻¹), dan K4 (30 ton ha⁻¹). Faktor kedua adalah konsentrasi *Trichoderma* sp. dengan empat taraf, yaitu T1 (0 CFU ml⁻¹), T2 (10⁶ CFU ml⁻¹), T3 (10⁸ CFU ml⁻¹), dan T4 (10¹⁰ CFU ml⁻¹).

Kombinasi kedua faktor menghasilkan 16 perlakuan yang masing-masing diulang sebanyak tiga kali, sehingga diperoleh total 144 unit percobaan. Pengambilan sampel tanah dilakukan sebanyak empat kali selama 56 hari masa inkubasi dengan interval dua minggu. Sampel tanah selanjutnya dianalisis di laboratorium untuk menentukan kadar P-tersedia menggunakan metode Olsen dan Bray.

2.3 Persiapan Sampel Tanah

Tanah pada penelitian merupakan tiga jenis tanah yang terdiri dari Alfisol (Kabupaten Tuban), Inceptisol (Kabupaten Malang), dan Vertisol (Kabupaten Mojokerto). Sampel tanah diambil pada kedalaman 0–30 cm. Tanah selanjutnya dikeringanginkan, dihancurkan, dan diayak menggunakan ayakan berukuran 2 mm, kemudian dihomogenkan hingga tercampur merata. Tanah dimasukkan polybag ukuran 20×20 cm dengan berat 4,4 kg.

2.4 Penyediaan *Trichoderma* sp. dan Kompos

Trichoderma sp. dibuat dengan memperbanyak biang *Trichoderma* sp. murni menggunakan ekstrak kentang gula. Biang murni *Trichoderma* sp. diperoleh dari Laboratorium Mikrobiologi, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur. Kompos yang digunakan berasal dari sisa tanaman kompos dan merupakan produk kompos dari Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.

2.5 Persiapan Kombinasi Media

Media tanam disiapkan dengan cara mencampur *Trichoderma* sp. dan kompos dan dicampur rata sesuai kombinasi perlakuan. Kombinasi tersebut kemudian dicampur secara merata dengan tanah yang telah ditimbang dicampur rata pada baskom besar. Tanah yang telah ditimbang dituang dalam baskom besar, kemudian ditambahkan perlakuan dan dicampur rata. Tanah yang telah dicampur dengan perlakuan dimasukkan dalam polybag kembali.

2.6 Analisis Data

Data yang diperoleh selanjutnya ditabulasi dan dianalisis menggunakan uji analisis sidik ragam (ANOVA) pada taraf nyata 5%. Apabila hasil analisis menunjukkan adanya pengaruh perlakuan yang berbeda nyata, maka pengujian dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf 5% untuk mengetahui perbedaan pengaruh antarperlakuan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dasar dari tanah, kompos, dan *Trichoderma* sp. tertera pada Tabel 1. Hasil tersebut menunjukkan tanah Alfisol memiliki pH netral (7,18), kandungan C-organik rendah (1,10%), dan P-tersedia (Olsen) sangat tinggi (357,51 ppm). Tanah Inceptisol memiliki pH agak masam (5,92), kandungan C-organik sedang (2,45%) dan P-tersedia (Olsen) sangat tinggi (21,57 ppm). Tanah Vertisol memiliki pH netral (6,94), kandungan C-organik rendah (1,43%), dan P-tersedia (Olsen) sangat tinggi (116,07 ppm).

Tabel 1. Hasil Analisa Dasar Tanah, Kompos, dan *Trichoderma* sp.

No.	Analisis Dasar	Parameter						
		pH	Ket	C (%)	Ket	P (ppm)	Ket	Kerapatan Spora (CFU ml ⁻¹)
1.	Jenis tanah							
	Alfisol	7,18	N	1,10	R	357,51	ST	-
	Inceptisol	5,92	AM	2,45	S	21,57	ST	-
	Vertisol	6,94	N	1,43	R	116,07	ST	-
2.	Kompos	6,92	-	12,10	-	3,59	-	-
3.	<i>Trichoderma</i> sp.	-	-	-	-	-	-	19,5 × 10 ¹⁵

Keterangan : kriteria bersumber dari Balai Penelitian Tanah (2023), N = Netral, AM = Agak masam, R = Rendah, ST = Sangat Tinggi, S = Sedang.

Kadar P-tersedia pada setiap jenis tanah yang diamati termasuk dalam kategori sangat tinggi. Hal ini disebabkan oleh penggunaan lahan yang produktif sebagai lokasi pengambilan sampel, di mana pemberian pupuk dilakukan secara rutin setiap tahunnya, baik berupa pupuk organik maupun anorganik. Pupuk anorganik yang umumnya diaplikasikan pada lahan tersebut meliputi TSP dan Phonska, sementara pupuk organik yang digunakan berupa pupuk kandang dengan dosis dan waktu pemberian yang tidak menentu setiap tahunnya. Hal tersebut selaras dengan pendapat (Annisa, *et al.*, 2022) bahwa kadar hara rendah hingga tinggi tergantung dari tingkat pengolahan lahan. Tanah dengan kandungan P-tinggi biasanya dikelola secara intensif Nursyamsi and Setyorini, (2009). Pemberian pupuk fosfor yang berlebihan hingga melebihi kebutuhan tanaman dan tanah, tidak hanya berakibat pada gagalnya tujuan mempertahankan peningkatan produksi, tetapi menyebabkan akumulasi fosfor di dalam tanah, serta meningkatkan potensi kehilangan fosfor (Liao *et al.*, 2017 dan Wang *et al.*, 2015).

Hasil analisa laboratorium pengaruh pemberian kompos dan *Trichoderma* sp. pada tanah Alfisol terdapat pada Tabel 2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tanah Alfisol, nilai P-tersedia tertinggi terdapat pada perlakuan kombinasi K4T4, yang merupakan aplikasi kompos 30 ton ha⁻¹ dan *Trichoderma* sp. sebesar 10¹⁰ CFU ml⁻¹ dengan nilai mencapai 514,74 ppm setelah 14 hari inkubasi. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian kompos dan *Trichoderma* sp. efektif dalam meningkatkan kadar P-tersedia, meskipun sebelumnya kandungan P-tersedia sudah cukup tinggi. Kadar P-tersedia terendah pada tanah Alfisol terdapat pada perlakuan K2T3 yakni kompos 10 ton ha⁻¹ dan *Trichoderma* sp. 10⁸ CFU ml⁻¹ yang mencapai 289,55 ppm pada 28 hari inkubasi.

Kandungan P-tersedia yang sangat tinggi pada tanah Alfisol sebelum perlakuan dikarenakan tanah yang digunakan diambil dari lahan produktif. Selain itu, lahan yang digunakan telah diaplikasikan pupuk kandang kotoran kambing dan kotoran ayam dengan jumlah dan waktu aplikasi yang tidak menentu. Kondisi tanah dengan pH netral cenderung meningkatkan ketersediaan fosfor (P) bagi tanaman. Menurut Rajmi *et al.*, (2018) kondisi tanah dengan pH netral dapat meningkatkan ketersediaan fosfor karena aktivitas enzim fosfatase yang berperan dalam menurunkan fiksasi aluminium (Al). Pada kondisi tersebut, Al cenderung mengendap di dalam tanah, sehingga tanah didominasi oleh kation-kation basa yang berkontribusi terhadap peningkatan pH. Keadaan ini memungkinkan enzim fosfatase melepaskan ikatan antara Al dan fosfor, sehingga fosfor menjadi lebih tersedia bagi tanaman. Sedangkan pada tanah dengan kondisi pH masam, unsur hara seperti fosfat akan terfiksasi dalam bentuk AlPO₄ dan FePO₄ yang tidak dapat diserap oleh akar, sehingga tidak tersedia oleh tanaman (Kannan *et al.*, 2021).

Tabel 2. Pengaruh Kompos dan *Trichoderma* sp. terhadap Ketersediaan Fosfor (P) pada Tanah Alfisol (ppm).

Kombinasi	14 HMI	28 HMI	42 HMI	56 HMI
K1T1	489,25 ab	320,66 abcd	365,95	349,19
K1T2	475,27 ab	298,99 bcd	364,15	330,26
K1T3	474,48 ab	294,62 cd	363,55	339,10
K1T4	461,13 abc	307,93 abcd	363,02	326,49
K2T1	383,42 de	296,12 cd	361,54	339,76
K2T2	391,63 cde	316,26 abcd	358,46	342,84
K2T3	375,69 e	289,55 d	355,60	347,56
K2T4	380,18 de	314,88 abcd	349,72	338,69
K3T1	448,65 abcd	324,08 abc	348,24	402,48
K3T2	418,97 bcde	310,44 abcd	345,00	418,62
K3T3	488,57 ab	320,11 abcd	344,34	421,40
K3T4	445,77 abcde	337,03 a	341,55	383,43
K4T1	490,94 ab	328,83 ab	335,92	403,02
K4T2	401,33 cde	324,38 abc	334,65	423,71
K4T3	497,88 a	313,10 abcd	330,78	404,87
K4T4	514,74 a	334,74 a	328,83	425,80
BNJ 5%	103,01	45,19	TN	TN

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf uji 5%, TN (tidak nyata), HMI (hari masa inkubasi).

Kombinasi kompos dan *Trichoderma* sp. pada P-tersedia terhadap tanah Alfisol berpengaruh pada masa inkubasi 14 dan 28 hari, serta tidak berpengaruh pada 42 dan 56 hari masa inkubasi. Kondisi tersebut diduga pada tahap awal inkubasi aktivitas *Trichoderma* sp. dan dekomposisi bahan organik masih tinggi, sehingga ketersediaan P meningkat. Pemberian kompos dan *Trichoderma* sp. pada 42 dan 56 hari masa inkubasi tidak berpengaruh terhadap P-tersedia diduga karena laju mineralisasi yang menurun dan sebagian fosfor mengalami fiksasi oleh mineral tanah. Hal tersebut menyebabkan perbedaan antar perlakuan tidak terlihat signifikan. Kondisi penurunan kadar P-tersedia seiring bertambahnya waktu inkubasi sesuai dengan penelitian Amin (2025) bahwa peningkatan P tersedia dengan penambahan arang tulang terjadi pada 7, 16, dan 35 hari masa inkubasi dan ketersediaan P menurun seiring bertambahnya waktu inkubasi. Hasil penelitian Deraoui, *et al.*, (2015) menunjukkan penambahan pupuk P meningkatkan kandungan P-tersedia pada 15 hari awal masa inkubasi dan terus menurun seiring bertambahnya waktu inkubasi.

Penambahan kompos dan *Trichoderma* sp. pada tanah Alfisol meningkatkan kandungan P-tersedia, meskipun kandungan P-tersedia tanah sebelum perlakuan sudah sangat tinggi. Kandungan P-tersedia tanah Alfisol Jawa Timur 60% tinggi dan 40% rendah. Status unsur hara P pada Alfisol Tuban termasuk tinggi dengan nilai 36-86 ppm (Taufiq, 2001). Pemberian *Trichoderma* sp. yang dikombinasikan dengan kompos mampu meningkatkan kandungan P-tersedia pada tanah, dengan cara mengubah fosfor yang sebelumnya tidak tersedia bagi tanaman menjadi fosfor tersedia (Pane, *et al.*, 2022). Hal tersebut membuktikan bahwa pemberian mikroba pelarut fosfat berpengaruh dalam peningkatan kadar P tanah.

Hasil analisis laboratorium terhadap pengaruh pemberian kompos dan *Trichoderma* sp. pada tanah Inceptisol disajikan pada Tabel 3. Kandungan fosfor tersedia tertinggi pada tanah Inceptisol diperoleh pada perlakuan K4T2, yaitu kombinasi kompos 30 ton ha⁻¹ dan *Trichoderma* sp. dengan konsentrasi 10⁶ CFU ml⁻¹, yang mencapai 129,36 ppm pada 14 hari masa inkubasi. Sebaliknya, kandungan P-tersedia terendah terdapat pada perlakuan K1T4, yakni tanpa pemberian kompos dan aplikasi *Trichoderma* sp. sebesar 10¹⁰ CFU ml⁻¹, dengan nilai 10,11 ppm pada 14 hari inkubasi. Secara umum, pemberian kombinasi kompos dan *Trichoderma* sp. pada tanah Inceptisol menyebabkan

terjadinya dinamika kandungan P-tersedia yang ditandai oleh peningkatan dan penurunan selama periode inkubasi.

Kandungan P-tersedia pada tanah Inceptisol meningkat signifikan karena pH tanah yang berkategori agak masam. Metabolisme *Trichoderma* sp. berjalan baik pada pH masam, sehingga lebih terpacu dalam mendekomposisi bahan organik yang menyebabkan pelepasan P menjadi lebih optimal. Jamur lebih menyukai pH rendah dan optimumnya berkisar antara 4 – 6 (Uruilal et al., 2018). Selain itu kandungan C-organik pada Inceptisol sebelum perlakuan bernilai 2,45% dengan harkat sedang, sehingga pemberian kompos pada perlakuan akan meningkatkan kandungan bahan organik dalam menyuplai ketersediaan P.

Berdasarkan hasil analisa laboratorium, kandungan P-tersedia pada analisa dasar tanah Inceptisol sebelum perlakuan menunjukkan nilai 21,57 ppm dan selama masa inkubasi kandungan P-tersedia menunjukkan peningkatan dan penurunan. Nilai P-tersedia cenderung rendah setelah pemberian kompos dan *Trichoderma* sp. pada perlakuan K1T1 hingga K2T2 di 14 hari masa inkubasi dan mulai meningkat pada 28 hari masa inkubasi. Nilai P-tersedia pada perlakuan K2T3 hingga K4T4, mengalami peningkatan pada 14 hari masa inkubasi dan kemudian menurun pada 28, 42, dan 56 hari masa inkubasi.

Kondisi penurunan kandungan P-tersedia tanah Inceptisol pada perlakuan K1T1 hingga K2T2 di awal masa inkubasi diduga karena ketersediaan sumber energi dari bahan organik belum cukup terdekomposisi, sehingga P yang tersedia digunakan oleh mikroba untuk pertumbuhan awal sel dan menyebabkan penurunan ketersediaan P tanah. Ketersediaan P meningkat kembali setelah bahan organik mengalami dekomposisi lanjut dan aktivitas *Trichoderma* sp. menghasilkan asam organik untuk melarutkan P terikat. Mikroba tanah secara agresif mengambil P pada tanah tanpa pupuk fosfor (Bünemann et al., 2012). Menurut Fan et al., (2018) mikroorganisme berkontribusi 68-78 % dari total P dalam biomasa dengan cara mengakumulasi dan mentransformasi P. Biomassa mikroba akan menyimpan P sementara, yang kemudian dapat mengalami mineralisasi dalam bentuk P tersedia bagi tanaman (Zhang et al., 2018 dan Cheng et al., 2023).

Tabel 3. Pengaruh Kompos dan *Trichoderma* sp. terhadap Ketersediaan Fosfor (P) pada Tanah Inceptisol (ppm).

Kombinasi	14 HMI	28 HMI	42 HMI	56 HMI
K1T1	11,97 fg	58,66 cdef	64,75 cde	67,85 def
K1T2	10,89 fg	60,52 cd	60,18 ef	63,99 defgh
K1T3	10,33 fg	59,60 cde	64,94 cde	74,60 cde
K1T4	10,11 g	61,69 c	63,23 de	62,04 efghi
K2T1	13,61 efg	76,67 ab	53,84 fg	83,61 bc
K2T2	15,03 g	41,60 h	50,96 fg	52,31 hi
K2T3	46,09 de	51,06 fg	50,21 g	50,43 i
K2T4	61,90 cd	58,42 cdef	80,06 b	62,87 defghi
K3T1	44,26 def	48,83 gh	56,02 efg	54,71 ghi
K3T2	81,70 bc	52,43 efg	40,29 h	55,17 fghi
K3T3	31,13 defg	33,77 i	38,60 h	65,05 defgh
K3T4	54,88 cd	53,49 defg	72,56 bcd	66,63 defg
K4T1	122,53 a	73,41 b	96,61 a	89,93 ab
K4T2	129,36 a	84,23 a	96,27 a	98,82 a
K4T3	97,58 ab	61,72 c	73,50 bc	75,22 cd
K4T4	98,34 ab	64,10 c	81,79 b	82,35 bc
BNJ 5%	48,29	10,95	13,26	18,31

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf uji 5%, TN (tidak nyata), HMI (hari masa inkubasi).

Tabel 4. Pengaruh Kompos dan *Trichoderma* sp. terhadap Ketersediaan Fosfor (P) pada Tanah Vertisol (ppm).

Kombinasi	14 HMI	28 HMI	42 HMI	56 HMI
K1T1	96,97 ^c	96,28 ^{de}	114,18 ^{bcd}	94,31 ^{ef}
K1T2	100,81 ^{bc}	100,89 ^{cd}	114,63 ^{abcd}	106,42 ^{bcde}
K1T3	99,59 ^c	86,50 ^e	115,04 ^{abcd}	88,01 ^f
K1T4	144,73 ^{ab}	110,00 ^{bc}	133,14 ^{ab}	108,31 ^{bc}
K2T1	95,36 ^c	84,08 ^e	117,26 ^{abcd}	95,09 ^{def}
K2T2	107,86 ^{abc}	114,16 ^{bc}	135,08 ^{ab}	108,94 ^{bc}
K2T3	116,28 ^{abc}	104,32 ^{bcd}	135,70 ^a	115,80 ^{ab}
K2T4	92,09 ^c	85,69 ^e	120,79 ^{abcd}	92,05 ^f
K3T1	93,10 ^c	108,33 ^{bcd}	115,62 ^{abcd}	99,96 ^{cdef}
K3T2	120,29 ^{abc}	114,85 ^b	110,02 ^{cd}	111,42 ^{bc}
K3T3	77,37 ^c	102,76 ^{bcd}	102,60 ^d	94,78 ^{def}
K3T4	101,32 ^{bc}	114,57 ^b	121,62 ^{abcd}	117,12 ^{ab}
K4T1	116,26 ^{abc}	106,83 ^{bcd}	109,73 ^{cd}	107,79 ^{bcd}
K4T2	152,37 ^a	133,07 ^a	125,33 ^{abc}	125,91 ^a
K4T3	79,11 ^c	108,20 ^{bcd}	106,73 ^{cd}	98,87 ^{cdef}
K4T4	81,45 ^c	103,45 ^{bcd}	103,79 ^d	98,34 ^{cdef}
BNJ 5%	63,57	19,04	30,01	18,70

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf uji 5%, TN (tidak nyata), HMI (hari masa inkubasi).

Hasil analisa laboratorium pengaruh pemberian kompos dan *Trichoderma* sp. pada tanah Vertisol terdapat pada Tabel 4. Pada tanah Vertisol kandungan P-tersedia tertinggi terdapat pada kombinasi kompos 30 ton ha⁻¹ + *Trichoderma* sp. 10⁶ CFU ml⁻¹ (K4T2) mencapai 152,37 ppm di 14 hari masa inkubasi. Sedangkan kadar P-tersedia terendah pada tanah Vertisol terdapat pada perlakuan K3T3 yakni kompos 20 ton ha⁻¹ dan *Trichoderma* sp. 10⁸ CFU ml⁻¹ yang mencapai 77,37 ppm pada 14 hari masa inkubasi. Kombinasi terbaik untuk meningkatkan P-tersedia pada tanah Vertisol terdapat pada perlakuan K4T2, yakni kompos 30 ton ha⁻¹ + *Trichoderma* sp. 10⁶ CFU ml⁻¹ yang secara konsisten memberikan hasil paling tinggi di 14, 28, dan 56 hari masa inkubasi dengan nilai masing-masing 152,37 ppm, 133,07 ppm dan 125,01 ppm.

Pada tanah Vertisol pelepasan P-tersedia cenderung lebih rendah dibandingkan tanah Alfisol yang semula 357,51 ppm menjadi 514,74 ppm dan Inceptisol yang semula 21,57 ppm menjadi 129,36 ppm. Hal tersebut diduga karakteristik fisik tanah Vertisol yang memiliki drainase yang buruk, sehingga berpengaruh terhadap metabolisme mikroorganisme. Tanah dengan drainase yang buruk menyebabkan pori-pori tanah terisi oleh air, sehingga ruang yang biasanya terisi oksigen akan tereduksi atau bahkan tergantikan oleh air. Hal tersebut akan menyebabkan kondisi anaerobic dimana ketersediaan oksigen sangat rendah. Jamur *Trichoderma* sp. dianggap sebagai agen alami yang potensial yang dapat menghasilkan kompos berkualitas tinggi dengan kondisi aerobik atau mikroaerobik, konsentrasi oksigen rendah, tetapi tidak cukup anaerobic (Afrâa et al., 2016).

Hasil analisa laboratorium P-tersedia pada tanah Vertisol menunjukkan peningkatan dan penurunan kadar P yang relatif lebih stabil sepanjang masa inkubasi, dibandingkan dengan tanah Alfisol dan Inceptisol. Kondisi tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh kandungan liat yang tinggi pada tanah Vertisol. Tanah dengan kandungan liat yang tinggi mempengaruhi ketersediaan P karena memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi sehingga mampu menahan P dan memperlambat pergerakannya dalam tanah. Hal tersebut sependapat dengan pernyataan Prasetyo (2017) dalam Matheus et al., (2023) bahwa kandungan liat tanah berperan penting dalam mengontrol ketersediaan P tanah. Pada tanah netral dan alkalin seperti Vertisol, P terjerap oleh Al, Fe, liat, dan Ca (Kasno, 2020). Meskipun kandungan fosfor total tanah relatif tinggi, ketersediaannya bagi tanaman sering rendah karena hanya sekitar 10–40% fosfor dari pupuk yang dapat diserap, akibat tingginya

reaktivitas fosfor dengan komponen tanah yang menyebabkan fiksasi atau pengendapan bersama partikel tanah sehingga menjadi tidak tersedia bagi tanaman (Thonar *et al.*, 2017).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi kompos dan *Trichoderma* sp. bersinergi mampu meningkatkan unsur hara P pada masing-masing jenis tanah. Hal tersebut sejalan dengan pernyataan Sharma *et al.*, (2013) bahwa *Trichoderma* sp. merupakan salah satu Mikroba Pelarut Fosfat (MPF) dari strain jamur rizosfer yang memiliki kemampuan melarutkan P dalam tanah. MPF mampu melarutkan P-anorganik dengan cara memproduksi asam organik. Menurut Bahadur *et al.*, (2015) mikroorganisme pelarut fosfat (MPF) menghasilkan berbagai asam organik yang berperan dalam melarutkan fosfor, antara lain asam asetat, sitrat, laktat, propionat, 2-ketoglukonat, glukonat, glikolat, oksalat, malonat, suksinat, fumarat, dan tartarat, serta asam organik lainnya.

Trichoderma sp. menghasilkan berbagai jenis asam organik, antara lain asam laktat, asam fumarat, asam askorbat, asam isositrat, asam malat, asam sitrat, dan asam fitat (Bononi *et al.*, 2020). Asam organik dapat meningkatkan kelarutan fosfor baik secara langsung maupun melalui mekanisme pengkelatan terhadap ion Al, Fe, dan Ca yang berikatan dengan fosfor. Selain itu, asam organik mampu mengkelat kation yang berikatan dengan fosfor sehingga fosfor dapat terlepas dan menjadi lebih tersedia. Mikroorganisme pelarut fosfat (MPF) juga menghasilkan asam anorganik, seperti asam klorida, asam sulfat, dan asam karbonat, yang berperan dalam meningkatkan kelarutan fosfor. Pada fosfor organik, proses mineralisasi dikatalisis oleh berbagai enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme pelarut fosfat (MPF), antara lain fosfatase, fitase, fosfonatase, dan C-P liase (Rawat *et al.*, 2021).

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan kombinasi kompos dan *Trichoderma* sp. mampu meningkatkan kandungan P-tersedia masing-masing jenis tanah. Tingkat pelepasan dari tertinggi hingga terendah secara berurutan terdapat pada tanah Alfisol, Inceptisol, dan Vertisol dengan masing-masing kandungan P-tersedia sebesar 514,74 ppm, 129,36 ppm, dan 152,37 ppm. Kombinasi kompos dan *Trichoderma* sp. diharapkan mampu meningkatkan ketersediaan P dengan bahan yang lebih ramah lingkungan, dibandingkan dengan pupuk kimia. Karakteristik pupuk organik yang *slow release* membuat ketersediaan P dalam tanah juga lestari. Pemanfaatan kombinasi *Trichoderma* sp. dan Kompos dapat menjadi salah satu solusi untuk pengelolaan tanah dalam meminimalisir pemanfaatan pupuk kimia dan sebagai upaya menjaga kelestarian tanah.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini memperoleh dukungan pendanaan dari Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur. Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada LPPM atas bantuan dan fasilitas yang diberikan, sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik dan diselesaikan tepat waktu. Dukungan tersebut menjadi kontribusi penting dalam kelancaran proses penelitian, mulai dari tahap perencanaan, pelaksanaan, hingga penyusunan laporan akhir.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Afrâa, R., S. Sushant, & F. Ali. 2016. Assessment of the composting process and compost's utilizations. *Vegetos- An International Journal of Plant Research*. 29(2): 1-7.
- Amin, A.E.E.A.Z. 2025. Incubation time effect on releasing available phosphorus in saline sandy soil as a function of bone char application. *Scientific Reports*. 15(1): 1-12.

- Annisa, W.A., S.B. Santoso, & W. Midarti. 2022. Dampak pemberian pupuk organik cair kotoran ternak terhadap ketersediaan P dan Zn dan serapannya oleh tanaman tomat (*Solanum lycopersicon* L.). *Folium : Jurnal Ilmu Pertanian*. 6(2): 58-70.
- Bahadur, B., M.V. Rajam, L. Sahijram, & K.V. Krishnamurthy. 2015. *Plant Biology and Biotechnology*. Volume I: Plant Diversity, Organization, Function and Improvement. Springer.
- Bononi, L., J.B. Chiaramonte, C.C. Pansa, M.A. Moitinho, & I.S. Melo. 2020. Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. from amazon soils improve soybean plant growth. *Scientific Reports*. 10(2858): 1-13.
- Boukhalfa-Deraoui, N., L. Hanifi-Mekliche, & A. Mihoub. 2015. Effect of incubation period of phosphorus fertilizer on some properties of sandy soil with low calcareous content, Southern Algeria. *Asian Journal of Agricultural Research*. 9(3): 123-131.
- Bünemann, E.K., A. Oberson, F. Liebisch, F. Keller, K.E. Annaheim, O. Huguenin-Elie, & E. Frossard. 2012. Rapid microbial phosphorus immobilization dominates gross phosphorus fluxes in a grassland soil with low inorganic phosphorus availability. *Soil Biology and Biochemistry*. 51: 84-95.
- Busato, J.G., L.H. Ferrari, A.F. Chagas Junior, D.B. da Silva, T. dos Santos Pereira, & A.M. de Paula. 2021. *Trichoderma* strains accelerate maturation and increase available phosphorus during vermicomposting enriched with rock phosphate. *Journal of Applied Microbiology*. 130(4): 1208-1216.
- Cheng, Y., M. Narayanan, X. Shi, X. Chen, Z. Li, & Y. Ma. 2023. Phosphate-solubilizing bacteria: Their agroecological function and optimistic application for enhancing agro-productivity. *Science of The Total Environment*. 901(166468): 1-12.
- Fan, Y., F. Lin, L. Yang, X. Zhong, M. Wang, J. Zhou, Y. Chen, & Y. Yang. 2018. Decreased soil organic P fraction associated with ectomycorrhizal fungal activity to meet increased P demand under N application in a subtropical forest ecosystem. *Biology and Fertility of Soils*. 54(1): 149-161.
- Gayo, A.A.P., Z. Zainabun, & T. Arabia. 2017. Amandemen organik dan *Trichoderma* meningkatkan pertumbuhan kedelai edamame (*Glycine max* (L.) Merrill) pada Andisol Aceh Besar. Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala 2 Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*. 2(3): 503-508.
- Hapsoh, Z. Leyna, & Murniati. 2019. The Effect of compost TKKS, rice straw and NPK fertilizer on the growth and production of chili plant (*Capsicum annum* L.). *Jurnal Hortikultura Indonesia*. 10(1): 20-26.
- Hasan, M.M., M.M. Hasan, J.A. Teixeira da Silva, & X. Li. 2016. Regulation of phosphorus uptake and utilization: Transitioning from current knowledge to practical strategies. In *Cellular and Molecular Biology Letters*. 21(7): 1-19.
- Kannan, P., M. Paramasivan, S. Marimuthu, C. Swaminathan, & J. Bose. 2021. Applying both biochar and phosphobacteria enhances *Vigna mungo* L. growth and yield in acid soils by increasing soil pH, moisture content, microbial growth and P availability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 308(107258): 1-12.
- Kasno, A. 2020. Perbaikan tanah untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi pemupukan berimbang dan produktivitas lahan kering masam. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 13(1): 27-40.
- Laila R.S., Margaretha, & Refliaty. 2018. Peningkatan ketersediaan P ultisol dengan pemberian fungi mikoriza arbuskular. *J. Agroecotania*. 1(2): 42-48.
- Liao, W.-H., J.-L.Liu, X.-X. Huang, Z.-L. Gao, & Y. Ling. 2017. Responses of vegetable yield and changes of phosphorus fractions in cinnamon soil to long-term excess phosphorus application. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*. 23(4): 894-903.
- Matheus, R., D. Kantur, & M.K. Salli. 2023. Utilization of organic soil amendments and phosphorus fertilizer to improve chemical properties of degraded dry land vertisol and maize yield. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 10(2): 4297-4304.

- Nursyamsi, D., & D.D. Setyorini. 2009. Ketersediaan P tanah-tanah netral dan alkalin soil P Availability in neutral and alkaline soils. *Jurnal Tanah Dan Iklim*. 30: 25–36.
- Pane, R.D.P., E. Noviandi Ginting, & F. Hidayat. 2022. Mikroba pelarut fosfat dan potensinya dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman. *WARTA Pusat Penelitian Kelapa Sawit*. 27(1): 1-12.
- Pang, G., F. Cai, R. Li, Z. Zhao, L. Rong, X. Gu, Q. Shen, & W. Chen. 2017. *Trichoderma*-enriched organic fertilizer can mitigate microbiome degeneration of monocropped soil to maintain better plant growth. *Plant and Soil*. 416: 181–192.
- Prasetyo, B.H. 2017. Perbedaan sifat-sifat tanah vertisol dari berbagai bahan induk. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*. 9(1): 20–31.
- Rawat, P., S. Das, D. Shankhdhar, & S.C. Shankhdhar. 2021. Phosphate-solubilizing microorganisms: Mechanism and their role in phosphate solubilization and uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 21: 49–68.
- Savira, V., & S.U.Y.V. Indrawati. 2024. Ability of several types of *trichoderma* isolates on ultisol and peat soil against p uptake and soybean plant growth (*Glycine max* L.). *Jurnal Pertanian Agros*. 26(1): 5690-5698.
- Sharma, S.B., R.Z. Sayyed, M.H. Trivedi, & T.A. Gobi. 2013. Phosphate solubilizing microbes: Sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus*. 2(587): 1-14.
- Taufiq, A. 2001. Evaluasi kehabisan alfisol dan peningkatan produktivitasnya untuk kacang tanah. *Ilmu Pertanian*. 8(1): 16-25.
- Thonar, C., J.D.S. Lekfeldt, V. Cozzolino, D. Kundel, M. Kulhánek, C. Mosimann, G. Neumann, A. Piccolo, M. Rex, S. Symanczik, F. Walder, M. Weinmann, A. de Neergaard, & P. Mäder. 2017. Potential of three microbial bio-effectors to promote maize growth and nutrient acquisition from alternative phosphorous fertilizers in contrasting soils. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 4(1): 1–16.
- Uruilal, C., A.M. Kalay, E. Kaya, & A. Siregar. 2018. Pemanfaatan kompos ela sagu, sekam dan dedak sebagai media perbanyakan agens hayati *Trichoderma harzianum* Rifai. *Agrologia*. 1(1): 21–30.
- Wang, Y.T., T.Q. Zhang, I.P. O'Halloran, Q.C. Hu, C.S. Tan, D. Speranzini, I. Macdonald, & G. Patterson. 2015. Agronomic and environmental soil phosphorus tests for predicting potential phosphorus loss from ontario soils. *Geoderma*. 241–242: 51–58.
- Zhang, L., X. Ding, Y. Peng, T.S. George, & G. Feng. 2018. Closing the loop on phosphorus loss from intensive agricultural soil: A microbial immobilization solution?. *Frontiers in Microbiology*. 9(104): 1-4.