

Fraksionasi Fosfor pada Profil Tanah Hutan, Wanatani, dan Tegalan di Jawa Barat

(Fractionation of Phosphorus in Soil Profiles of Forest, Agroforestry, and Dryland in West Java)

Parjono^{1*}, Syaiful Anwar², Kukuh Murti Laksono², Lilik Tri Indriyati²

(Diterima Juli 2018/Disetujui Juni 2019)

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi distribusi fraksi-fraksi fosfor (P) pada horison-horison atau profil tanah hutan, wanatani, dan tegalan di Jawa Barat, serta korelasinya dengan sifat-sifat kimia tanah. Evaluasi didasarkan atas hasil analisis contoh tanah yang diambil pada empat horison tanah (Ao atau Ap, A1 atau A2, B1, dan B2) di setiap tipe penggunaan lahan. Fraksionasi P tanah dilakukan menggunakan metode ekstraksi sekuensial untuk memperoleh fraksi-fraksi P-cepat tersedia (NaHCO_3 -P-inorganik (i)-P-organik (o)), P-agak tersedia (NaOH -P_i-P_o), P-lambat tersedia (HCl -P_i), P-tidak tersedia (P-residual), dan P-total (HCl 25%-P). Hasil penelitian menunjukkan bahwa rerata konsentrasi fraksi residual-P di ketiga tipe penggunaan lahan mencapai >99% dari total-P. Konsentrasi fraksi residual-P tertinggi terukur pada lahan tegalan, diikuti hutan dan wanatani. Hal ini mengindikasikan bahwa kapasitas jerapan P tanah sangat tinggi sehingga konsentrasi fraksi P-tersedia sangat rendah. Konsentrasi fraksi residual-P dan total-P tanah yang tinggi sangat mungkin berkaitan dengan aplikasi pemupukan P, khususnya di lahan tegalan. Distribusi fraksi-fraksi P pada horison-horison tanah di ketiga tipe penggunaan lahan berkorelasi nyata dengan konsentrasi bahan organik tanah. Oleh karena itu, konsentrasi fraksi NaHCO_3 -P_o menurun dengan kedalaman tanah. Konsentrasi tertinggi dijumpai pada horison Ao atau Ap, meskipun tidak demikian halnya dengan fraksi NaOH -P_o yang relatif konstan.

Kata kunci: ekstraksi sekuensial, horison tanah, korelasi, penggunaan lahan

ABSTRACT

This study aims to evaluate the distribution of phosphorus (P) fractions within the soil horizons or profile of forest, agroforestry, and dryland in West Java and their correlations with soil chemical properties. Evaluation was based on the analytical results of soil samples taken from four soil horizons (Ao or Ap, A1 or A2, B1, and B2) in each land use types. Fractionation of soil P was carried out using a sequential extraction method to get readily available-P (NaHCO_3 -P-inorganic (i)-P-organic (o)), rather available-P (NaOH -P_i-P_o), slowly available-P (HCl -P_i), not available-P (residual-P), and total-P (HCl 25%-P) fractions. The results showed that the average concentration of soil residual-P fraction in all land use types reached >99% of the total-P. The highest average concentration of residual-P fraction was measured in dryland, followed by forest and agroforestry. This indicated that soil P adsorption capacity was very high and resulted in a very low concentrations of the soil available-P fractions. The high concentrations of soil residual-P and total-P fractions were most probably related to P fertilizer application, particularly in dryland soil. Distributions of P fractions within the soil horizons at all land use types were significantly correlated with the concentration of soil organic matter content. It is therefore the concentration of soil NaOH -P_o fraction was decreasing with the soil depths. The highest concentration was found at Ao or Ap horizon, although it was not the case for NaOH -P_o fractions that was relatively constant.

Keywords: correlation, land use type, sequential extraction, soil horizon

PENDAHULUAN

Keragaman bahan induk, iklim, topografi, dan elevasi menjadikan Indonesia memiliki keragaman jenis sumber daya tanah dan lahan. Iklim di kawasan Indonesia bagian Barat relatif basah dengan curah hujan tahunan maksimum 112,6 mm pada tahun 2016

(BPS Jawa Barat 2017). Curah hujan yang tinggi menyebabkan pencucian basa-basa sehingga kandungan basa-basa tanah rendah dan tanah bereaksi masam (Subagyo *et al.* 2000). Lahan masam di Indonesia merupakan lahan sub-optimal, namun berpotensi untuk pengembangan pertanian. Menurut Ritung *et al.* (2015) potensi lahan kering di Indonesia mencapai sekitar 144 juta ha yang terdiri atas lahan kering masam seluas 107,4 juta ha dan lahan kering tidak masam seluas 37,1 juta ha.

Salah satu kendala tanah-tanah masam untuk produksi pertanian adalah rendahnya penyediaan hara fosfor (P). Sebagai hara makro esensial primer selain N dan K, P sangat diperlukan tanaman untuk proses

¹ Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Musamus, Merauke 99600

² Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

* Penulis Korespondensi: Email: parjono@unmus.ac.id

fotosintesis dan respirasi tanaman (Liferdi 2010). Pemasaman tanah meningkatkan jerapan P-inorganik dan mengurangi mineralisasi P-organik (Bol *et al.* 2016). Tipe penggunaan lahan secara langsung dapat memengaruhi siklus C-organik, N, P, dan S dalam tanah. Tanah-tanah muda umumnya memiliki kandungan P lebih tinggi daripada tanah-tanah tua. Distribusi fraksi-fraksi P dalam profil tanah juga berbeda. Semakin dalam lapisan tanah, konsentrasi P_i lebih mendominasi daripada P_o (Silveira 2005). Permasalahan utama terkait P pada tanah-tanah masam ialah terikat secara kuat oleh Fe dan Al dalam bentuk Al-P dan/atau Fe-P, terutama pada tanah-tanah mineral dengan klei tipe 1:1 dan oksida-oksida Al dan Fe (Haynes & Mokolobate 2001).

Tiessen & Moir (1993) mengelompokkan ketersediaan P tanah menjadi 5 fraksi, yaitu fraksi sangat tersedia, cepat tersedia, agak tersedia, lambat tersedia, dan tidak tersedia. Penelitian fraksionasi P umumnya dilakukan pada tanah-tanah sawah dengan perakaran tanaman yang dangkal. Nakamura & Matoh (1996); Cho & Han (2002); Park *et al.* (2004); Sofyan *et al.* (2004); Setyorini *et al.* (2010); Li *et al.* (2015); Hartono *et al.* (2015) mempelajari distribusi dan dinamika P tanah pada lahan-lahan sawah di Indonesia (Jawa Barat dan Banten) serta kawasan Asia lainnya. Kajian distribusi P pada profil atau horison-horison tanah lahan kering masam dengan tipe penggunaan lahan yang berbeda sangat perlu dilakukan di Indonesia. Hasilnya diharapkan dapat digunakan sebagai dasar penyusunan rekomendasi tindakan pengelolaan lahan yang menghasilkan produktivitas lebih tinggi dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi distribusi fraksi-fraksi fosfor (P) pada horison-horison atau profil tanah hutan, wanatani, dan tegalan di Jawa Barat, serta korelasinya dengan sifat-sifat kimia tanah.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Mei 2016–April 2017. Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, IPB. Contoh tanah diambil di wilayah DAS Ciliwung Hulu, Kecamatan Cisarua, Kabupaten Bogor, Jawa Barat masing-masing pada empat horison di tipe penggunaan lahan hutan

(6°69'443" LS; 106°98'889"BT), wanatani (6°69'737" LS; 106°97'673" BT), dan tegalan (6°69'530" LS; 106°98'726" BT).

Bahan dan Metode Analisis Tanah

Jenis dan metode analisis tanah disajikan pada Tabel 1. Contoh tanah yang dianalisis mewakili empat horison (Ao atau Ap, A1 atau A2, B1, dan B2) di setiap tipe penggunaan lahan (hutan, wanatani, dan tegalan). Setiap tipe penggunaan lahan diwakili oleh dua profil tanah. Hubungan dan pertautan antar-konsentrasi fraksi-fraksi P tanah dengan sifat-sifat kimia tanah terpilih dievaluasi berdasarkan hasil analisis korelasi Pearson menggunakan perangkat lunak SPSS *versi* 21.0. Prosedur rinci analisis fraksionasi P tanah ditampilkan pada Gambar 1.

Prosedur Pengambilan Contoh Tanah

Lokasi pengambilan contoh tanah ditentukan berdasarkan prosedur *overlay* peta jenis tanah dan peta tutupan lahan. Setiap tipe penggunaan lahan diwakili oleh dua profil tanah yang dibuat dengan jarak 5–10 m pada posisi lereng tengah berkemiringan 16–35° (30–70%). Profil tanah dibuat hingga batas solum tanah dengan ukuran sekitar 1 x 1 x 1,5 m. Contoh tanah terganggu diambil sebanyak 500 g pada 4 horison di setiap profil tanah ketiga tipe penggunaan lahan. Kemudian contoh tanah dimasukkan ke dalam kantong plastik, diberi label, dan disimpan dalam *cooler box* untuk dilakukan analisis tanah di laboratorium.

HASIL DAN PEMBAHASAN

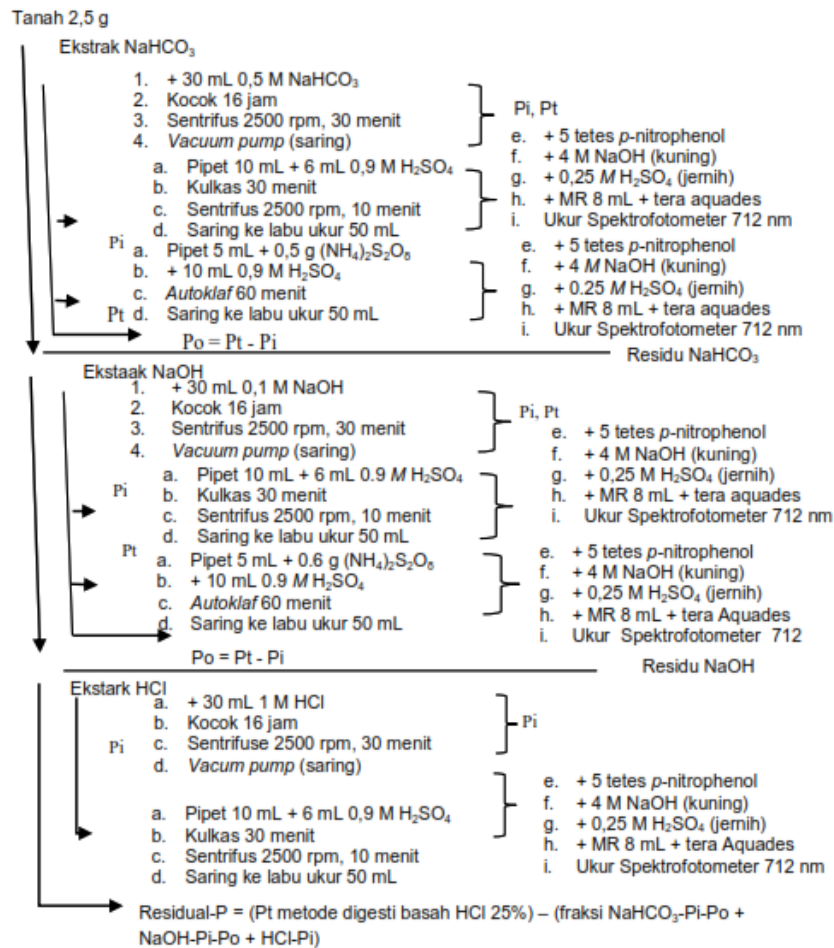
Sifat Kimia Tanah

Rerata sifat dasar tanah di lokasi penelitian disajikan pada Tabel 2, sedangkan hasil analisis sifat kimia tanah terpilih disajikan pada Tabel 3. Semua horison tanah di ketiga tipe penggunaan lahan memiliki rerata pH tergolong masam. Hardjowigeno (1993) mengemukakan bahwa tanah-tanah mineral di Jawa Barat sebagian besar tergolong masam. Hartono *et al.* (2010) menyatakan bahwa pH tanah-tanah di Jawa Barat lebih rendah daripada di Jawa Tengah dan Jawa Timur. Pencucian intensif akibat curah hujan yang tinggi dan terus menerus mengakibatkan terlarutnya hara dari dalam tanah.

Kemasaman tanah yang rendah dan Al tinggi menyebabkan berkurangnya kation basa yang dapat

Tabel 1 Jenis dan metode analisis tanah

Jenis analisis tanah	Metode
pH	Ekstrak H ₂ O dan M KCl
KTK	Ekstrak N NH ₄ OAc pH 7
C-organik	Walkey and Black
N-total	Kjeldahl
P-total	Ekstrak HCl 25%
Fraksionasi P	Tiessen & Moir (1993)
Al-dapat ditukar	Alvarez <i>et al.</i> (2002) dan Drabek <i>et al.</i> (2003)
Fe- dan Mn-dapat ditukar	Tessier <i>et al.</i> (1979) dan Walna <i>et al.</i> (2010)
Tekstur	Pipet



Gambar 1 Prosedur fraksionasi P (Tiessen & Moir 1993) modifikasi Hartono *et al.* (2010, 2015).

Tabel 2 Rerata sifat dasar tanah di lokasi penelitian

Lahan	Hor. tanah	Kedalaman (cm)	C-org.		pH		Klasifikasi	Pasir	Debu	Liat kasar (%)	Liat halus	Kelas Tekstur
			%	H ₂ O	KCl	KCl						
Hutan	Ao	0–15	12,9	4,0	4,0	Sangat masam	38,4	15,1	7,6	38,9	Sandy loam	
	A1	15–30	3,8	4,8	4,7	Masam	45,5	26,8	6,7	20,9	Sandy clay	
	B1	30–110	3,3	4,8	4,8	Masam	30,6	24,2	9,8	35,4	Sandy loam	
	B2	110–150	0,8	4,5	4,5	Masam	-	-	-	-	-	
Wanatani	Ap	0–15	2,2	4,2	4,2	Sangat masam	17,1	46,9	12,6	23,4	Clay loam	
	A2	15–40	0,3	4,5	4,5	Masam	23,5	48,4	9,5	18,6	Sandy loam	
	B1	40–70	0,1	4,4	4,4	Sangat masam	20,6	47,3	9,7	22,4	Clay loam	
	B2	70–100	0,2	4,3	4,3	Sangat masam	-	-	-	-	-	
Tegalan	Ap	0–25	4,2	4,4	4,4	Sangat masam	46,6	25,4	2,2	25,8	Sandy loam	
	A2	25–50	4,1	4,7	4,7	Masam	22,4	45,8	13,8	18,1	Sandy loam	
	B1	50–75	1,6	4,7	4,7	Masam	11,1	55,8	18,1	15,1	Clay loam	
	B2	75–110	0,6	4,3	4,3	Sangat masam	-	-	-	-	-	

Keterangan: - = Tidak ditetapkan. AO = horizon yang didominasi oleh bahan organik; A1 = horizon dengan akumulasi bahan organik halus yang tercampur dengan bahan mineral dan tidak didominasi oleh horizon E atau B; B1 = horizon yang terbentuk di bawah A, E, atau O atau horizon peralihan di mana bahan induk masih terlihat; B2 = horizon akumulasi maksimal/peralihan dari B ke C atau R, terdapat iluviasi liat, Fe, Al, humus, karbonat, atau salah satu kombinasinya.

dipertukarkan dalam larutan tanah (Rout *et al.* 2001). Tanah bertekstur *klei* yang didominasi oleh mineral *klei* silikat tipe 1:1 (kaolinit) mempunyai kapasitas fiksasi terhadap P yang lebih tinggi dibandingkan mineral tipe 2:1, karena muatan positif pada mineral *klei* tipe 1:1 tersebut berkembang pada pH rendah (Sutaryo *et al.* 2005).

Hutan memiliki kandungan C-organik, N-total, K, dan Na tertinggi, diikuti tegalan dan wanatani. Semakin dalam horison tanah maka semakin rendah konsentrasinya. Hal ini disebabkan penggunaan lahan wanatani tidak seintensif tegalan dan hutan. Akan tetapi lahan wanatani memiliki KTK, konsentrasi Al_{dd}, Fe_{dd}, dan Mn_{dd} yang lebih tinggi dibandingkan dengan lahan hutan dan tegalan. Hal ini ditunjukkan oleh konsentrasi

C-organik tanah. Bahan organik berperan dalam meningkatkan jerapan dan pertukaran kation, ketersediaan N, P, dan S, serta pelarutan hara dari mineral oleh asam humat. Tanah dengan KTK lebih tinggi memiliki kapasitas lebih besar untuk menyimpan hara kation seperti Ca²⁺, Mg²⁺, dan K⁺ yang berpotensi tersedia bagi tanaman sehingga mengurangi pencucian mereka dari tanah (Havlin *et al.* 2005).

Fraksionasi P pada Tanah Hutan, Wanatani, dan Tegalan

Distribusi rerata konsentrasi fraksi P dalam profil tanah di masing-masing tipe penggunaan lahan disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 2. Tiessen & Moir (1993) mengelompokkan P-tanah berdasarkan keter-

Tabel 3 Rerata sifat kimia tanah terpilih di lokasi penelitian

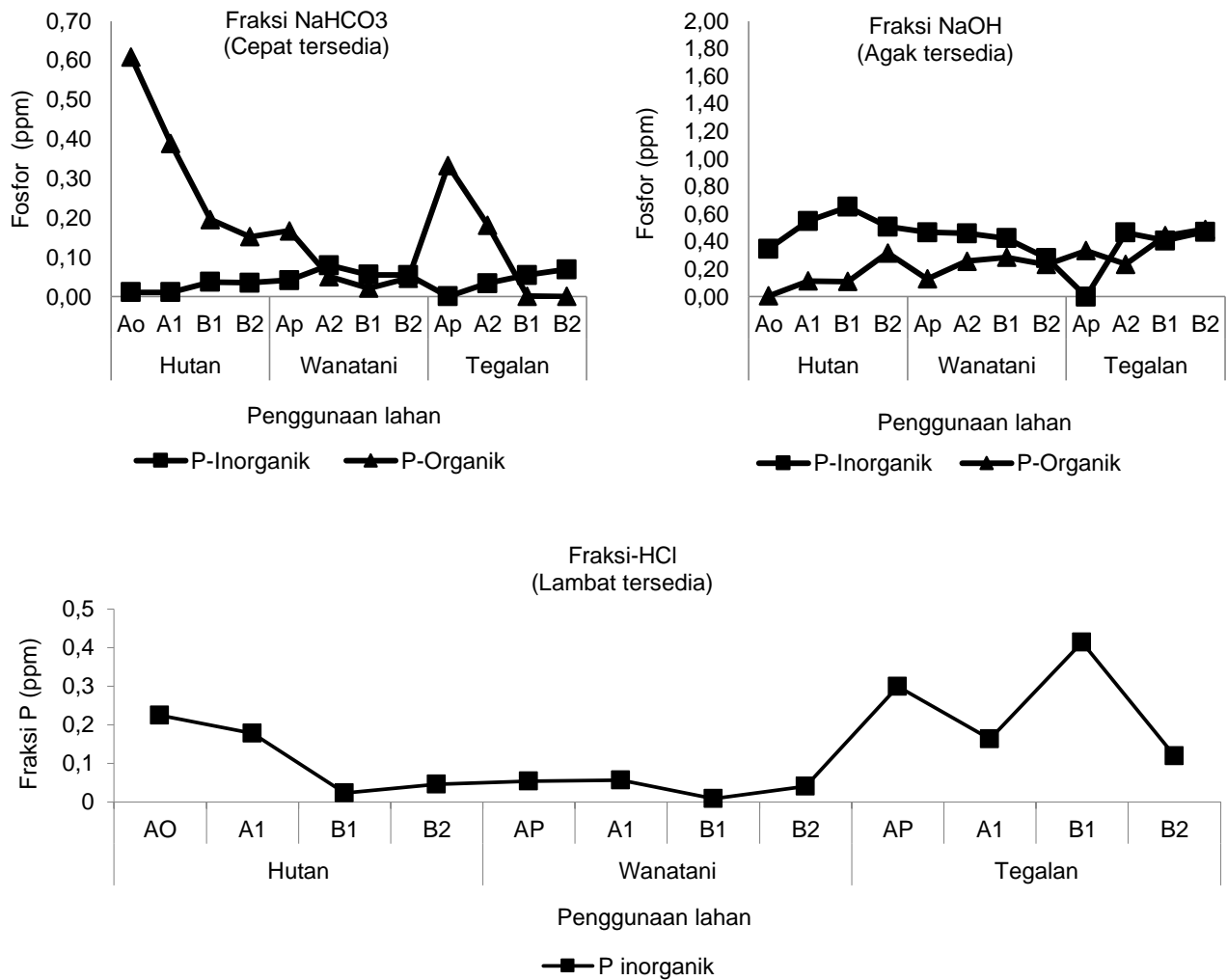
Lahan	Kedalaman (cm)	Horizon tanah	N-Total (%)	K	Na	KTK	Al-dd	Fe-dd (ppm)	Mn-dd
			(%)						
Hutan	0–15	Ao	1,11	1,52	0,76	27,57	6,50	5,34	97,17
	15–30	A1	0,66	0,80	0,42	34,13	17,10	3,42	19,82
	30–110	B1	0,29	0,26	0,29	26,07	3,85	4,85	4,82
	110–150	B2	0,20	0,19	0,29	24,11	58,85	2,91	13,24
Wanatani	0–15	Ap	0,22	0,12	0,36	36,01	105,15	4,35	96,65
	15–40	A2	0,08	0,78	0,44	34,01	75,00	3,18	61,74
	40–70	B1	0,06	0,18	0,29	32,74	51,85	4,25	20,63
	70–100	B2	0,06	0,11	0,38	33,2	54,9	12,20	21,68
Tegalan	0–25	Ap	0,46	0,37	0,29	25,91	3,30	3,07	33,06
	25–50	A2	0,51	0,32	0,23	25,68	0,90	6,32	3,74
	50–75	B1	0,24	0,12	0,14	22,42	0,75	4,29	1,02
	75–110	B2	0,18	0,11	0,17	21,07	0,90	3,50	1,09

Keterangan: AO = horizon yang didominasi oleh bahan organik; A1 = horizon dengan akumulasi bahan organik halus yang tercampur dengan bahan mineral dan tidak didominasi oleh horizon E atau B; B1 = horizon yang terbentuk di bawah A, E, atau O atau horizon peralihan di mana bahan induk masih terlihat; B2 = horizon akumulasi maksimal/peralihan dari B ke C atau R, terdapat iluviasi liat, Fe, Al, humus, karbonat, atau salah satu kombinasinya.

Tabel 4 Rerata konsentrasi fraksi P tanah pada masing-masing tipe penggunaan lahan

Lahan	Horison tanah	NaHCO ₃ -P (cepat tersedia)				NaOH-P (agak tersedia)				HCl-P (lambat tersedia)		Residual-P		Total-P (ppm)
		Pi		Po		Pi		Po		Pi		P		
		ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	
Hutan	Ao	0,01	0,00	0,61	0,16	0,35	0,09	0,01	0,00	0,22	0,06	384,18	99,69	385,38
	A1	0,01	0,00	0,39	0,14	0,55	0,20	0,12	0,04	0,18	0,06	276,46	99,55	277,71
	B1	0,04	0,01	0,20	0,05	0,65	0,18	0,11	0,03	0,02	0,01	370,06	99,73	371,08
	B2	0,04	0,01	0,15	0,04	0,51	0,12	0,32	0,08	0,05	0,01	419,84	99,75	420,90
Wanatani	Ap	0,04	0,02	0,17	0,07	0,47	0,19	0,13	0,05	0,05	0,02	242,71	99,65	243,57
	A2	0,08	0,03	0,05	0,02	0,46	0,20	0,26	0,11	0,06	0,02	230,29	99,61	231,19
	B1	0,06	0,03	0,02	0,01	0,42	0,26	0,29	0,17	0,01	0,01	164,71	99,52	165,51
	B2	0,05	0,03	0,05	0,03	0,28	0,17	0,23	0,14	0,04	0,03	162,55	99,60	163,20
Tegalan	Ap	0,00	0,00	0,33	0,07	0,00	0,00	0,34	0,07	0,30	0,06	496,16	99,80	497,13
	A2	0,03	0,01	0,18	0,03	0,47	0,09	0,24	0,04	0,16	0,03	545,93	99,80	547,01
	B1	0,05	0,01	0,00	0,00	0,41	0,10	0,44	0,10	0,41	0,10	424,68	99,69	426,00
	B2	0,07	0,02	0,00	0,00	0,47	0,11	0,49	0,11	0,12	0,03	427,41	99,73	428,56

Keterangan: Pi = inorganik; Po = organik; AO = horizon yang didominasi oleh bahan organik; A1 = horizon dengan akumulasi bahan organik halus yang tercampur dengan bahan mineral dan tidak didominasi oleh horizon E atau B; B1 = horizon yang terbentuk di bawah A, E, atau O atau horizon peralihan di mana bahan induk masih terlihat; B2 = horizon akumulasi maksimal/peralihan dari B ke C atau R, terdapat iluviasi liat, Fe, Al, humus, karbonat, atau salah satu kombinasinya.



Gambar 2 Distribusi merata konsentrasi fraksi P dalam profil tanah pada hutan, wanatani, dan tegalan. AO = horizon yang didominasi oleh bahan organik; A1 = horizon dengan akumulasi bahan organik halus yang tercampur dengan bahan mineral dan tidak didominasi oleh horizon E atau B; B1 = horizon yang terbentuk di bawah A, E, atau O atau horizon peralihan di mana bahan induk masih terlihat; B2 = horizon akumulasi maksimal/peralihan dari B ke C atau R, terdapat iluviasi liat, Fe, Al, humus, karbonat, atau salah satu kombinasinya.

sediannya untuk tanaman menjadi beberapa fraksi, yaitu fraksi Resin-P (sangat tersedia), NaHCO₃-P_i-P_o (cepat tersedia), NaOH-P_i-P_o (agak tersedia), HCl-P_i (lambat tersedia), dan Residual-P (potensial). Hartono *et al.* (2010) menyatakan bahwa resin-P berkorelasi kuat dengan fraksi NaHCO₃ pada tanah-tanah mineral di Jawa Barat. Oleh karena itu, fraksi Resin-P tidak ditetapkan dalam penelitian ini.

Horison permukaan di masing-masing tipe penggunaan lahan memiliki konsentrasi fraksi NaHCO₃-P_o yang lebih tinggi daripada NaHCO₃-P_i dengan pola distribusi menurun dengan kedalaman tanah (dari horison A0/Ap ke B2). Hutan memiliki konsentrasi fraksi NaOH-P_i yang lebih tinggi dibandingkan dengan wanatani dan tegalan, sebaliknya konsentrasi fraksi NaOH-P_o secara berurutan dari tertinggi terukur pada tegalan, wanatani, dan hutan. Hal ini diduga karena lahan tegalan mengalami pengolahan tanah secara intensif dibandingkan dengan lahan hutan sehingga proses mineralisasi pada lahan hutan terjadi secara alami/natural. Menurut Hartono *et al.* (2006), tanah-tanah yang mengandung Fe-Al hidrousoksida tinggi

memiliki konsentrasi fraksi NaHCO₃-P_i-P_o yang juga tinggi. Hal ini dipertegas oleh Holford & Mattingly (1976) bahwa fraksi NaHCO₃-P cepat tersedia untuk tanaman, yang berkorelasi kuat dengan serapan oleh tanaman dan mikroba yang terikat di permukaan mineral *klei* atau dalam bentuk presipitasi Ca-P dan Mg-P.

Fraksi NaOH-P merupakan fraksi agak tersedia untuk tanaman karena terikat lebih kuat pada mineral Fe- dan Al-hidrousoksida dalam tanah (Tiessen & Moir 1993). Konsentrasi fraksi NaOH-P_i lebih tinggi daripada NaOH-P_o pada lahan hutan dan tegalan, tetapi sebaliknya yang terjadi pada lahan wanatani. Intensitas penggunaan lahan dan pemupukan berkontribusi pada distribusi fraksi-P dalam tanah. Transformasi P dalam tanah disebabkan oleh proses pengendapan ion fosfat oleh kation-kation dalam larutan tanah membentuk senyawa-senyawa Ca-fosfat, Al-fosfat, dan Fe-fosfat, serta terjadinya reaksi adsorpsi pada permukaan mineral-mineral dengan muatan tetap dan muatan variabel, seperti kalsit, oksida/hidrousoksida Fe dan Al, bahan organik, dan alofan (Leiwakabessy

2003), serta bersifat labil maupun terikat (Zheng *et al.* 2001).

Fraksi HCl-P_i bersifat agak tersedia untuk tanaman, antara lain sebagai Ca-P (Schmid *et al.* 1996). Lahan tegalan memiliki konsentrasi HCl-P_i yang jauh lebih tinggi daripada lahan hutan dan wanatani. Hal ini diduga karena lahan tegalan mengalami penambahan pupuk kimia oleh petani. Distribusinya menunjukkan terjadinya penurunan konsentrasi dengan kedalaman tanah pada hutan dan wanatani, tetapi berpola fluktuatif pada tegalan. Fraksi P-residual dan P-total, disebut juga sebagai fraksi P-potensial, merupakan fraksi P yang tersemat atau sukar larut dalam tanah (Tiessen & Moir 1993).

Tegalan memiliki konsentrasi fraksi residual-P yang lebih tinggi dibandingkan dengan lahan hutan dan wanatani. Bahan organik tanah yang rendah (Tabel 2) serta pemupukan kimia yang terjadi secara intensif diduga meninggalkan residu pupuk-P. Konsentrasi fraksi residual-P merata di setiap horison tanah pada lahan wanatani, menurun dengan kedalaman tanah pada tegalan, dan terjadi akumulasi di horison bawah permukaan tanah pada lahan hutan. Hartono *et al.* (2015) menyebutkan bahwa P dijumpai lebih banyak pada tanah dengan bahan induk vulkan dibandingkan dengan sedimen dan aluvium. Tanah yang berasal dari bahan induk vulkan andesit memiliki jerapan P maksimum tertinggi dibandingkan dengan bahan induk lain, yaitu sekitar 971 mg kg⁻¹ P.

Konsentrasi fraksi P-tersedia (Total-P-Residual-P) menurut metode Tiessen & Moir (1993), P-tersedia menurut metode Bray-I, residual-P dan total-P dalam profil tanah di masing-masing tipe penggunaan lahan disajikan pada Tabel 5. Konsentrasi P-tersedia menurut metode Bray-I secara konsisten jauh lebih tinggi sekitar 5 kali lipat dibandingkan fraksi P-tersedia menurut metode Tiessen & Moir (1993), yaitu total-P-residual-P. Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan metode fraksionasi menurut Tiessen & Moir (1993) tidak sesuai untuk

menduga konsentrasi P tersedia dalam tanah-tanah lahan kering masam yang diteliti.

Hubungan Fraksi P dengan Sifat Kimia Tanah Terpilih

Hasil uji korelasi Pearson antar-fraksi P-tanah dengan sifat-sifat kimia tanah terpilih disajikan pada Tabel 6. Hasil uji menunjukkan bahwa intensitas penggunaan lahan yang direpresentasikan oleh perbedaan tipe penggunaan lahan berpengaruh nyata atau sangat nyata sehingga berperan penting dalam distribusi fraksi-fraksi P dalam tanah.

Fraksi NaHCO₃-P_i pada hutan berkorelasi negatif dengan N-total dan K-dd tanah yang mengindikasikan bahwa konsentrasi N dan K yang tinggi dalam tanah menyebabkan penurunan fraksi NaHCO₃-P_i. Fraksi NaHCO₃-P_o berkorelasi negatif dengan pH tanah dan berkorelasi positif dengan C-organik dan N-total tanah. Artinya, fraksi NaHCO₃-P_o yang tinggi dalam tanah berkaitan dengan kandungan C-organik dan N yang tinggi. Fraksi NaOH-P_i berkorelasi positif dengan pH dan berkorelasi negatif dengan C-organik tanah, sedangkan fraksi NaOH-P_o tidak berkorelasi dengan sifat-sifat tanah terpilih. Fraksi HCl-P_i berkorelasi positif dengan C-organik, N-total, K-dd, dan Na-dd, sedangkan fraksi residual-P berkorelasi negatif dengan KTK tanah. Semakin tinggi KTK tanah, semakin besar kapasitasnya dalam menyimpan hara kation dan berpotensi tersedia bagi tanaman (Havlin *et al.* 2003; Carey *et al.* 2009).

Pada lahan wanatani, fraksi NaHCO₃-P_i dan NaOH-P_o tidak berkorelasi dengan sifat-sifat tanah terpilih, sedangkan fraksi NaHCO₃-P_o berkorelasi positif dengan C-organik dan N-total tanah. Hal ini disebabkan oleh fraksi NaHCO₃ yang bersifat labil (Tiessen & Moir 1993). Fraksi NaOH-P_i yang bersifat agak cepat tersedia berkorelasi negatif dengan Fe-dd dan Mn-dd tanah, fraksi HCl-P_i yang bersifat agak lambat tersedia berkorelasi positif dengan KTK tanah, sedangkan Fraksi residual-P yang bersifat tidak tersedia berko-

Tabel 5 Distribusi konsentrasi P hasil analisis beberapa metode dalam profil tanah

Lahan	Horizon tanah	Total-P tersedia (Tiessen & Moir 1993)		P-Bray		Residual-P		Total-P (HCl 25%)	
		ppm	%	ppm	%	ppm	%	(ppm)	%
Hutan	Ao	1,20	0,31	6,62	1,71	385,38	99,69	386,57	100
	A1	1,24	0,45	5,90	2,12	277,71	99,55	278,95	100
	B1	1,02	0,27	5,90	1,59	371,08	99,73	372,10	100
	B2	1,06	0,25	5,81	1,38	420,90	99,75	421,96	100
Wanatani	Ap	0,86	0,35	4,61	1,89	243,57	99,65	244,43	100
	A2	0,90	0,39	4,52	1,95	231,19	99,61	232,10	100
	B1	0,80	0,48	4,70	2,83	165,51	99,52	166,31	100
	B2	0,66	0,40	3,66	2,24	163,20	99,60	163,86	100
Tegalan	Ap	0,97	0,19	5,68	1,14	497,13	99,81	498,10	100
	A2	1,08	0,20	6,68	1,22	547,01	99,80	548,09	100
	B1	1,32	0,31	6,38	1,49	426,00	99,69	427,32	100
	B2	1,15	0,27	5,61	1,31	428,56	99,73	429,71	100

Keterangan: AO = horizon yang didominasi oleh bahan organik; A1 = horizon dengan akumulasi bahan organik halus yang tercampur dengan bahan mineral dan tidak didominasi oleh horizon E atau B; B1 = horizon yang terbentuk di bawah A, E, atau O atau horizon peralihan di mana bahan induk masih terlihat; B2 = horizon akumulasi maksimal/peralihan dari B ke C atau R, terdapat iluviasi liat, Fe, Al, humus, karbonat, atau salah satu kombinasinya.

Tabel 6 Koefisien korelasi Pearson hubungan antara fraksi-fraksi P dengan sifat-sifat kimia tanah terpilih

Lahan	Fraksi P	Al-dd	Fe-dd	Mn-dd	pH	C-org	N-total	K-dd	Na-dd	KTK
Hutan	NaHCO ₃ -Pi	0,299	-0,017	0,025	0,455	-0,586	-,852**	-,784*	-0,674	-0,460
	NaHCO ₃ -Po	-0,265	0,338	-0,152	-,780*	,935**	,947**	0,704	0,693	0,229
	NaOH-Pi	0,123	-0,227	-0,126	,832*	-,713*	-0,686	-0,471	-0,522	0,250
	NaOH-Po	-0,113	0,288	-0,176	-0,442	0,273	0,127	-0,183	-0,065	-0,489
	HCl-Pi	-0,373	0,278	-0,182	-0,572	,720*	,911**	,859**	,817*	0,401
Residual-P	0,302	0,331	0,199	-0,424	0,149	-0,224	-0,279	-0,078	-,754*	
Wanatani	NaHCO ₃ -Pi	0,248	-0,034	0,236	-0,355	-0,612	-0,648	0,251	0,036	-0,064
	NaHCO ₃ -Po	0,199	-0,243	-0,556	-0,017	,903**	,925**	-0,144	0,065	0,485
	NaOH-Pi	0,405	-,788*	-,719*	0,323	0,401	0,494	0,671	0,574	-0,278
	NaOH-Po	-0,352	-0,264	0,183	0,633	-0,438	-0,409	0,487	0,521	-0,479
	HCl-Pi	0,104	0,017	0,158	-0,556	0,176	0,141	-0,330	-0,355	,805*
Residual-P	0,664	-0,458	-,788*	0,301	0,383	0,459	,708*	,755*	-0,412	
Tegalan	NaHCO ₃ -Pi	-,834*	0,090	-,902**	0,044	-,843**	-,777*	-,845**	-,722*	-0,515
	NaHCO ₃ -Po	,843**	0,030	,882**	-0,124	,888**	,833*	,893**	,806*	0,620
	NaOH-Pi	,875**	-0,348	,882**	-0,270	0,431	0,383	0,665	0,581	0,326
	NaOH-Po	-,811*	0,499	-,882**	0,249	-0,547	-0,402	-0,552	-0,492	-0,323
	HCl-Pi	0,200	-0,539	0,149	0,084	-0,051	-0,137	0,116	-0,345	0,033
Residual-P	0,091	,916**	0,135	0,068	0,505	0,569	0,286	,732*	0,626	

Keterangan: * = berkorelasi nyata pada taraf 0,05; ** = berkorelasi nyata pada taraf 0,01; AO = horizon yang didominasi oleh bahan organik; A1 = horizon dengan akumulasi bahan organik halus yang tercampur dengan bahan mineral dan tidak didominasi oleh horizon E atau B; B1 = horizon yang terbentuk di bawah A, E, atau O atau horizon peralihan di mana bahan induk masih terlihat; B2 = horizon akumulasi maksimal/peralihan dari B ke C atau R, terdapat iluviasi liat, Fe, Al, humus, karbonat, atau salah satu kombinasinya.

relasi negatif dengan Mn-dd dan berkorelasi positif dengan K-dd dan Na-dd tanah.

Pada lahan tegalan, fraksi NaHCO₃-Pi berkorelasi negatif dengan Al-dd, Mn-dd, C-organik, N-total, K-dd, dan Na-dd, tetapi hal sebaliknya terjadi pada fraksi NaHCO₃-Po. Fraksi NaOH-Pi berkorelasi positif dengan Al-dd dan Mn-dd, sebaliknya fraksi NaOH-Po berkorelasi positif dengan Al-dd dan Mn-dd. Hal ini diduga karena lahan tegalan cenderung mengalami gangguan secara antropogenik yang lebih intensif dibandingkan dengan lahan hutan dan wanatani, serta mendapatkan penambahan-penambahan pemupukan kimia secara langsung. Fraksi HCl-Pi tidak berkorelasi dengan sifat tanah terpilih, sedangkan fraksi residual-P berkorelasi positif dengan Fe-dd dan Na-dd. Hal ini terjadi karena fraksi HCl-Pi merupakan bentuk P yang sukar larut karena berada dalam bentuk senyawa Ca-P (Tiessen & Moir 1993; Hartono *et al.* 2015).

KESIMPULAN

Tanah pada tipe penggunaan lahan hutan, wanatani, dan tegalan yang diteliti bereaksi masam dengan kapasitas jerapan P yang sangat tinggi. Rerata konsentrasi residual-P dan fraksi P yang tidak tersedia bagi tanaman, mencapai >99% dari total-P (HCl 25%-P) dengan urutan dari tertinggi pada lahan tegalan (99,76%), hutan (99,68%), dan wanatani (99,60%). Semakin dalam horizon tanah, konsentrasi P semakin rendah. Fraksi NaOH-Po tertinggi dijumpai pada lahan wanatani (0,12% dari total-P), lebih besar daripada lahan tegalan (0,08%), dan lahan hutan (0,04%). Fraksi

NaOH-Pi tertinggi berada pada lahan hutan (0,51%), diikuti pada lahan wanatani (0,41%), dan lahan tegalan (0,34%). Fraksi residual-P yang tinggi pada lahan tegalan diduga berhubungan dengan pemupukan intensif oleh petani.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kemenristekdikti atas program Beasiswa Unggulan Dosen Indonesia (BUDI-DN Afirmasi), Pemerintah Daerah Kabupaten Merauke dan Universitas Musamus.

DAFTAR PUSTAKA

Alvarez E, Monterroso C, Marcos MLF. 2002. Aluminium fraction in galician (NW Spain) forest soil as related to vegetation and parent material. *Journal Forest Ecology and Management*. 166: 193–206.

Bol R, Julich D, Brodlin D, Siemens J, Kaiser K, Dippold MA, Spielvogel S, Zilla T, Mewes D, Blanckenburg FV. 2016. Dissolved and Colloidal Phosphorus Fluxes in Forest Ecosystems, an Almost Blind Spot in Ecosystem Research. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 179: 425–438. <https://doi.org/10.1002/jpln.201600079>

[BPS] Badan Pusat Statistik. 2017. Statistik Indonesia 2017. Jakarta (ID).

- Cho JY, Han KW. 2002. Nutrient Losses from a Paddy Field Plot in Central Korea. *Journal of Water, Air, and Soil Pollution*. 134: 215–228. <https://doi.org/10.1023/A:1014119807982>
- Hardjowigeno S. 1993. *Genesis dan Klasifikasi Tanah*. Jurusan Tanah. Bogor (ID) Fakultas Pertanian. IPB Press.
- Hartono A, Funakawa S, Kosaki T. 2010. Transformation of Added Phosphorus to Acid Upland Soils with Different Soil Properties in Indonesia. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. (52): 734–744. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2006.00087.x>
- Hartono A, Anwar S, Satwoko A, Koyama K, Omoto T, Nakao A, Yanai J. 2015. Phosphorus Fractions of Paddy Soils in Java, Indonesia. *ISSAAS Journal*. 21(2): 20–30.
- Havlin JL, Tisdale SL, Nelson WL, Beaton JD. 2005. *Soil Fertility and Fertilizer: An Introduction to Nutrient Management*. 7th Ed. New Jersey (US): Carolina State University Press.
- Haynes RJ, Mokolobate MS. 2001. Amelioration of Al toxicity and P Deficiency in Acid Soils by Additions of Organic Residues: A Critical Review of The Phenomenon and The Mechanisms Involved. *Journal of Nutrient Cycling in Agroecosystems*. (59): 47–63. <https://doi.org/10.1023/A:1009823600950>
- Holford I, Mattingly G. 1976. Phosphate adsorption and availability of phosphate. *Plant and Soil*. 44: 377–389.
- Leiwakabessy FM. 2003. *Kesuburan Tanah*. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Liferdi L. 2010. Efek Pemberian Fosfor terhadap Pertumbuhan dan Status Hara pada Bibit Manggis. *Jurnal Hortikultura*. 20(1): 18–26.
- Li YY, Yang R, Gao R, Wei HA, Chen AL, Li Y. 2015. Effect of Long Term Phosphorus Fertilization and Straw Incorporation on Phosphorus Fraction in Subtropical Paddy Soil. *Journal of Integrative Agriculture*. 14: 365–373. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60684-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60684-X)
- Nakamura K, Matoh T. 1996. Nutrient Balance in The Paddy Field of Northeast Thailand. *Southeast Asian Studies*. 33: 575–587.
- Park M, Singvilay O, Shin W, Kim E, Chung J, Sa T. 2004. Effect of Long-Term Compost and Fertilizer Application on Soil Phosphorus Status Under Paddy Cropping System. *Journal of Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 35: 1635–1644. <https://doi.org/10.1081/CSS-120038559>
- Ritung S, Suryani E, Subardja D, Sukarman, Nugroho K, Suparto, Hikmatullah, Mulyani A, Tafekresnanto C, Sulaeman Y. 2015. *Sumber Daya Lahan Pertanian Indonesia: Luas, Penyebaran, dan Potensi Ketersediaan*. Bogor (ID): IAARD Pr. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Rout GR, Samantaray SP. 2001. Das. Aluminium toxicity in plants: a review. *Agronomie, EDP Sciences*. 21(1): 3–21.
- Schmidt JP, Buwol SW, Kamprath EJ. 1997. Soil Phosphorus Dynamics During 17 Years of Continuous Cultivations: A Methode to Estimate Long-Term P Availability. *Journal of Geoderma*. 78: 59–70.
- Setyorini D, Nurjaya, Kasno A, Suryono J, Priyono A, Mulyani A. 2010. *Peta Status Hara Lahan Sawah Provinsi Jawa Barat, Banten Skala 1:500.000*. Bogor (ID): Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian.
- Silveira MLA. 2005. Dissolved Organic Carbon and Bioavailability of N and P as Indicators of Soil Quality. *Journal of Agriculture Science (Piracicaba, Braz.)*. 62: 502–508. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000500017>
- Sofyan A, Nurjaya, Kasno A. 2004. Staus Hara Tanah Sawah untuk Rekomendasi Pemupukan. *Dalam: Agus F, Adimihardja A, Hardjowigeno S, Fagi AM, Hartatik W (Eds.), Tanah Sawah dan Teknologi Penggelolaannya*. Bogor (ID). BBSDLP Pr. Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian. pp. 83–14.
- Subagyo H, Suharta N, Agus B. 2000. Tanah-tanah Pertanian di Indonesia. *Dalam: Sumber Daya Lahan Indonesia dan Penggelolaannya*. Bogor (ID). Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Hlm. 21–66.
- Sutaryo B, Purwantoro B, Nasrullah. 2005. Seleksi Beberapa Kombinasi Persilangan Padi Untuk Ketahanan Terhadap Keracunan Aluminium. *Jurnal Ilmu Pertanian*. 12(1): 20–31.
- Tiessen H, Moir JO. 1993. Characterization of available P by sequential extraction, *In: Carter MR, Gregorich EG (Eds.), Soil Sampling and Methods of Analysis*. Boca Raton (US): CRC Press. Pp. 75–86.
- Zheng Z, Simard RR, Lafond J, Parent LE. 2001. Changes in phosphorus fractions of a humic gleysol as influenced by cropping systems and nutrient sources. *Canadian Journal of Soil Science*. 175–183. <https://doi.org/10.4141/S00-666>