

Ultisols Bahan Vulkan Andesitik : Diferensiasi Potensi Kesuburan dan Pengelolaannya

Ultisols from Andesitic Volcanic Materials: the Differentiation in Fertility and Management Potential

B.H. PRASETYO¹, D. SUBARDJA¹, DAN B. KASLAN²

ABSTRAK

Ultisols dari bahan vulkan andesitik di lereng bawah Gunung Ungaran berbeda dengan Ultisols lainnya khususnya dalam hal kandungan Al-dd, status hara P (retensi dan P tersedia), dan komposisi fraksi pasir yang didominasi oleh opak. Hasil interpretasi data fisika, kimia, dan mineralogi dari 6 (enam) profil perwakilan menunjukkan bahwa Ultisols yang tertera pada peta tanah tinjau Jawa Tengah terdiri atas tiga kelompok: (1) Oxisols (pedon P1 dan P2) karena KTK liat $< 16 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ meskipun struktur tanahnya gumpal bersudut, (2) Ultisols (pedon P3, P4, dan P5), dan (3) peralihan dari Inceptisols ke arah Ultisols (pedon P6) karena horison argilik yang tidak jelas dan didukung oleh difraktogram X-ray (kaolinit) dengan bentuk puncak yang melebar. Dominasi mineral opak pada semua pedon menunjukkan bahwa cadangan unsur hara jangka panjang pada ketiga kelompok tanah ini tergolong rendah. Kadar Al-dd pada kelompok 1 dan 2 tergolong sangat rendah sehingga tidak terdeteksi kecuali pada kelompok 3. Kandungan P tersedia pada tanah kelompok 1 tergolong sedang, sedangkan pada kelompok 2 berkadar rendah (pedon P3 dan P5) dan tinggi (pedon P4). Sementara itu, kadar P tersedia pada kelompok 3 tergolong rendah karena sebagian P kemungkinan terikat oleh Al. Hal ini menunjukkan bahwa ketersediaan P tidak hanya dipengaruhi oleh Al-dd tetapi juga oleh faktor lain yang perlu diteliti lebih lanjut. Berdasarkan sifat kimia, mineralogi, serta pedogenesis pada masing-masing kelompok tanah, maka pengembangan komoditas tanaman tahunan (seperti karet) pada kelompok 2 harus mampu mengatasi permasalahan lapisan akumulasi liat (horison argilik) yang sangat menghambat pertumbuhan dan perkembangan akar. Sedangkan kelompok 1 dan 3 tidak memiliki masalah lapisan akumulasi liat. Ditinjau dari segi pemupukan, kelompok 1 memerlukan penambahan bahan organik untuk meningkatkan retensi hara dan perbaikan struktur tanah.

Kata Kunci: Ultisols, Bahan-bahan Vulkanik, Kaolinit

ABSTRACT

Ultisols from andesitic volcanic material in lower slope of Mt. Ungaran are different from other Ultisols, especially in their exchangeable aluminum content, P nutrient status (retention and available P), and mineralogy of sand fraction which is dominated by opaque mineral. Interpretation results of physical, chemical, and mineralogical data from six representative soil profiles inform that Ultisols in the reconnaissance map of Central Java consist of three groups: (1) Oxisols (pedons P1 and P2) due to their clay CEC of $< 16 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, even though the soil structure is angular blocky, (2) Ultisols (pedons P3, P4, and P5), and (3) transition from Inceptisols to Ultisols (pedon P6) due to the unclear argillic horizon and broad form of x-ray diffraction pattern. Domination of opaque mineral indicates that nutrient retention is low for a long time. Exchangeable aluminum in the first and second group are

very low and not detectable, except in the third group. Available P in the first group is moderate, while in the second group is low (P3 and P5) and high in P4. This condition indicates that the available P is influenced not only by aluminum but also by other factors needed to be further studied. Low available P in the third group is due to fixation of P by aluminum. Based on the soil fertility characteristics, mineralogy, and pedogenesis of every group, development of tree crops (such as rubber) in the second group should consider to overcome clay accumulation (or argillic horizon) which may constrain root development. The first group needs addition of organic matter to increase nutrient retention and improve soil structure.

Key Words: Ultisols, Volcanic materials, Kaolinite

PENDAHULUAN

Ultisols merupakan salah satu ordo tanah yang penyebarannya tergolong paling luas di Indonesia (sekitar 45,79 juta ha). Menurut Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat (2000), tanah ini terutama menyebar di Provinsi Kalimantan Timur (10,04 juta ha), Papua (7,62 juta ha), Kalimantan Barat (5,71 juta ha), Kalimantan Tengah (4,81 juta ha), dan Riau (2,27 juta ha). Tanah ini dapat terbentuk dari bahan vulkan, sedimen, atau metamorf pada landform bergelombang hingga bergunung. Pada awalnya, tanah Ultisols dan Oxisols lebih dikenal dengan nama tanah Podsolik Merah Kuning (PMK) yang mendominasi tanah lahan kering di daerah Sumatera, Kalimantan, dan Papua.

Banyak penelitian yang pernah dilakukan pada tanah Ultisols, di antaranya Buurman dan Dai (1976) melakukan penelitian pada tanah Ultisols dari bahan tufa masam di daerah Lampung, Buurman dan Subagyo (1980) pada Ultisols dari bahan granodiorit di Kalimantan Barat, Dai *et al.* (1980) pada Ultisols

1. Peneliti pada Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor

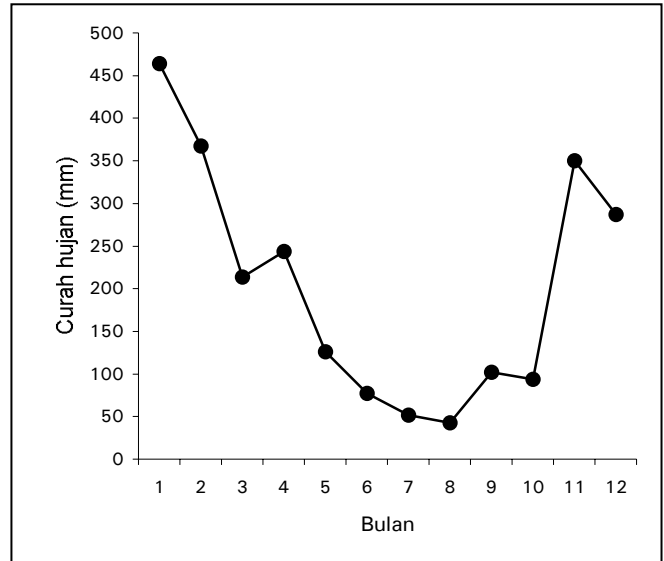
2. Peneliti pada Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Bogor

dari bahan metamorf dan sedimen di Sulawesi Tenggara (1980), Suharta dan Prasetyo (1986) pada Ultisols dari batuan granit di Kalimantan Barat, Suhardjo dan Prasetyo (1989) pada tanah Ultisols dari bahan batupasir dan batu liat di Riau, dan Prasetyo *et al.* (2001) serta Sulaeman dan Prasetyo (2001) meneliti Ultisols dari bahan sedimen di Kalimantan Timur.

Data analisis tanah dari berbagai wilayah yang dihimpun oleh Subagyo *et al.* (2004), menunjukkan bahwa Ultisols di Indonesia mempunyai kelas besar butir yang bervariasi dari berliat halus (17-35% liat) sampai berliat (37-55% liat), reaksi tanah masam hingga sangat masam (pH 4,1-4,8). Kandungan bahan organik umumnya rendah, dengan P dan K potensial bervariasi dari rendah hingga sangat rendah. Kapasitas tukar kation tergolong rendah pada semua lapisan, sehingga dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan potensi kesuburan alami Ultisols tergolong rendah.

Usaha pertanian yang paling umum pada tanah Ultisols adalah perladangan berpindah dan pertanian lahan kering. Tanah ini tergolong sesuai untuk pengembangan tanaman perkebunan kelapa sawit dan karet.

Tanah-tanah di daerah lereng bawah Gunung Ungaran berasal dari batuan hasil kegiatan gunung api Ungaran tua. Batuan tersebut terdiri atas breksi dan tufa vulkan yang membentuk perbukitan vulkan terpisah. Tufa dan breksi vulkan ini bersifat andesitik dengan mineral utama hornblende-augit (Theden *et al.*, 1975). Menurut Lembaga Penelitian Tanah (1963), Ultisols di daerah penelitian diklasifikasikan sebagai Podsolik Merah Kekuningan, dan data yang lebih baru dari Puslittanak (1995) menyatakan bahwa Ultisols tersebut terdiri atas Hapludults, Paleudults, Kanhapludults, dan Kandudults. Berdasarkan data curah hujan bulanan dari tahun 1982-1993, daerah Ungaran mempunyai 8 bulan basah dan 4 bulan kering dengan nilai $Q = 50,0$ sehingga tergolong dalam Tipe hujan C (Schmidt dan Fergusson) dan Tipe iklim Ama (Koppen). Pola curah hujan di daerah Ungaran disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Curah hujan bulanan di daerah Ungaran (1982-1993)

Figure 1. Monthly rainfall in Ungaran area (1982 - 1993)

Tujuan penulisan makalah ini adalah meneliti sifat fisika, kimia, dan mineralogi tanah Ultisols dari bahan vulkan di daerah Ungaran untuk mengidentifikasi kendala fisik maupun kimia dari tanah tersebut.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di lereng bawah Gunung Ungaran, Kabupaten Ungaran Jawa Tengah pada tahun 1999. Pengamatan sifat morfologi terhadap enam buah penampang tanah (pedon P1 - P6) dilakukan di lapang dan dilanjutkan dengan pengambilan 32 contoh tanah dari setiap lapisan untuk tujuan analisis laboratorium. Untuk keperluan identifikasi dan karakterisasi Ultisols, dilakukan analisis sifat-sifat fisika, kimia, dan mineralogi dari contoh-contoh tanah di laboratorium Balai Penelitian Tanah Bogor. Analisis sifat fisika tanah dilakukan terhadap enam pasang contoh ring dari horizon A dan B pedon P2, P3, dan P6, dan sifat kimia tanah dianalisis melalui 32 contoh yang diambil dari setiap lapisan tanah. Analisis komposisi mineral fraksi pasir dan tipe mineral liat masing-masing dilakukan terhadap 16 dan 12 contoh tanah. Tabel 1 menyajikan posisi, kemiringan lereng, dan landform dari pedon-pedon yang diteliti.

Tabel 1. Posisi, kemiringan lereng, dan landform dari Ultisols di daerah Ungaran

Table 1. Position, slope gradient, and landform of Ultisols in Ungaran area

Pedon	Posisi	Lereng %	Landform
P1	Lereng atas	13	Lereng bawah volkan
P2	Lereng atas	15	Lereng bawah volkan
P3	Lereng tengah	13	Kaki volkan
P4	Lereng tengah	9	Kaki volkan
P5	Lereng bawah	10	Kaki volkan
P6	Lereng bawah	9	Kaki volkan

Analisis sifat fisik tanah meliputi tekstur 3 fraksi, berat isi, pori drainase, pori air tersedia, dan pori total. Pori aerasi (PA) tanah adalah selisih antara pori total (PT) dengan pori pada pF 2,0, dan pori air tersedia dihitung berdasarkan selisih antara jumlah pori pada kapasitas lapang (pF 2,54) dengan jumlah pori pada titik layu permanen (pF 4,2). Analisis sifat kimia tanah meliputi pH (H₂O dan KCl), C-organik, P dan K potensial (ekstraksi HCl 25%), P tersedia (Bray 1), retensi P (Blackmore *et al.*, 1981), basa-basa dapat tukar, kejenuhan basa dan KTK tanah (1N NH₄OAc pH 7), serta Al dan H dapat tukar (1N KCl).

Analisis mineral meliputi analisis mineral pasir menggunakan mikroskop polarisasi dengan metode *line counting* dan analisis fraksi liat menggunakan difraktometer sinar X (contoh mineral liat lebih dahulu dijenuhi dengan Mg⁺⁺, Mg⁺⁺ + glycerol, K⁺, dan K⁺ + pemanasan hingga suhu 550°C). Dengan pertimbangan bahwa tanah berkembang dari bahan induk yang relatif sama, maka analisis mineral pasir hanya dilakukan pada P2, P3, dan P5, sedangkan analisis mineral liat dilakukan terhadap contoh tanah dari horison 1 dan 3 pada setiap pedon.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat fisik tanah

Data hasil analisis contoh tanah *ring* menunjukkan bahwa berat isi tanah berkisar antara

0,98 hingga 1,17 g cm⁻³ pada lapisan atas dan 0,99 hingga 1,21 g cm⁻³ pada lapisan bawah. Kedua nilai tersebut tergolong rendah (Tabel 2). Berat isi tanah dipengaruhi oleh tekstur, struktur, dan kandungan bahan organik tanah. Pada umumnya, rendahnya berat isi tanah ini bersifat menguntungkan karena menunjukkan sifat tanah yang gembur sehingga mudah diolah dan ditembus oleh akar tanaman.

Tabel 2. Sifat fisik Ultisols di daerah Ungaran (diwakili oleh pedon P2, P3, dan P6)

Table 2. Soil physical properties of Ultisols in Ungaran (represented by pedon P2, P3, and P6)

Pedon	Horison	BI g cm ⁻³	RPT % vol	PA	PAT	Perm. cm jam ⁻¹
P2	A1	1,03	61,2	25,7	8,2	13,41
	Bt2	1,08	59,1	18,7	8,2	1,36
P3	Ap	0,98	63,0	20,9	9,3	9,92
	Bt2	0,99	62,6	13,0	12,6	1,72
P6	A	1,17	55,8	12,5	25,8	7,80
	Bw2	1,21	54,3	12,9	10,1	11,11

BI = bobot isi; RPT = ruang pori total; PA pori aerasi; PAT = pori air tersedia; Perm = permeabilitas

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pori aerasi tanah berkisar antara sedang hingga tinggi. Pori aerasi yang cenderung tinggi menguntungkan, karena tanah mempunyai tingkat difusi udara yang baik untuk pernapasan akar tanaman di lahan kering.

Sedangkan hasil perhitungan pori air tersedia tergolong rendah hingga sangat tinggi. Pori air tersedia yang sangat tinggi terdapat pada pedon P6, dan kondisi ini sangat menunjang pertumbuhan tanaman. Sedangkan tanah dengan pori air tersedia yang tergolong sedang, perlu dilakukan konservasi air melalui penambahan mulsa pada waktu kurang hujan.

Permeabilitas tanah lapisan atas tergolong agak cepat hingga cepat, sedangkan di lapisan bawahnya menurun menjadi agak lambat. Perubahan nilai permeabilitas dari agak cepat hingga cepat menjadi agak lambat dapat disebabkan oleh beberapa

faktor, antara lain tanah lebih padat karena berkurangnya kandungan bahan organik dan terdapatnya horizon argilik di lapisan bawah.

Semua pedon yang diteliti mempunyai fraksi liat yang tergolong liat berat (>60%), sedangkan kandungan fraksi pasirnya sangat sedikit (<10%)(Tabel 3). Kondisi ini menunjukkan bahwa pada tanah tersebut telah terjadi proses pelapukan fisik yang cukup kuat. Indikasi yang sama juga telah

ditunjukkan oleh dominasi mineral resisten pada fraksi pasirnya.

Sifat kimia tanah

Reaksi tanah (pH) Ultisols berkisar dari masam hingga agak masam, kecuali P6 yang tergolong sangat masam (Tabel 3). Kemasaman tanah dapat

Tabel 3. Tekstur, pH, C-organik, serta status P tanah Ultisols di daerah Ungaran

Table 3. Soil texture, pH, organic carbon, and P status of Ultisols in Ungaran area

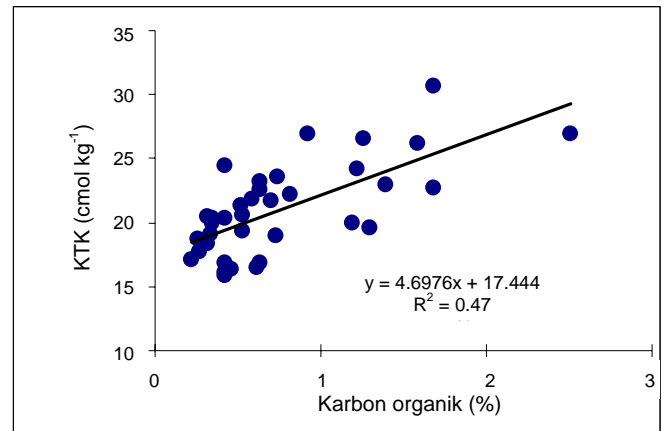
Kedalaman cm	Horizon	Tekstur			pH		C-org %	HCl 25%		P Bray1 ppm	Retensi P %
		Pasir	Debu	Liat	H ₂ O	KCl		P ₂ O ₅	K ₂ O		
	 %						... mg 100g ⁻¹			
				
Pedon P1											
0 - 21	A1	8	22	70	5,6	4,6	2,51	87	41	10	64
21 - 38	Bt1	10	21	69	5,6	4,6	1,68	73	26	5	63
38 - 63	Bt2	7	26	77	5,3	4,6	0,53	145	22	14	70
63 - 106	Bt3	7	22	61	5,6	4,6	0,53	141	22	13	72
106 - 155	Bt4	10	32	58	5,7	4,8	0,34	136	9	14	77
Pedon P2											
0 - 22	Ap	6	17	77	5,6	5,2	1,19	126	27	36	-
22 - 53	Bt1	2	9	89	5,5	4,8	0,73	102	6	18	-
53 - 81	Bt2	2	11	87	5,6	5,0	0,46	144	4	19	-
81 - 109	Bt3	2	12	86	5,4	4,9	0,42	145	5	19	-
109 - 155	Bt4	2	9	89	5,5	5,0	0,42	155	5	43	-
Pedon P3											
0 - 24	Ap	10	21	69	5,5	4,6	1,39	53	51	6	53
24 - 48	Bt1	2	11	87	5,6	4,6	0,70	55	24	3	55
48 - 75	Bt2	2	20	78	5,6	4,7	0,52	81	39	3	58
75 - 105	Bt3	3	23	74	5,5	4,7	0,35	83	22	3	58
105 - 130	Bt4	7	17	76	5,5	4,6	0,23	76	39	9	56
130 - 155	Bt5	6	22	72	5,6	4,6	0,27	71	63	5	56
Pedon P4											
0 - 20	Ap	10	26	64	5,2	4,3	1,26	88	19	25	-
20 - 40	Bt1	4	14	82	5,5	4,5	0,82	73	15	12	-
40 - 85	Bt2	2	10	88	5,4	4,6	0,74	80	15	20	-
85 - 105	Bt3	10	13	77	5,6	4,7	0,63	119	15	19	-
105 - 130	Bt4	7	14	79	5,8	5,3	0,42	148	13	28	-
Pedon P5											
0 - 19	Ap	4	17	79	4,7	3,8	1,59	50	25	6	58
19 - 45	Bt1	4	8	88	4,9	3,8	1,22	40	17	5	61
45 - 61	Bt2	2	11	87	5,1	4,0	0,82	22	12	2	58
61 - 89	Bt3	3	12	85	5,0	4,2	0,59	48	12	2	57
89 - 155	Bt4	3	23	74	5,3	4,2	0,32	32	7	1	55
Pedon P6											
0 - 10	A	1	25	74	4,2	4,6	2,29	10	96	9	-
10 - 35	Bw1	3	27	70	4,3	4,7	2,32	18	91	7	-
35 - 55	Bw2	2	21	77	5,1	5,0	1,05	10	106	5	-
55 - 90	Bw3	5	31	64	4,2	5,2	0,63	8	104	4	-
90 - 135	Bw4	2	25	73	5,1	5,2	0,62	10	133	6	-
135 - 155	Bw5	7	36	57	5,4	5,6	0,54	11	99	5	-

disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain bahan induk tanah, reaksi oksidasi terhadap mineral tertentu, bahan organik, dan pencucian basa-basa. Tanah yang diteliti berasal dari bahan induk yang bersifat intermedier, tidak terdapat mineral yang, bila teroksidasi, dapat menyebabkan kemasaman dan kandungan bahan organik rendah. Dalam hal ini pencucian basa-basa merupakan penyebab utama kemasaman tanah.

Kandungan bahan organik dalam bentuk karbon organik tergolong sedang hingga sangat rendah untuk semua pedon yang diteliti, yaitu berkisar antara 2,52 hingga 0,22%. Kandungan karbon organik yang menurun teratur dengan kedalaman horison tanah menunjukkan bahwa tanah berkembang dalam kondisi normal. Walaupun jumlahnya tergolong sedang hingga rendah, namun bahan organik cukup berperan dalam meningkatkan nilai kapasitas tukar kation dalam tanah. Gambar 2 menunjukkan bahwa hubungan antara KTK tanah dengan kandungan C organik ($R^2=0,47$) cenderung positif, sehingga penambahan bahan organik pada tanah-tanah ini diharapkan dapat lebih meningkatkan KTK tanah. Hasil ini serupa dengan hasil penelitian pada tanah Ultisols dari Kalimantan Timur ($R^2 = 0,57$) (Prasetyo *et al.*, 2001).

Kandungan P potensial (diekstrak dengan 25% HCl) bervariasi, namun sebagian besar tergolong sangat tinggi ($>60 \text{ mg P}_2\text{O}_5/100\text{g}$). Pedon P6 mempunyai kandungan P potensial yang relatif lebih rendah dibanding pedon-pedon lainnya. Bahan induk tanah nampaknya berperan penting sebagai salah satu sumber P dalam tanah. P tersedia untuk tanaman tergolong sangat rendah hingga sedang. Kandungan yang sangat rendah dijumpai pada pedon P6, P3, dan P5. Rendahnya kadar P tersedia untuk tanaman diduga sebagai akibat dari fiksasi P oleh unsur selain Al, karena kandungan Al-dd pada hampir seluruh pedon sangat rendah. Hasil penelitian oleh Atmosentono (1983) menunjukkan bahwa retensi P pada tanah merah atau Podsolik Merah

Kekuningan berkorelasi positif dengan kandungan fraksi liatnya. Hasil penelitian lainnya menunjukkan bahwa retensi P pada berbagai jenis tanah terutama disebabkan oleh Al dan Fe amorf (Prasetyo *et al.*, 2001). Retensi P tergolong sedang hingga tinggi, berkisar antara 50-77% (Tabel 3). Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui penyebab rendahnya P tersedia dan tingginya retensi P pada tanah-tanah yang diteliti.



Gambar 2. Hubungan antara karbon organik dan KTK tanah

Figure 2. Relationship between organic carbon and soil CEC

Kandungan K potensial (diekstrak dengan 25% HCl) bervariasi antar pedon, berkisar dari sangat rendah hingga sangat tinggi. Perbedaan ini nampaknya dipengaruhi oleh posisi pedon di lapangan, dimana pedon tanah yang terletak pada punggung plateau (P2) mempunyai kandungan K potensial yang relatif lebih rendah dari pedon lainnya yang terletak pada lereng tengah atau dataran vulkan.

Kandungan basa-basa dapat tukar didominasi oleh Ca dan Mg (Tabel 4). Dominasi Ca dan Mg dalam suatu tanah merupakan salah satu ciri dari tanah-tanah yang berkembang dari bahan vulkan. Sumber Ca dalam tanah adalah mineral-mineral plagioklas (Huang, 1989) dan mineral ferromagnesian

Tabel 4. Nilai KTK serta kation dan kemasaman dapat tukar dari Ultisols di daerah Ungaran

Table 4. Soil CEC and exchangeable cation and acidity of Ultisols in Ungaran area

Horizon	Kation dapat tukar				Jumlah	KB	KTK		Kemasaman	
	Ca	Mg	K	Na			Tanah	Liat	Al	H
 cmol _c kg ⁻¹					% cmol _c kg ⁻¹			
			
Pedon P1										
A1	3,43	2,67	0,62	0,08	5,80	22	26,86	38,37	0,00	0,00
Bt1	3,93	2,57	0,12	0,12	5,74	25	22,70	32,90	0,00	0,00
Bt2	2,92	2,29	0,12	0,26	4,58	24	19,32	25,09	0,00	0,00
Bt3	2,49	0,98	0,15	0,20	3,82	36	10,59	13,07	0,00	0,00
Bt4	2,48	0,38	0,10	0,20	3,66	40	9,13	15,74	0,00	0,00
Pedon P2										
Ap	4,92	2,32	0,33	0,04	7,10	42	16,96	22,03	0,00	0,00
Bt1	3,32	2,30	0,10	0,02	4,74	34	13,98	15,71	0,00	0,00
Bt2	3,18	0,99	0,08	0,05	4,30	30	13,86	15,93	0,00	0,00
Bt3	3,17	0,92	0,06	0,02	4,16	32	12,84	14,93	0,00	0,00
Bt4	3,03	0,94	0,06	0,02	4,04	31	13,13	14,75	0,00	0,00
Pedon P3										
Ap	5,78	2,19	0,30	0,06	8,33	33	22,92	33,22	0,00	0,00
Bt1	6,02	2,28	0,11	0,14	8,55	30	25,75	29,60	0,00	0,00
Bt2	5,46	1,98	0,07	0,16	7,67	33	21,36	27,38	0,00	0,00
Bt3	5,07	1,93	0,10	0,15	7,25	32	19,90	26,89	0,00	0,00
Bt4	5,26	2,03	0,23	0,28	7,80	35	22,30	29,34	0,00	0,00
Bt5	5,10	2,12	0,41	0,20	7,83	35	20,70	28,75	0,00	0,00
Pedon P4										
Ap	5,42	3,08	0,23	0,12	8,85	33	26,60	41,56	0,00	0,00
Bt1	5,91	3,10	0,27	0,12	9,40	34	26,90	42,03	0,00	0,00
Bt2	5,98	3,16	0,30	0,13	9,57	34	27,56	31,32	0,00	0,00
Bt3	4,63	2,72	0,28	0,10	7,73	31	24,57	31,91	0,00	0,00
Bt4	4,13	2,43	0,28	0,10	6,94	34	20,31	25,71	0,00	0,00
Pedon P5										
Ap	2,54	1,14	0,26	0,10	4,04	15	26,17	33,08	0,00	0,00
Bt1	3,72	1,43	0,16	0,08	5,39	22	24,23	29,77	0,00	0,00
Bt2	5,44	2,28	0,10	0,09	7,91	29	27,24	31,42	0,00	0,00
Bt3	5,87	2,49	0,08	0,20	8,64	34	25,76	30,16	0,00	0,00
Bt4	7,78	3,26	0,08	0,08	11,20	46	24,44	33,07	0,00	0,00
Pedon P6										
A	6,25	2,66	0,35	0,09	9,25	32	29,04	39,24	0,75	0,13
Bw1	5,72	2,40	0,16	0,12	8,40	32	26,32	37,89	0,60	0,11
Bw2	6,18	2,12	0,16	0,18	8,64	35	24,84	32,26	0,24	0,07
Bw3	5,28	1,91	0,16	0,33	7,57	30	25,55	39,92	1,52	0,22
Bw4	5,32	1,66	0,10	0,18	7,26	30	23,86	28,75	0,45	0,11
Bw5	7,77	3,17	0,20	0,25	11,39	32	35,48	62,25	2,66	0,44

seperti augit dan hiperstin (Mohr *et al.*, 1972), sedangkan sumber utama Mg adalah mineral augit dan hornblende. Kandungan Ca-dd tergolong rendah hingga sedang, dan kandungan Mg-dd tergolong sedang hingga tinggi. Kandungan K-dd tergolong sa-

ngat rendah hingga rendah, namun pada lapisan atas P1 tergolong tinggi. Untuk Na-dd di semua pedon umumnya tergolong sangat rendah. Nilai kejenuhan basa (KB) untuk semua pedon yang diteliti umumnya lebih kecil dari 35%, dan tergolong sedang.

Kapasitas tukar kation (KTK) tanah berkisar antara 9 hingga 35 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, pada umumnya tergolong rendah (P1 dan P2) hingga tinggi. Faktor yang sangat mempengaruhi nilai KTK tanah adalah kandungan liat, C organik dan jenis mineral liat yang dikandungnya. Tanah-tanah yang diteliti mineral liatnya didominasi oleh kaolinit yang mempunyai nilai KTK tergolong rendah, akan tetapi tanah ini mempunyai kandungan fraksi liat $> 60\%$ dan karbon organik yang tergolong sedang hingga sangat rendah. Hasil ini berbeda dengan hasil penelitian tanah pada tanah Ultisols dari Kalimantan Selatan dan Kalimantan Timur. Ultisols dari jenis Plintudults di Kalimantan Selatan mempunyai KTK-tanah berkisar antara 5 hingga 10 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ di lapisan atas dan antara 5 hingga 18 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ di horizon B (Yatno *et al.*, 2000). Sedang Ultisols dari jenis Paleudults dan Hapludults di Kalimantan Timur yang berkembang dari bahan sedimen pada lapisan atas mempunyai nilai KTK tanah berkisar antara 2 hingga 17 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ dan di horizon B berkisar antara 3-17 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Prasetyo *et al.*, 2001). Perbedaan ini salah satunya disebabkan kandungan karbon organik pada Ultisols di Kalimantan yang rata-rata tergolong rendah hingga sangat rendah.

Pedon P1 dan P2 mempunyai KTK-liat yang tergolong rendah ($< 16 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) hingga tinggi ($> 24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), sehingga kedua pedon ini dapat bermasalah dengan retensi hara. Penambahan bahan organik selain dapat meningkatkan retensi hara juga dapat memperbaiki struktur tanahnya. Nilai KTK liat pada pedon tanah lainnya tergolong tinggi.

Hampir semua pedon menunjukkan kemasaman terekstraksi nol, kecuali pada P6. Hal ini menunjukkan bahwa pada tanah-tanah tersebut tidak ada bahaya peracunan Al pada tanaman. Hasil tersebut di atas tidak dapat diartikan bahwa pada tanah Ultisols dari bahan vulkan mempunyai kandungan Al-dd sangat rendah. Subagyo *et al.* (1987) melaporkan bahwa tanah Typic Paleudults dari vulkan andesitik di daerah G. Burangrang mempunyai kandungan Al-dd berkisar antara 2,81 hingga 3,75 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Pedon P6 yang mempunyai reaksi tanah tergolong sangat masam mempunyai

kandungan Al-dd yang berkisar antara 0,24 hingga 2,66 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Hasil ini sangat berbeda dengan tanah Ultisols yang berkembang dari bahan sedimen di daerah Kalimantan Timur, yang menunjukkan nilai kejenuhan aluminium yang tinggi (Prasetyo *et al.*, 2001).

Dari sifat kimianya, tanah-tanah yang diteliti dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok. Kelompok pertama adalah pedon P1 dan P2 yang dicirikan oleh adanya horizon kandik yaitu horizon tanah dengan nilai KTK liat yang rendah ($< 16 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) dan memenuhi persyaratan sebagai horizon argilik, serta retensi P yang tinggi. Kelompok kedua terdiri atas pedon P3, P4, dan P5 yang dicirikan oleh adanya horizon argilik. Kelompok ketiga adalah pedon P6, dicirikan oleh horizon kambik yang sudah mendekati horizon argilik.

Komposisi mineral

Mineral opak mendominasi susunan mineral fraksi pasir dengan kandungan berkisar antara 65-97% (Tabel 5). Mineral opak adalah mineral oksida besi yang tidak dapat dibedakan jenisnya dengan mikroskop polarisasi. Mineral mudah lapuk seperti andesin, labradorit, hornblende, dan augit masih dijumpai dalam jumlah yang relatif sedikit. Mineral-mineral ini mencirikan bahwa tanah berkembang dari bahan vulkan yang bersifat andesitik. Mineral kuarsa yang merupakan jenis mineral resisten juga dijumpai dalam jumlah sedikit, yang sesuai dengan komposisi dari bahan vulkan yang bersifat andesitik.

Tingginya proporsi mineral opak serta sedikitnya proporsi kuarsa dan kandungan mineral mudah lapuk pada tanah-tanah yang diteliti menunjukkan bahwa tanah-tanah ini berkembang dari bahan vulkan andesitik, dan telah mengalami tingkat perkembangan yang lanjut, serta mempunyai kandungan sumber hara potensial yang rendah. Mineral-mineral mudah lapuk seperti andesin, labradorit, hornblende, dan augit merupakan sumber hara dalam tanah-tanah yang berkembang dari bahan vulkan.

Tabel 5. Komposisi mineral fraksi pasir dari Ultisols di daerah Ungaran

Table 5. Sand fraction minerals of Ultisols in Ungaran area

Horizon	Op	Kr	Kb	Lm	Fb	An	Lb	Hr	Au	Hp
..... %										
.....										
Pedon P2										
Ap	88	1	-	9	1	1	-	sp	sp	sp
Bt1	96	1	-	3	sp	sp	sp	sp	-	sp
Bt2	86	3	sp	11	sp	-	-	sp	-	-
Bt3	89	1	sp	10	sp	-	-	sp	sp	-
Bt4										
Pedon P3										
Ap	89	1	1	8	-	sp	1	sp	sp	sp
Bt1	97	sp	sp	3	sp	sp	sp	sp	sp	sp
Bt2	91	1	sp	8	sp	-	-	sp	sp	sp
Bt3	95	sp	sp	5	sp	-	sp	-	-	-
Bt4	91	2	2	5	sp	-	-	-	-	-
Bt5	94	1	sp	5	sp	-	-	sp	-	-
Pedon P5										
Ap	89	1	sp	5	sp	sp	2	1	2	sp
Bt1	85	4	1	2	2	sp	3	sp	3	sp
Bt2	88	4	2	2	sp	sp	1	1	2	sp
Bt3	65	3	21	4	1	-	1	sp	4	sp
Bt4	83	5	11	1	sp	-	sp	-	sp	-

Op = Opak, Kr = Kuarsa, Kb = Konkresi besi, Lm = Lapukan mineral, Fb = Fragmen batuan, An = Andesin, Lb = Labradorit, Hr = Hornblende, Au = Augit, Hp = Hiperstin, Sp = Sporadik.

Tabel 6. Mineral fraksi liat dari Ultisols di Ungaran

Table 6. Clay minerals of Ultisols in Ungaran area

Nomor	Horizon	Kaolinit	Kuarsa
Pedon P1	A1	++++	-
	Bt2	++++	-
Pedon P2	Ap	++++	(+)
	Bt2	++++	(+)
Pedon P3	Ap	++++	-
	Bt2	++++	-
Pedon P4	Ap	++++	-
	Bt2	++++	-
Pedon P5	Ap	++++	-
	Bt2	++++	-
Pedon P6	A	++++	-
	Bw2	++++	-

++++ = dominan, (+) = sangat sedikit

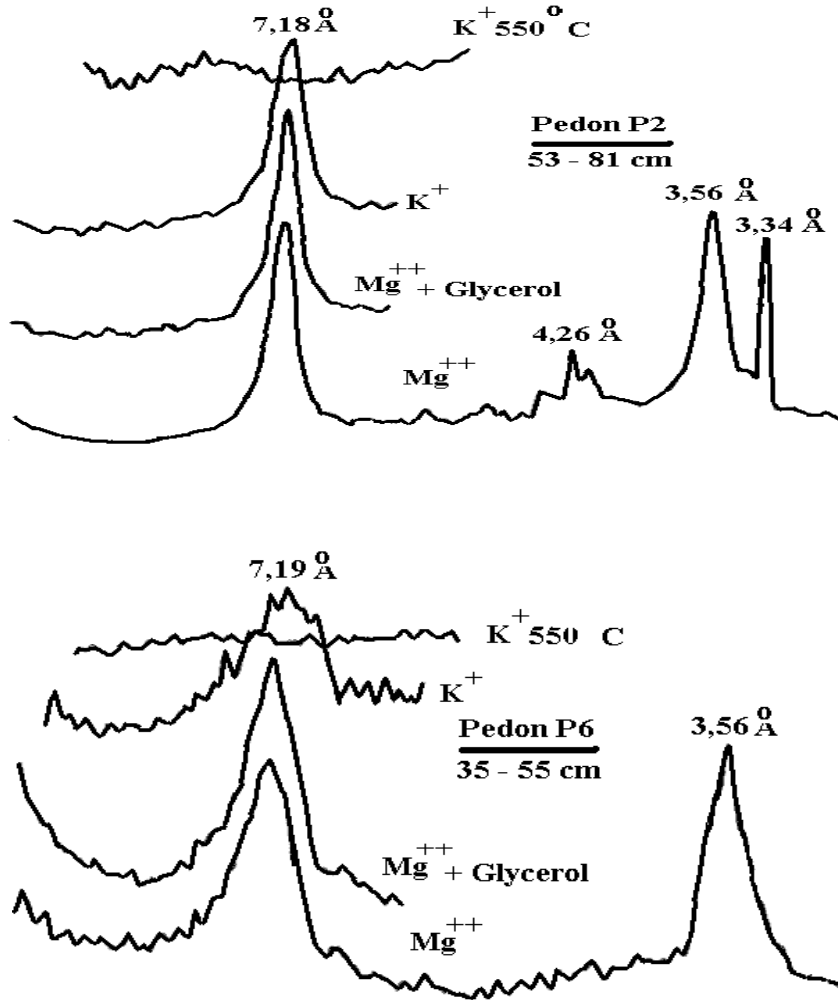
Mineral kaolinit mendominasi susunan mineral fraksi liat (Tabel 6) yang ditunjukkan oleh puncak difraksi 7,18Å dan 3,56 Å pada perlakuan penjuhan dengan Mg⁺⁺. Puncak difraksi ini tidak berubah dengan perlakuan penjuhan Mg⁺⁺ + glycerol maupun K⁺, namun hilang pada perlakuan pemanasan hingga 550°C (Gambar 3). Pada umumnya, kaolinit terbentuk dari pelapukan mineral feldspar seperti plagioklas (Buol, 2003). Data dari difraksi sinar x ini sesuai dengan data kimia tanahnya yang mempunyai basa-basa dapat tukar rendah dan reaksi tanah yang masam.

Mineral kuarsa dijumpai pada pedon P2 dalam jumlah sangat sedikit, dicirikan oleh puncak difraksi 4,26 Å dan 3,34 Å.

Mineral kuarsa di dalam fraksi liat adalah sebagai mineral primer, karena mineral kuarsa tergolong mineral tahan lapuk (resiten) dan tanah terbentuk dari bahan volkan dengan unsur proses sedimentasi yang sangat minim. Kuarsa di dalam fraksi liat ini diduga berasal dari mineral primer yang berukuran halus seperti fraksi liat.

Kaolinit pada pedon P6 (Gambar 3) menunjukkan pola difraksi yang melebar (*broaden*) yang mengindikasikan kristalinisasinya yang belum sempurna. Sedangkan pola difraksi pada pedon P2 cenderung menyempit dan mulus yang menunjukkan tingkat kristalinitas yang lebih sempurna. Pola difraksi kedua pedon tersebut juga menunjukkan bahwa tingkat perkembangan pedon P2 sudah lebih lanjut dibanding P6. Fakta ini menguatkan data kimia yang menunjukkan sifat kima pedon P6 masih relatif lebih baik dari pedon lainnya.

Dominasi mineral kaolinit pada tanah Ultisols yang berkembang dari bahan volkan andesitik merupakan hal yang umum dijumpai di Indonesia. Subagyo *et al.* (1987, 1997) melaporkan dominasi kaolinit pada tanah Typic Paleudults yang berkembang dari bahan volkan andesitik di daerah Gunung Burangrang, Purwakarta, serta pada tanah Typic Paleudults dan Rhodic Paleudults yang berkembang dari bahan volkan andesitik di daerah Gunung Manglayang, Bandung.



Gambar 3. Difraktogram sinar X dari mineral liat pedon P2 dan P6
Figure 3. X-ray diffractogram of clay mineral of pedon P2 and P6

Dominasi kaolinit tidak akan berpengaruh pada kapasitas tukar kation tanah, karena kaolinit merupakan salah satu jenis mineral liat yang rendah daya pertukarannya. Nampaknya kandungan fraksi liat dan bahan organik yang tinggi berperan dalam menjaga nilai kapasitas tukar kation tanah-tanah ini.

Mineral kuarsa dalam fraksi liat sering dijumpai pada tanah-tanah berpelapukan lanjut, namun kuarsa disini merupakan mineral primer yang berukuran fraksi liat. Hasil berbeda ditunjukkan pada tanah-tanah Ultisols dari Kalimantan Timur dimana kuarsa dalam fraksi liat berasal dari pelapukan fisik melalui proses-proses erosi transportasi dan sedimentasi (Prasetyo *et al.*, 2001).

Klasifikasi tanah

Tanah-tanah yang diteliti diklasifikasikan menurut Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1998), setelah menentukan sifat diagnostik dari horizon permukaan (epipedon) dan horizon bawah permukaan, dikombinasikan dengan data analisis laboratorium. Hasil klasifikasi tanah tersebut dicantumkan dalam Tabel 7.

Secara garis besar tanah yang diteliti dapat dikelompokkan dalam tanah yang cenderung menjadi Oxisols, Ultisols, dan tanah yang merupakan transisi antara Inceptisols dan Ultisols.

Kelompok yang cenderung menjadi Oxisols adalah kelompok pertama (P1 dan P2), mempunyai

horizon kandik, mempunyai kandungan liat > 40% hingga kedalaman 18 cm dari permukaan tanah, namun struktur tanahnya masih kuat, gumpal bersudut. Namun demikian, klasifikasi ini masih diragukan. Karena kandungan fraksi liat hingga kedalaman 18 cm adalah > 40%, tanah ini dapat diklasifikasikan sebagai Oxisols, tetapi struktur tanah pada P1 dan P2 masih kuat dan gumpal bersudut yang merupakan karakteristik struktur Ultisols. Seharusnya struktur tanah Oxisols gembur, lepas, dan granular. Pedon P1 dan P2 dapat diklasifikasikan sebagai Typic Kandiuults dan Rhodic Kandiuults, tetapi akan lebih baik jika diklasifikasikan sebagai Typic Kandiodox dan Rhodic Kandiodox untuk keperluan pengelolaan tanah.

Kelompok kedua (P3, P4 dan P5) adalah tanah yang betul-betul Ultisols, dicirikan oleh adanya horizon argilik, dengan nilai KTK yang > 16 cmol_c kg⁻¹. Ketiga pedon tersebut mempunyai ciri-ciri yang mendukung klasifikasinya tanpa adanya keraguan.

Kelompok ketiga (P6) menunjukkan tanda-tanda adanya kenaikan liat yang sudah sangat mendekati persyaratan horizon argilik. Nampaknya

pedon ini pada posisi peralihan dari Inceptisols ke arah Ultisols. Pedon ini dapat diklasifikasikan sebagai Typic Dystrudepts, namun dalam pengelolaan tanahnya sudah dapat disamakan dengan tanah-tanah Ultisols.

Potensi dan kendala pemanfaatan

Tanah-tanah Ultisols yang berkembang dari bahan vulkan andesitik di lereng bawah Gunung Ungaran mempunyai kedalaman tanah yang dalam (> 150 cm). Tanah yang dalam merupakan modal dasar utama yang ada pada tanah-tanah ini untuk pertanian. Namun posisi tanah-tanah tersebut yang umumnya terletak pada lereng > 8% mengindikasikan bahaya erosi yang mungkin terjadi, karena tanah Ultisols merupakan tanah yang cukup peka terhadap erosi.

Kendala yang umum dijumpai pada tanah Ultisols adalah pemadatan pada lapisan tanah bagian atas, reaksi tanah yang masam dan kejenuhan aluminium tinggi. Pemadatan pada lapisan di atas horizon argilik atau kandik umumnya terjadi pada

Tabel 7. Klasifikasi tanah menurut Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1998)

Table 7. Soil classification according to Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1998)

Pedon	Epipedon, horison bawah, dan sifat lainnya	Klasifikasi tanah
P1	Okrik, kandik, KB < 35%, KTK liat < 16 cmol _c kg ⁻¹ , di dalam 150 cm dari permukaan tanah mineral tidak mempunyai penurunan liat sebesar 20% dari liat maksimum, struktur tanah kuat, gumpal bersudut.	<i>Typic Kandiuults, Very fine, Kaolinitic, Isohyperthermic</i> , atau sebagai <i>Typic Kandiodox, Very fine, Kaolinitic, Isohyperthermic</i> .
P2	Okrik, kandik, KB < 35%, KTK liat < 16 cmol _c kg ⁻¹ , tidak mempunyai penurunan liat 20% dari liat maksimum, mempunyai warna 2,5YR 3/4 pada seluruh sub horison dalam 75 cm bagian atas horizon kandik, struktur kuat, gumpal bersudut.	<i>Rhodic Kandiuults, Very fine, Kaolinitic, Isohyperthermic</i> , atau sebagai <i>Rhodic Kandiodox, Very fine, Kaolinitic, Isohyperthermic</i> .
P3	Okrik, argilik, KB < 35%, KTK liat > 16 cmol _c kg ⁻¹ , di dalam 150 cm dari permukaan tanah mineral tidak mempunyai penurunan liat sebesar 20% dari liat maksimum.	<i>Typic Paleuults, Very fine, Kaolinitic, Isohyperthermic</i> .
P4	Okrik, argilik, KB < 35%, KTK liat > 16 cmol _c kg ⁻¹ , di dalam 150 cm dari permukaan tanah mineral tidak mempunyai penurunan liat sebesar 20% dari liat maksimum.	<i>Typic Paleuults, Very fine, Kaolinitic, Isohyperthermic</i> .
P5	Okrik, argilik, KB < 35%, KTK liat > 16 cmol _c kg ⁻¹ , mempunyai karbon organik > 0,9% di dalam 15 cm bagian atas horizon argilik, di dalam 150 cm dari permukaan tanah mineral tidak mempunyai penurunan liat sebesar 20% dari kandungan liat maksimum.	<i>Typic Palehumults, Very fine, Kaolinitic, Isohyperthermic</i> .
P6	Okrik, argilik, KB < 35%, KTK liat > 16 cmol _c kg ⁻¹ , mempunyai karbon organik > 0,9% di dalam 15 cm bagian atas horizon argilik, di dalam 150 cm dari permukaan tanah mineral mempunyai penurunan liat > 20% dari kandungan liat maksimum.	<i>Typic Dystrudepts, Very fine, Kaolinitic, Isohyperthermic</i> , atau sebagai <i>Typic Haplohumults, Very fine, Kaolinitic, Isohyperthermic</i> .

Ultisols yang lapisan atasnya mempunyai kandungan fraksi liat < 40% (Van Wambeke, 1991). Tanah Ultisols di daerah Ungaran mempunyai kandungan liat > 60%, sehingga kendalanya bukan pada pemadatan, tetapi pada kandungan liat yang tinggi yang dapat menyebabkan kuatnya aliran permukaan (*run-off*) sehingga meningkat-kan terjadinya bahaya erosi, dan menyebabkan tanah menjadi sulit untuk diolah.

Kandungan karbon organik dan hara dalam tanah tergolong rendah, namun kapasitas tukar kationnya masih tinggi kecuali P1 dan P2. Dengan demikian, pemupukan untuk meningkatkan kandungan hara dalam tanah tidak akan bermasalah, karena pupuk dapat diserap dengan mudah dengan adanya kapasitas tukar kation yang cukup tinggi.

Reaksi tanah berkisar dari sangat masam hingga agak masam. Pada Ultisols yang mempunyai reaksi tanah sangat masam ($\text{pH} < 4,5$) terdeteksi adanya Al-dd dalam tanah, tetapi pada Ultisols yang mempunyai reaksi tanah agak masam hingga masam tidak terdeteksi Al-dd. Hal ini menunjukkan bahwa kejenuhan aluminium bukanlah masalah yang serius pada Ultisols di daerah Ungaran yang berkembang dari bahan volkan andesitik. Walaupun demikian pengapuran tetap disarankan, karena selain dapat menetralsir bahaya peracunan aluminium, juga dapat meningkatkan pH dan konsentrasi Ca dalam tanah dan mengurangi retensi fosfat.

Kandungan P potensial pada Ultisols berkisar dari tinggi hingga sangat tinggi, kecuali pedon P6, akan tetapi P tersedia untuk tanaman umumnya tergolong rendah. Kondisi ini diduga disebabkan ada sebagian dari P yang terfiksasi oleh tanah, seperti ditunjukkan oleh nilai retensi P yang umumnya di atas 55%. Unsur apa yang bertanggungjawab terhadap tingginya retensi P pada tanah-tanah ini masih memerlukan penelitian lebih lanjut.

Mengingat beberapa potensi dan kendala tersebut di atas, disarankan bahwa tanah-tanah Ultisols di lereng bawah Gunung Ungaran sebaiknya digunakan untuk tanaman tahunan, bukan untuk tanaman pangan semusim. Saran ini didasarkan pada

pemikiran bahwa tanaman pangan semusim memerlukan pengolahan tanah setiap tahunnya. Padahal pengolahan tanah dapat menyebabkan terjadinya kondisi struktur tanah menjadi granular dan lepas sehingga bila terjadi aliran permukaan yang tinggi akan dengan mudah tererosi.

KESIMPULAN

1. Ultisols di lereng bawah Gunung Ungaran yang berkembang dari bahan volkan andesitik, komposisi mineral pasirnya didominasi oleh mineral opak, sedang mineral liatnya didominasi oleh kaolinit. Tanah berkembang di bawah pengaruh iklim Koppen Afa dan tipe hujan C. Rejim kelembaban tanah adalah udik dengan rejim suhu tanah isohyperthermik. Umur Bahan pembentuk tanah yang tua (kuarter tua), curah hujan yang tinggi dan posisi pedon di lapangan nampaknya merupakan faktor yang berpengaruh pada tanah yang diteliti.
2. Semua pedon yang diteliti mempunyai kandungan fraksi liat yang tergolong pada liat berat (> 60%) dengan permeabilitas tanah lapisan atas yang tergolong agak cepat hingga cepat, dan di lapisan bawahnya menurun menjadi agak lambat, sehingga kondisi ini dapat meningkatkan aliran permukaan dan bahaya erosi di daerah tersebut.
3. Hubungan antara KTK tanah dengan kandungan C organik cenderung positif, sehingga penambahan bahan organik pada tanah-tanah ini diharapkan dapat lebih meningkatkan kapasitas tukar kationnya. Adanya fiksasi P salah satunya dicirikan oleh kandungan P potensial sebagian besar tanah tergolong sangat tinggi, namun P tersedia untuk tanaman tergolong sangat rendah hingga sedang.
4. Kendala utama pada tanah ini adalah lereng dan tekstur tanah yang berupa liat berat, sehingga tanah ini akan lebih baik bila digunakan untuk tanaman tahunan, bukan untuk tanaman pangan semusim.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmosentono, H. 1983.** Keterbatasan fosfat pada podsolik merah kuning. Ph.D thesis, Institut Pertanian Bogor.
- Blackmore, L.C., P.L. Searle, and B.K. Daly. 1981.** Methods of Chemical and Analysis for Soil. NZ Soil Bureau Sci. Rep. 10A. Soil Bureau Lower Hutt, New Zealand.
- Buol, S.W. 2003.** Formation of soils in North Carolina. <http://agronomy.agr.state.nc.us/ssnc/3soilform.pdf>. Last updated 2003.
- Buurman, P. and J. Dai. 1976.** Research on Podzolic soils in Central and North Lampung (Sumatra) and its bearing on agricultural development. P 117-149. *In* Peat and Podzolic soils and their potential for agriculture in Indonesia. Proceeding ATA 106 midterm seminar, October 1976. Soil Research Institute. Bogor.
- Buurman, P. and Subagyo. 1980.** Soil formation granodiorites near Pontianak (West Kalimantan. P 107-120. *In* P. Buurman (Ed). Red Soils in Indonesia. Soil Research Institute. Bogor.
- Dai, J., P. Soedewo, and P. Buurman. 1980.** Soils on acid metamorphic and sedimentary rocks in South East Sulawesi. P 121-140. *In* P. Buurman (Ed). Red Soils in Indonesia. Soil Research Institute. Bogor.
- Huang, P.M. 1989.** Feldspars, olivine, Pyroxenes, and amphiboles. *In* J. B. Dixon and S. B. Weed (Eds.). Minerals in Soil Environments. Soil Sci. Of Amer., Madison, Wisconsin, USA. Pp 945-1050.
- Lembaga Penelitian Tanah. 1963.** Peta Tanah Tinjau (skala 1:250.000) Jawa Tengah. Lembaga Penelitian Tanah. Bogor
- Mohr, E.G.J., F.A. Van Baren, and J. Van Schuylenborgh. 1972.** Tropical Soil. Third Edition. The Hague Paris. Jakarta.
- Prasetyo, B.H., N. Suharta, and Hikmatullah. 2001.** Chemical and mineralogical properties of Ultisols of Sasamba area, East Kalimantan. Indonesian Journal Agricultural Science. Agency for Agricultural Research and Development 2(2):37-47.
- Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. 1995.** Peta Tanah Semi Detil (skala 1:50.000) Daerah Semarang, Propinsi Jawa Tengah. Puslittanak. Bogor.
- Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. 2000.** Atlas Sumberdaya Tanah Eksplorasi Indonesia, skala 1:1.000.000. Puslittanak, Badan Litbang Pertanian. Bogor.
- Soil Survey Staff. 1998.** Keys to Soil Taxonomy. Eight edition. United States Departement of Agriculture, Natural Resource Conservation Servis.
- Subagyo, H., B.H. Prasetyo, and A.M. Sudihardjo. 1997.** Pedogenesis of soils developed from andesitic volcanic materials at medium altitude in Mount Manglayang, Bandung Area, West Java. AGRIVITA 20(4):204-219.
- Subagyo, H., B.H. Prasetyo, dan N. Suharta. 1987.** Karakterisasi Latosols dari bahan volkan andesitik G. Burangrang dan Sekitar Purwakarta, Jawa Barat. *dalam* Kurnia. U. (Eds). Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah, Cipayung 21-23 Februari 1987, Hlm. 177-208.
- Subagyo H., N. Suharta, dan A.B. Siswanto. 2004.** Tanah-tanah pertanian di Indonesia. Hlm 21-66. *Dalam* A. Adimihardja *et al.* (Eds). Sumberdaya Lahan Indonesia dan Pengeolaannya. Cetakan Kedua. Puslitbangtanak. Bogor.
- Suhardjo, H. dan B.H. Prasetyo. 1989.** Sifat-sifat fisiko-kimia dan penyebaran Tanah Kandudults di Provinsi Riau. Jurnal Penelitian Pertanian. Universitas Islam Sumatera Utara 17(2):93-102.
- Suharta, N. dan B.H. Prasetyo. 1986.** Karakterisasi tanah-tanah berkembang dari batuan granit di Kalimantan Barat. Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk 6:51-60
- Sulaeman, Y, dan B.H. Prasetyo. 2001.** Peranan sifat kimia pada Inceptisols dan Ultisols untuk mendukung pengembangan tanaman pangan di Kalimantan Timur: Implikasinya terhadap pengelolaan lahan. Jurnal Tanah dan Air 2(2):57-68.
- Theden, R.E., H. Sumadirdja, dan P.W. Richards. 1975.** Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang skala 1:100.000. Direktorat Geologi. Bandung.
- Van Wambeke, A. 1991.** Soils of the Tropics. Properties and Appraisal. McGraw-Hill, Inc. New York. Pp 343.
- Yatno, E., M. Hikmat, N. Suharta, dan B.H.Prasetyo. 2000.** Plinthudults di Kalimantan Selatan: Sifat morfologi, fisika, mineralogi dan kimianya. Hlm 353-377. *Dalam* Sofyan *et al.*, (Eds). Prosiding Seminar Nasional Reorientasi Pendayagunaan Sumberdaya Tanah, Iklim, dan Pupuk. Cipayung, 31 Oktober-2 November.