

Pengaruh Bahan Vulkan pada Sifat Tanah Sawah

The Influence of Volcanic Materials on the Properties of Paddy Soils

B.H. PRASETYO¹, H. SUGANDA², DAN A. KASNO²

ABSTRAK

Tiga buah pedon tanah sawah yang diklasifikasikan sebagai Oxyaquic Eutrudepts dari Pati, Typic Endoaquerts dari Ngawi dan Vertic Endoaquerts dari Klaten telah diteliti pedogenesinya berdasarkan sifat-sifat fisika, mineral, dan kimia. Untuk keperluan tersebut sebanyak 15 contoh tanah telah dianalisis di laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga jenis tanah sawah tersebut mendapat pengaruh bahan yang berbeda. Tanah sawah dari Pati lapisan atasnya berasal dari bahan sedimen yang didominasi oleh mineral kuarsa, sedangkan bagian bawahnya dipengaruhi oleh bahan vulkan yang tersusun terutama oleh asosiasi mineral labradorit-hornblende. Tanah sawah dari Ngawi mendapat pengaruh bahan vulkan yang homogen di seluruh penampang tanahnya dengan susunan mineral pasir yang merupakan asosiasi labradorit-hornblende. Tanah sawah dari Klaten karena terbentuk dari alluvium bahan vulkan, kumpulan mineral volkannya dominan, terdiri atas asosiasi labradorit-hornblende-augit-hiperstin. Komposisi mineral liat pada ketiga tanah sawah didominasi oleh mineral liat smektit, kaolinit dan haloisit. Kaolinit yang lebih banyak pada lapisan atas tanah sawah dari Pati terutama terbentuk dari bahan sedimen di atasnya. Di lapisan bawah semua tanah sawah, kaolinit dan haloisit terbentuk dari pelapukan mineral labradorit. Ketiga tanah sawah mempunyai sifat kimia yang tergolong subur, perbedaan utama terletak pada bandingan Ca/Mg-nya. Tanah sawah dari natal (Pati dan Ngawi) bandingan Ca/Mg mencapai antara 5:1-12:1, sedangkan tanah sawah dari Klaten yang berkembang dari aluvium vulkan bandingan Ca/Mg hanya sekitar 2:1. Pengaruh bahan vulkan telah memberikan dampak positif pada sifat tanah sawah, terutama sumber hara tanah yang tinggi, tapi tidak dapat merubah bandingan Ca/Mg.

Kata kunci : Sawah, Bahan vulkan, Bandingan Ca/Mg

ABSTRACT

Three pedons of paddy soils classified as Oxyaquic Eutrudepts from Pati, Typic Endoaquerts from Ngawi and Vertic Endoaquerts from Klaten have been studied pedogenetically based on their physical, mineralogical and chemical properties. For this purpose as many as 15 soil samples were analyzed in Laboratory. The results indicated that all pedons were influenced by different materials. The top soil of paddy soil from Pati was covered by sediment material which was dominated by quartz, while sub soils was influenced by volcanic materials consist of association labradorite-hornblende minerals. Paddy soil from Ngawi continuously influenced by volcanic materials in all profile with association of labradorite-hornblende, while paddy soil from Klaten which was derived from volcanic alluvium showed domination of primary mineral in their association, e.g labradorite-hornblende-augite-hypersten. The clay mineral composition in all paddy soils were dominated by smectite, with a lesser extends

kaolinite and halloysite. The higher content of kaolinite in the top layer of paddy soil from Pati was formed from sediment materials, while in all sub soils kaolinite and haloisite were formed from weathering of labradorite from volcanic materials. Chemically, all pedons are fertile, the main difference is on the ratio of Ca/Mg. Paddy soils from marl (Pati and Ngawi) have Ca/Mg ratio ranging between 5:1 and 12:1, while paddy soil from alluvium (Klaten) is about 2:1. The influence of volcanic materials gives a positive impact on paddy field properties, especially in the source of nutrients but could not modify the Ca/Mg ratio.

Keywords : Paddy field, Volcanic materials, Ratio Ca/Mg

PENDAHULUAN

Tanah sawah adalah tanah yang digunakan untuk budidaya padi, baik terus-menerus maupun bergiliran dengan tanaman lainnya. Tanah sawah dapat terbentuk dari lahan kering, lahan basah atau lahan rawa sehingga karakteristiknya akan sangat dipengaruhi oleh bahan pembentuk tanahnya. Tanah sawah dari lahan kering umumnya terdapat di daerah dataran rendah, dataran tinggi vulkan atau non vulkan yang pada awalnya merupakan lahan kering yang tidak pernah jenuh air, sehingga morfologinya akan sangat berbeda dengan tanah sawah dari lahan rawa yang pada awalnya memang sudah jenuh air.

Bahan vulkan dapat mempengaruhi sifat tanah sawah melalui dua cara, yaitu mempengaruhi bahan induk tanah beserta tanah sawahnya dan mempengaruhi tanah sawah saja. Pada cara yang pertama, bahan vulkan tercampur kedalam bahan induk tanah ketika aktivitas vulkanisme terjadi bersamaan waktunya dengan pembentukan bahan induk tanah, sehingga di dalam bahan induk tanah dan di tanah sawahnya terkandung bahan vulkan.

1. Peneliti pada Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor
2. Peneliti pada Balai Penelitian Tanah, Bogor

Sedangkan pada cara kedua bahan vulkan tercampur pada waktu erupsi gunung berapi terjadi pengendapan abu vulkanik di permukaan tanah sawah yang sudah ada (*existing*). Pada kejadian yang pertama pengaruh bahan vulkan di tanah sawah akan lebih terasa baik di lapisan atas maupun di lapisan bawah, karena proses pembentukan bahan induk tanahnya sudah sangat lama dan bahan vulkannya sudah melapuk dan melepaskan unsur-unsur hara yang dikandungnya ke dalam tanah. Pada kejadian yang kedua umumnya pengaruh yang langsung terjadi adalah pada sifat fisika tanah di lapisan atas, sedangkan sifat kimianya baru akan terasa dalam kurun waktu puluhan tahun.

Proses reduksi dan oksidasi merupakan proses-proses utama di tanah sawah yang dapat mengakibatkan perubahan sifat mineral, kimia, fisika, dan biologi tanah sawah. Perubahan tersebut antara lain hancurnya suatu jenis mineral tanah oleh proses ferolisis, turunnya pH tanah secara drastis karena teroksidasinya lapisan tanah yang mengandung pirit, terjadinya iluviasi ataupun eluviasi partikel tanah dan perubahan sifat fisika dan biologi tanah sawah akibat proses pelumpuran dan perubahan drainase tanah.

Peranan mineral di tanah sawah sangatlah penting, selain sebagai sumber hara juga berperan dalam menentukan muatan tanahnya. Mineral mempunyai muatan yang bervariasi, ada yang negatif adapula yang positif, sehingga tanah sawah yang didominasi oleh mineral dengan muatan negatif, seperti smektit, akan lebih reaktif bila dibandingkan dengan tanah sawah yang didominasi mineral dengan muatan positif, seperti oksida besi. Pelapukan mineral dalam tanah akan menghasilkan unsur-unsur hara makro, seperti : Ca, Mg, Na, dan K, yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman.

Penelitian mengenai tanah sawah di Indonesia telah banyak dilakukan, antara lain di daerah pantai utara Jawa Barat (Prasetyo *et al.*, 1996; Prasetyo *et al.*, 1997), di daerah Tugumulyo (Setyawan dan Warsito, 1999), di daerah Lampung (Prasetyo dan Kasno, 2001), dan di daerah Gorontalo (Hikmatullah

et al., 2002). Hasil dari penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa sifat dan karakterisasi tanah sawah sangat dipengaruhi oleh bahan induk tanahnya.

Makalah ini akan membahas mengenai pengaruh bahan vulkan pada karakteristik dan sifat tanah sawah di daerah Pati, Ngawi, dan Klaten.

BAHAN DAN METODE

Dua buah profil tanah sawah berasal dari Desa Mojolawean, Kecamatan Gabus, Kabupaten Pati (Pedon KHH1) berbahan induk napal pasiran dan dari Desa Nglarangan, Kecamatan Karangasri, Kabupaten Ngawi (Pedon KHH2) berbahan induk batuan napal telah digunakan untuk diteliti pengaruh bahan vulkannya, dan sebagai bandingan digunakan sebuah pedon dari Desa Bentangan, Kecamatan Wonosari, Kabupaten Klaten (Pedon KHH3) yang berbahan induk bahan aluvial vulkan. Napal adalah batuan sedimen yang kurang lebih tersusun atas batu liat 50% dan bahan karbonat 50%, sedangkan bahan aluvium vulkan merupakan bahan endapan vulkan yang belum terkonsolidasi.

Sebanyak 15 contoh tanah diambil dari setiap horizon tanah untuk keperluan analisis sifat fisika, mineral, dan kimia di laboratorium. Pengamatan sifat morfologi tanah di lapangan dilaksanakan mengikuti petunjuk dari *Soil Survey Manual* (Soil Survey Staff, 1993) dan klasifikasi tanah mengikuti sistem Taksonomi Tanah (Soil Survey Staff, 2003).

Analisis sifat fisika dan kimia contoh tanah dari profil tanah meliputi : analisis fraksi pasir, debu, dan liat dengan metode pipet; pH (H₂O, KCl); C-organik dengan metode Walkey dan Black; N total dengan metode Kjeldahl; P₂O₅ dan K₂O₅ dengan 25% HCl; basa-basa dapat tukar dan kapasitas tukar kation dengan 1 N NH₄OAc pH 7; dan Al dapat ditukar dengan 1 N KCl. Analisis fisika dan kimia tanah mengikuti metode yang tercantum dalam *Soil Survey Laboratory Staff* (1991). Evaluasi sifat kimia tanah mengikuti prosedur yang biasa digunakan oleh Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat (Pusat Penelitian Tanah, 1982).

Analisis mineral pasir fraksi total dan berat dilakukan menggunakan mikroskop polarisasi dengan metode *line counting*, sedangkan untuk fraksi liat menggunakan difraktometer sinar x (XRD) dengan metode penjumlahan Mg^{2+} , $Mg^{2+} + glycerol$, K^+ , dan $K^+ + pemanasan$ hingga suhu $550^{\circ} C$ (Moore and Reynolds, 1989; van Reeuwijk, 1993). Analisis mineral hanya dilakukan pada horizon tanah paling atas (lapisan olah) dan horizon paling bawah (horizon C) untuk mendeteksi homogenitas bahan induk tanah dan perubahan sifat yang terjadi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat morfologi

Dari ketiga warna matrik, hanya tanah sawah dari Pati yang tidak menunjukkan warna glei (Tabel 1). Tidak terbentuknya warna glei disebabkan oleh intensitas penggenangannya yang berbeda. Gejala pembentukan warna gley yang disebabkan fluktuasi air tanah baru muncul mulai kedalaman 70 cm. Perbedaan sistem penanaman padi nampaknya berpengaruh pada pembentukan warna glei, karena

tanah sawah dari Pati hanya ditanami padi sekali setahun, sedangkan sawah dari Ngawi ditanami padi dua kali setahun dan sawah dari Klaten tiga kali setahun.

Tanah sawah dari Pati yang berkembang dari batu napal berpasir mempunyai sebaran besar butir yang paling kasar, teksturnya termasuk berlempung di lapisan atas (*top soil*) dan lempung berdebu di lapisan bawah (*sub soil*). Tanah sawah dari Ngawi, mempunyai tekstur yang tergolong liat berat, dengan kandungan fraksi liat > 60%. Tanah ini berkembang dari batu napal, yang kandungan liatnya memang sudah tinggi, sehingga mempunyai kandungan fraksi liat juga tinggi. Tanah sawah dari Klaten berkembang dari bahan aluvium halus, mempunyai tekstur liat di seluruh horizon tanahnya.

Perkembangan struktur tanah masih lemah, dengan bentuk gumpal membulat pada tanah sawah dari Pati dan Klaten, serta bentuk prismatik pada tanah sawah dari Ngawi. *Slickenside* (bidang kilir) dijumpai pada tanah sawah dari Ngawi mulai kedalaman 10 hingga 70 cm, dan pada tanah sawah dari Klaten mulai kedalaman 17 hingga 30 cm. Pada tanah dari Pati, walaupun terlihat ada retakan, tidak dijumpai bidang kilir.

Tabel 1. Beberapa sifat morfologi tanah sawah dan klasifikasinya

Table 1. Some morphology characteristics of paddy soils and their classification

Kedalaman cm	Horizon	Warna matrik	Tekstur	Struktur	Klasifikasi tanah*)
<i>Tanah sawah dari Pati KHH1</i>					
0-18	Ap	7,5YR 4/2	L	Sb, c, 1	<i>Oxyaquic Eutrudepts</i>
18-37	Bw1	10YR 5/6	CL	Sb, vc, 1	
37-70	Bw2	10YR 5/3	SiL	Sb, c, 1	
70-106	BC	2,5Y 6/1	SiL	Sb, vc, 1	
106-130	C	2,5Y 6/1	C	M	
<i>Tanah sawah dari Ngawi KHH2</i>					
0-10	Ap	10YR 3/1	(h) C	Sb, m, 1	<i>Typic Endoaquerts</i>
10-23	Bss1	5Y 4/1	(h) C	P, m, 1	
23-44	Bss2	5Y 4/1	(h) C	P, m, 1	
44-70	BC	5Y 4/1	(h) C	P, m, 1	
70-93	C	5Y 5/1	(h) C	P, m, 1	
<i>Tanah sawah dari Klaten KHH3</i>					
0-17	Ap	10YR 5/1	C	Sb, m, 1	<i>Vertic Endoaquerts</i>
17-30	Bg1	5Y 3/1	C	Sb-m, f, 1	
30-70	Bg2	5Y 3/1	C	Sb-m, m, 1	
70-110	BC	5Y 4/1	C	Sb-m, m, 1	

*) Soil Taxonomy (2003)

Tabel 2. Komposisi mineral pasir fraksi total dari tanah-tanah sawah

Table 2. Sand mineral composition of total fraction from paddy soils

Kedalaman cm	Komposisi mineral pasir fraksi total													
	Op	Ku	Ko	Lp	Fb	Gv	An	La	Bi	Or	Sa	Hr	Au	Hi
 %													
<i>Tanah sawah dari Pati KHH1</i>														
0 - 18	3	86	1	sp	5	-	-	sp	-	2	4	sp	sp	sp
130-150	8	3	-	3	14	1	1	58	sp	sp	1	10	1	sp
<i>Tanah sawah dari Ngawi KHH2</i>														
0 - 10	8	5		sp	5	1	1	59	sp	sp	sp	16	2	3
70 - 93	6	5		1	3	1	1	62	sp	-	sp	19	1	1
<i>Tanah sawah dari Klaten KHH3</i>														
0 - 17	22	sp	sp	sp	9	2	2	24	2		sp	12	16	11
70 - 110	14	sp	sp	1	13	2	1	31	-		-	14	15	9

Keterangan : Op = Opak, Ku = Kuarsa, Ko = Konkresi besi, Lp = Lapukan, Fb = Fragmen batuan, Gv = Gelas vulkan, An = Andesin, La = Labradorit, Bi= Bitownit, Or = Ortoklas, Sa = Sanidin, Hr = Hornblende, Au = Augit, Hi = Hiperstin

Di ketiga tanah sawah, tidak nampak dengan jelas adanya lapisan tapak bajak. Pembentukan lapisan tapak bajak pada ketiga sawah ini terkendala oleh dominasi mineral liat smektit pada ketiga tanah sawah yang diteliti. Tanah sawah yang didominasi mineral liat tipe 2:1 (smektit) akan sulit membentuk lapisan tapak bajak karena sifat mengembang dan mengkerut dari mineral tersebut. Lapisan tapak bajak yang mulai terbentuk akan hancur ketika terjadi pengerutan pada mineral smektit. Tekstur tanah sawah yang terlalu kasar atau terlalu halus, atau adanya sifat tanah yang mengembang dan mengkerut merupakan faktor penghalang terbentuknya lapisan tapak bajak (Harjowigeno *et al.*, 2004).

Berdasarkan sifat morfologi tanah, kenampakan penampang tanah di lapangan dan ditunjang dengan data kimia, tanah sawah telah diklasifikasikan menurut sistem *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 2003). Tanah sawah dari Pati (KHH1) tidak mempunyai warna glei pada kedalaman antara 40-50 cm, mempunyai horizon kambik dengan nilai kejenuhan basa > 60% diklasifikasikan sebagai *Oxyaquic Eutrudepts*; tanah sawah dari Ngawi (KHH2) mempunyai warna glei dengan kroma satu, dan sifat vertikal, diklasifikasikan sebagai *Typic Endoaquerts*; dan tanah sawah dari Klaten (KHH3) mempunyai warna glei dengan kroma satu, dan

lapisan setebal 13 cm yang mempunyai bidang kilir, diklasifikasikan sebagai *Vertic Endoaqupts*.

Komposisi mineral

Komposisi mineral pasir fraksi total dari ketiga tanah sawah yang diteliti menunjukkan sifat yang bervariasi. Pada tanah sawah dari Pati, komposisi mineral pasir fraksi total di lapisan atasnya didominasi oleh mineral kuarsa dengan kandungan mineral mudah lapuk (ortoklas, sanidin) yang sangat rendah, akan tetapi horizon bawahnya didominasi oleh labradorit dengan mineral mudah lapuk lainnya, seperti : hornblende dan augit (Tabel 2). Komposisi ini menunjukkan bahwa lapisan atas tanah sawah dari Pati tersusun oleh bahan yang berbeda dengan lapisan bawahnya. Lapisan atas tersusun oleh bahan masam yang dicirikan oleh asosiasi mineral kuarsa, ortoklas dan sanidin, sedangkan horizon bawahnya menunjukkan bahan vulkan yang bersifat intermedier, dengan asosiasi mineral labradorit dan hornblende. Sumber mineral masam seperti kuarsa menurut Datun (1979) berasal dari bahan hasil rombakan granit, gneiss, dan skis yang mempengaruhi susunan bahan endapan napal pasir di daerah Gabus, Pati. Sumber bahan vulkan diduga berasal dari Gunung Muria yang bersifat basaltik.

Data susunan mineral fraksi berat (Tabel 3) juga mendukung hipotesis adanya perbedaan bahan. Lapisan atas fraksi berat tanah sawah dari Pati didominasi oleh asosiasi mineral opak, zirkon, augit, dan hiperstin, sedangkan lapisan bawahnya tersusun dari asosiasi hornblende dan opak. Baik dari susunan mineral pasir fraksi total maupun mineral pasir fraksi berat sudah tidak tercermin secara spesifik sifat karbonatan, yang biasanya diindikasikan dengan adanya mineral kalsit dari bahan induk tanah napal pasiran.

Perbedaan bahan penyusun tanah sawah antara lapisan atas dan lapisan bawah akan mempengaruhi beberapa sifat tanah sawah dari Pati, antara lain : komposisi mineral liat, pH, susunan kation, dan kapasitas tukar kation (KTK) tanah.

Susunan mineral pasir pada tanah sawah dari Ngawi, baik di lapisan atas maupun di lapisan bawah, menunjukkan asosiasi mineral yang sama. Fraksi total didominasi oleh asosiasi labradorit dan hornblende, sedangkan fraksi beratnya didominasi oleh asosiasi hornblende dan opak. Asosiasi mineral tersebut menunjukkan adanya pengaruh bahan vulkan intermedier yang diduga berasal dari Gunung Lawu pada bahan induk tanahnya. Sifat karbonatan yang dicirikan oleh mineral kalsit (CaCO₃) dari napal

sudah tidak muncul. Komposisi tersebut mirip dengan komposisi mineral pasir pada tanah Typic Pelluderts dari daerah Ngawi, berbahan induk vulkan Gunung Lawu yang dilaporkan oleh Subagyo (1983). Namun susunan mineral tersebut sedikit berbeda dengan komposisi mineral pasir pada tanah Vertisol dari daerah Ngawi lainnya yang berbahan induk napal, didominasi oleh plagioklas dan hiperstin (Mulyanto *et al.*, 2001).

Komposisi mineral pasir pada tanah sawah dari Klaten agak berbeda dengan tanah sawah dari Pati dan Ngawi. Komposisi mineral fraksi totalnya merupakan asosiasi dari mineral labradorit, hornblende, augit, hiperstin, sedangkan komposisi mineral fraksi berat merupakan asosiasi augit, hornblende, hiperstin, dan opak. Asosiasi mineral tersebut mengindikasikan bahwa bahan aluvium penyusun tanah sawah dari Klaten diduga berasal dari rombakan bahan vulkan (lahar) Gunung Merapi yang bersifat basaltik.

Susunan mineral fraksi pasir (total dan berat) dari ketiga tanah sawah yang diteliti menunjukkan bahwa tanah-tanah sawah tersebut mempunyai cadangan sumber hara yang tinggi. Bahan napal umumnya hanya meningkatkan kandungan Ca dalam tanah. Namun mineral-mineral hornblende, augit,

Tabel 3. Komposisi mineral pasir fraksi berat dari tanah-tanah sawah

Table 3. Sand mineral composition of heavy fraction from paddy soils

Kedalaman cm	Komposisi mineral pasir fraksi berat											
	Op	Zi	Ko	Hr	Au	Hi	Ep	Tu	An	Mo	Ga	Ru
..... %												
<i>Tanah sawah dari Pati KHH1</i>												
0 - 18	57	37	15	4	21	13	6	3	2	8	2	4
130-150	25	1	-	94	3	1	sp	-	-	sp	-	1
<i>Tanah sawah dari Ngawi KHH2</i>												
0 - 10	31	1	sp	73	7	18	sp			sp		1
70 - 93	28	sp	-	88	5	6	1			sp		sp
<i>Tanah sawah dari Klaten KHH3</i>												
0 - 17	36	-	sp	39	39	22						sp
70 - 110	26	sp	1	29	39	32						-

Keterangan : Op = Opak, Zr = Zirkon, Ko = Konkresi besi, Hr = hornblende, Au – Augit, Hi = Hiperstin, Ep = Epidot, Tu = Turmalin, An = Andalusit, Mo = Monasit, Ga = Garnet, Ru = Rutil

dan hiperstin juga merupakan sumber Ca dan Mg dalam tanah. Menurut Mohr *et al.* (1972), sumber Ca dalam tanah diantaranya adalah augit (16-26% CaO), dan hiperstin (19-25% CaO), dan sumber Mg adalah augit (13-21% MgO) dan hornblende (2-25% MgO). Selain itu, mineral labradorit yang merupakan kelompok plagioklas juga merupakan sumber Ca dalam tanah. Banyaknya sumber Ca dalam tanah dapat menjelaskan mengapa Ca di dalam tanah selalu lebih tinggi konsentrasinya dibandingkan Mg, Na, dan K. Ada tidaknya mineral plagioklas dalam bahan induk tanah akan mempengaruhi tingkat produktivitas tanah (Huang, 1989).

Semua tanah sawah yang diteliti didominasi oleh mineral liat smektit. Mineral smektit adalah tipe mineral 2:1 yang keberadaannya di tanah sawah dapat mempengaruhi sifat fisika dan kimia tanah sawah tersebut. Sifat smektit yang penting antara lain mempunyai muatan negatif (*negative charge*) yang menyebabkan mineral ini sangat reaktif dalam lingkungannya, mempunyai KTK yang tinggi, dan kemampuannya yang dapat mengembang bila basah ataupun mengkerut bila kering. Di dalam tanah,

mineral smektit dapat berasal dari bahan induk tanah (*inherited*), dan hasil pelapukan mineral phillosilikat (Allen and Hajek, 1989).

Pembentukan mineral smektit memerlukan lingkungan yang berdrainase jelek, dengan pH netral hingga alkalis, dan akumulasi basa-basa terutama Mg, dan silika merupakan lingkungan yang sesuai untuk pembentukan mineral smektit (De Coninck, 1974; Borchardt; 1989, Van Wambeke, 1992). Peneliti-peneliti terdahulu juga menyatakan bahwa mineral smektit dapat terbentuk melalui proses pelarutan mineral plagioklas dari pelapukan batuan andesit (Glassmann, 1982), atau hasil pelapukan langsung dari feldspar pada tanah-tanah Vertisols (Nettleton *et al.*, 1970), hasil pelapukan dari hornblende (Paddy *et al.*, 1985) dan hasil pelarutan mineral augit (Glassmann, 1982; Glassmann and Simonson, 1985).

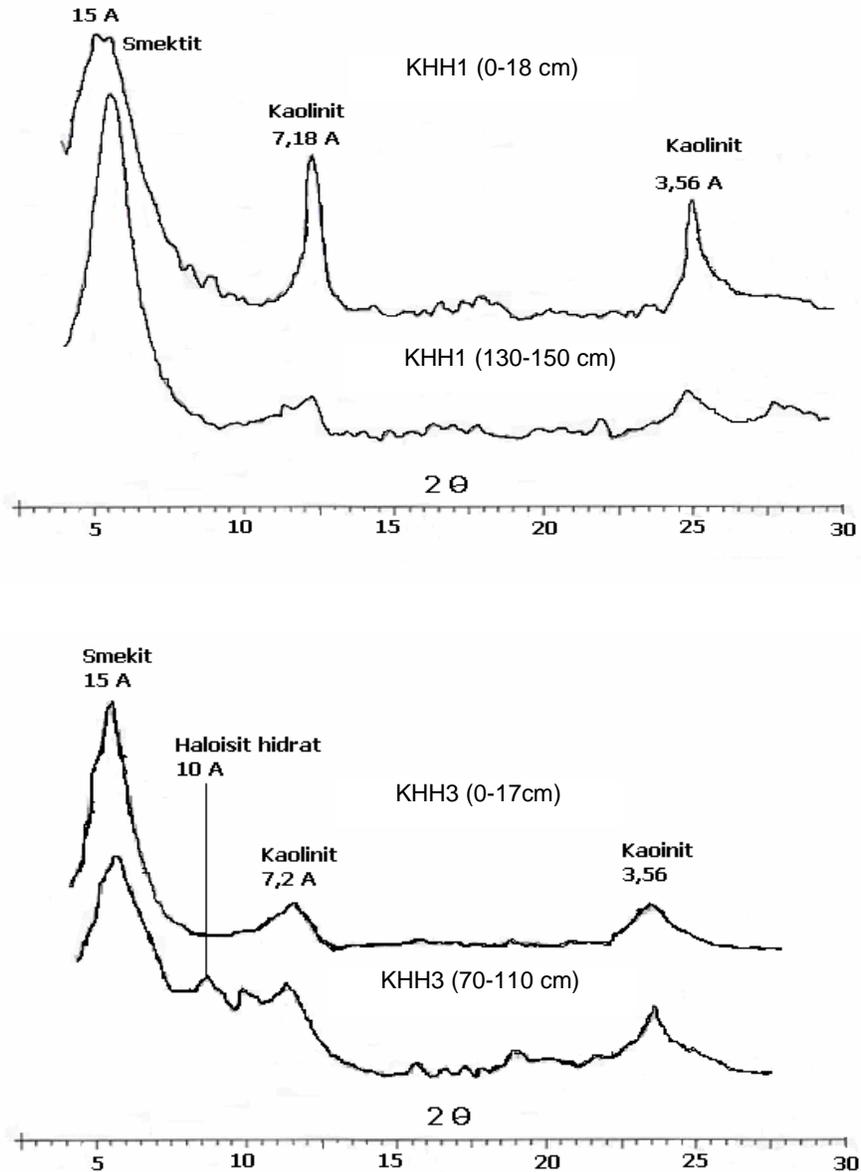
Kaolinit dijumpai dalam jumlah sangat sedikit hingga sedang (Tabel 4). Jumlah kaolinit pada tanah sawah dari Pati (Gambar 1), terutama di lapisan atas lebih banyak dari horizon tanah sawah lainnya.

Tabel 4. Komposisi mineral liat dan debu lapisan atas dan bawah dari tanah sawah di Pati, Ngawi, dan Klaten

Table 4. Clay mineral composition of topsoil and subsoil from paddy soils from Pati, Ngawi, and Klaten

Kedalaman cm	Smektit	Kaolinit	Haloisit hidrat	Illit	Kuarsa	Kristobalit
<i>KHH1</i>						
0-18	+++	++		+		
130-150	++++	+			(+)	(+)
<i>KHH2</i>						
0-10	++++	+			(+)	(+)
70-93	++++	(+)				
<i>KHH3</i>						
0-17	++++	+				(+)
70-110	++++	+		+		

Keterangan : + + + + = dominan; + + + = banyak; + + = sedang; + = sedikit; (+) = sangat sedikit



Gambar 1. Difraktogram sinar X dari lapisan atas dan bawah tanah sawah dari Pati (KHH1) dan Klaten (KHH3)

Figure 1. X-ray diffractogram of topsoil and subsoil of paddy soil from Pati (KHH1) and Klaten (KHH3)

Perbedaan ini diantaranya disebabkan adanya sumber pembentuk kaolinit yang lain yaitu pelapukan mineral ortoklas dan sanidin disatu pihak dan pelapukan mineral smektit pada pH masam di pihak yang lain. Pada tanah sawah dari Pati juga dijumpai mineral illit yang berasal dari pelapukan mika dalam jumlah sedikit. Pada semua tanah sawah

terdapatnya kaolinit juga diduga berasal dari perkembangan lanjut dari haloisit yang terbentuk sebagai pelapukan awal dari bahan plagioklas.

Kuarsa dalam fraksi liat dijumpai pada tanah sawah dari Pati maupun Ngawi, sedangkan kristobalit dijumpai pada semua tanah sawah. Terdapatnya kuarsa pada tanah sawah dari Pati dan

Ngawi bukan kuarsa sekunder, melainkan mineral primer kuarsa yang berukuran seperti fraksi liat, dan biasa terdapat pada batuan sedimen halus seperti napal. Pada tanah sawah dari Klaten kuarsa tidak dijumpai baik pada fraksi pasir maupun pada fraksi liat, karena tanah sawah ini berkembang dari bahan basaltik yang hampir tidak mengandung kuarsa. Kristobalit terdapat pada semua jenis tanah sawah. Hal ini memperkuat hipotesis adanya pengaruh bahan vulkan.

Jenis dan jumlah mineral liat dapat mempengaruhi sifat fisika dan kimia tanah sawah. Tanah sawah yang didominasi oleh mineral smektit, pada waktu kering akan rekah-rekah dan menjadi sangat keras sehingga sulit untuk diolah. Sebaliknya dimusim basah tanah akan mengembang dan melumpur, dan umumnya sangat lekat. Kondisi tanah yang selalu dalam keadaan lembab sangat diperlukan untuk menjaga agar tanah tidak menjadi rekah-rekah dan juga tidak terlalu berlumpur.

Tanah sawah yang didominasi oleh mineral smektit juga mencirikan terjadinya akumulasi basa-basa dan lingkungan yang bereaksi netral hingga basis, dan mempunyai muatan negatif yang tinggi (KTK tinggi) karena adanya substitusi Al^{3+} oleh Mg^{2+} . Namun bila terjadi perubahan sifat lingkungan (misalnya penurunan pH tanah), pelapukan mineral smektit dapat menghasilkan Al_{d} dalam jumlah yang cukup signifikan.

Tanah yang disawahkan mengalami kondisi tergenang dan kering yang bergantian dalam periode yang lama, sehingga kondisi ini dapat mempercepat terjadinya pelapukan pada beberapa jenis mineral liat yang dikandungnya. Ferolisis adalah proses pembentukan tanah yang diakibatkan oleh penghancuran mineral liat oleh kondisi oksidasi dan reduksi yang silih berganti (Brinkman, 1970). Dalam proses ini terjadi pelepasan Al dan kation lain dari kisi lapisan Al-oktahedron dan Si-tetrahedron pada struktur mineral liat.

Aluminium yang terbebaskan dari mineral smektit akan menjadi polimer Al yang terbentuk di antara lapisan maupun melapisi mineral liat tipe 2:1.

Karena polimer Al bermuatan positif maka polimer ini akan menetralkan muatan negatif pada permukaan mineral liat, yang dapat menyebabkan terjadinya penurunan KTK dari mineral 2:1 karena muatan negatif yang terdapat pada tapak pertukaran (*site exchange*) telah didominasi oleh polimer Al yang bermuatan positif.

Hasil penelitian Munir (1987) menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan jenis mineral liat pada beberapa jenis tanah yang disawahkan. Mineral liat tipe 2:1 seperti smektit pada lapisan olah di beberapa lokasi persawahan telah mengalami pelapisan (*interlayer*) oleh polimer Al. Menurut Barnhisel (1989) pelapisan pada smektit dikatakan penuh bila difraktogram hasil analisis dengan XRD pada perlakuan pemanasan $550^{\circ}C$ menunjukkan $d(001)$ 14 \AA . Sedangkan bila nilainya antara 14 \AA hingga lebih besar dari 10 \AA dikatakan pelapisannya belum penuh.

Pelapisan oleh polimer Al terjadi bila tanah masam, banyak unsur Al, dan ada proses penggenangan dan pengeringan yang silih berganti. Pelapisan mineral oleh polimer Al hanya dimungkinkan terjadi pada mineral tipe 2:1 karena mineral ini mempunyai permukaan dalam (*internal surface*) yang terletak di antara kisi-kisi mineral. Proses ferolisis yang terjadi sebagai akibat penyawahkan yang menyebabkan penurunan KTK ini sangat merugikan karena dapat menurunkan produktivitas tanah. Kemampuan tanah untuk menahan unsur hara dari pemupukan akan menurun sehingga sebagian unsur hara akan hilang tercuci.

Bila komposisi mineral ketiga tanah sawah ini dibandingkan dengan tanah sawah yang dipengaruhi bahan vulkan lainnya, ternyata bahan induk tanah memegang peranan yang penting sebagai penyebab terjadinya perbedaan sifat tanah sawah, yang berupa komposisi mineral, kation dapat tukar dan nilai KTK tanahnya. Sebagai bandingan, tanah sawah Hapluderts (Vertisols) yang berkembang dari bahan vulkan di daerah Madiun (Prasetyo *et al.*, 1996) didominasi oleh asosiasi mineral augit dan hornblende dengan nilai KTK antara 58-101 cmol_c.

kg⁻¹; tanah sawah Endoaquerts (Vertisols) dari bahan endapan lakustrin di daerah Gorontalo (Hikmatullah *et al.*, 2002), yang dipengaruhi bahan volkan didominasi oleh asosiasi mineral orthoklas dan sanidin, mempunyai nilai KTK antara 11-45 cmol_c kg⁻¹; tanah sawah Vertic Endoaquepts (Inceptisols) dari bahan aluvial yang dipengaruhi bahan volkan di daerah Karawang (Prasetyo *et al.*, 1997), komposisi mineralnya didominasi oleh hornblende dan hiperstin mempunyai KTK antara 32-52 cmol_c kg⁻¹; dan tanah sawah Fluvaquentic Epiaquepts (Inceptisols) di Tanggamus (Prasetyo dan Kasno, 2001) didominasi oleh kuarsa, andesin, dan gelas volkan mempunyai KTK antara 17-29 cmol_c kg⁻¹.

Sifat kimia

Ketiga tanah sawah yang diteliti mempunyai reaksi tanah yang tergolong masam hingga netral, dengan nilai pH antara 5,0 hingga 7,4 (Tabel 5). Nilai pH tanah antara 4-7 merupakan nilai yang cocok untuk tanah sawah, akan tetapi nilai pH yang paling baik adalah sekitar 5-6 (Dent, 1978).

Tanah sawah dari Pati di lapisan atasnya mempunyai pH yang masam hingga agak masam (pH 5,0-6,1), akan tetapi lapisan bawahnya mempunyai reaksi tanah yang netral (pH 6,8-7,4), dengan kecenderungan makin ke bawah pH tanah makin tinggi. Adanya bahan yang berbeda antara lapisan atas dan bawahnya, merupakan penyebab masamnya tanah di lapisan atas. Meningkatnya pH tanah dengan kedalaman tanah merupakan pengaruh dari bahan induk tanahnya yang mempunyai bahan karbonatan dengan pH yang cenderung netral.

Pada tanah sawah dari Ngawi, reaksi tanah cenderung seragam dan tergolong agak masam hingga netral (pH 6,0-7,4). Perkembangan profil tanah merupakan salah satu penyebab agak masamnya pH tanah di lapisan atas, ke arah bawah pH meningkat karena pengaruh bahan induk tanahnya. Demikian juga pada tanah sawah dari Klaten, reaksi tanah agak masam di lapisan atas dan netral di lapisan bawah.

Kandungan C-organik pada tanah sawah dari pati dan Ngawi tergolong sangat rendah (<1%), sedangkan pada tanah dari Klaten tergolong sedang

Tabel 5. Tekstur, pH, C-organik, P dan K dari tanah sawah di Pati, Ngawi, dan Klaten

Table 5. Texture, pH, organic-C, P and K of paddy soils from Pati, Ngawi, and Klaten

Profil	Tekstur			Ekstrak 1:5		Bahan organik			HCl 25%		Olsen
	Pasir	Debu	Liat	pH H ₂ O	pH KCl	C	N	C/N	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅
 % % mg 100g ⁻¹ ..		ppm
<i>Tanah sawah dari Pati KHH1</i>											
0 - 18	34	47	19	5,0	4,1	0,79	0,10	8	36	10	66
18 - 37	29	45	26	6,1	5,6	0,26	0,03	9	9	12	16
37 - 70	14	67	19	6,8	6,0	0,22	0,03	7	6	16	13
70 -106	11	76	13	7,1	6,1	0,20	0,02	10	7	16	15
106 -130	32	39	29	7,2	6,1	0,17	0,02	9	24	14	16
130 -150	24	26	50	7,4	6,5	0,20	0,01	20	13	17	16
<i>Tanah sawah dari Ngawi KHH2</i>											
0 - 10	14	23	63	6,0	5,1	0,67	0,10	7	41	19	78
10 - 23	13	22	65	6,2	5,0	0,33	0,05	7	15	8	34
23 - 44	6	20	74	6,2	5,1	0,46	0,04	12	6	8	28
44 - 70	4	16	80	6,4	5,6	0,40	0,04	10	5	13	23
70 - 93	7	19	74	7,4	6,7	0,32	0,03	11	26	11	26
<i>Tanah sawah dari Klaten KHH3</i>											
0 - 17	13	37	50	6,0	5,4	2,01	0,29	7	88	25	131
17 - 30	12	37	51	6,8	6,0	1,33	0,16	8	45	23	85
30 - 70	9	34	57	6,9	6,0	0,67	0,08	8	18	17	35
70 - 110	22	23	55	6,8	5,9	0,33	0,04	8	35	20	43

di lapisan atas dan sangat rendah di lapisan bawahnya. Sebagian besar tanah sawah di Indonesia mempunyai kandungan bahan organik < 2% (Kasno *et al.*, 2003). Secara umum kandungan C-organik pada tanah sawah mineral di daerah tropis Asia lebih tinggi, berkisar antara 3-8% (Neue, 1985).

Kandungan N total pada tanah sawah dari Pati dan Ngawi tergolong rendah hingga sangat rendah (0,10-0,01%), untuk tanah sawah dari Klaten tergolong sedang di lapisan atas (0,29%) dan sangat rendah di lapisan bawah. Pada lahan basah di daerah tropis Asia kandungan N totalnya sekitar 0,13% (Kyuma, 1985). Kesuburan tanah yang rendah diakibatkan oleh kekurangan unsur N merupakan kendala utama dari tanah sawah di daerah Asia Tenggara (De Datta, 1985).

Kandungan fosfat potensial (P_2O_5) ditetapkan dengan metode 25% HCl di lapisan atas tergolong sedang ($36 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) pada tanah sawah dari Pati, tinggi ($41 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) pada tanah sawah dari Ngawi dan sangat tinggi ($88 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) pada tanah sawah dari Klaten. Namun di lapisan bawahnya kandungan fosfat potensial (P_2O_5) tergolong rendah hingga sedang pada tanah sawah dari Pati dan Ngawi, serta tergolong sedang hingga tinggi pada tanah sawah dari Klaten. Perbedaan tersebut terutama disebabkan oleh pemupukan, dan ada kemungkinan juga disebabkan oleh perbedaan bahan induk tanahnya. Tingginya kandungan fosfat potensial (P_2O_5) pada tanah sawah dari Klaten berhubungan dengan bahan induk tanahnya yang merupakan hasil erupsi Gunung Merapi. Penelitian kandungan P_2O_5 total dari hasil erupsi Gunung Merapi menunjukkan nilai 0,43% pada letusan tahun 1999 (Afani dan Partoyo, 2001).

Fosfat tersedia (P Olsen) tergolong tinggi hingga sangat tinggi (>20 ppm). Kondisi ini mengisyaratkan bahwa pada tanah sawah yang diteliti tidak ada masalah dengan P. Bahkan kandungan P tersedia di lapisan atasnya mencapai >65 ppm. Kandungan fosfat tersedia paling tinggi terdapat pada lapisan tanah sawah paling atas (*top*

soil). Hal ini diduga disebabkan oleh sisa-sisa pemupukan dan residu sisa tanaman.

Kandungan K potensial (K_2O , 25% HCl) tergolong rendah pada tanah sawah dari Pati, rendah hingga sangat rendah pada tanah sawah dari Ngawi dan sedang pada tanah sawah dari Klaten. Sumber K di tanah sawah dapat berasal dari mineral (biotit, muskovit, orthoklas, sanidin), bahan organik (jerami padi), dan air irigasi. Nampaknya mineral-mineral sumber K tersebut sudah tidak dijumpai ataupun memang tidak dijumpai dalam tanah (Tabel 2). Sebetulnya kalau mineral sumber K tersedia, maka pelapukan mineral primer akan membebaskan K_2O . Pengembalian jerami padi ke sawah, penggenangan, dan pembajakan tanah sawah dapat meningkatkan konsentrasi K_{dd} (Ponnamperuma, 1978). Air irigasi juga merupakan sumber penambahan K. Di daerah Jawa Barat tanah sawahnya memperoleh pengkayaan K dari air pengairan sebesar $7-47 \text{ kg } K_2O \text{ ha}^{-1}$, dan di daerah Jawa Timur sebesar $20-74 \text{ kg } K_2O \text{ ha}^{-1}$ (Soepartini *et al.*, 1996).

Susunan kation dapat dipertukarkan didominasi oleh kation Ca^{2+} , disusul oleh Mg^{2+} , Na^+ , dan K^+ (Tabel 6). Pada tanah-tanah yang berkembang dari batuan yang bersifat karbonatan (batu gamping, napal) dan bahan vulkan (batuan basalt, andesit, dan sebagainya) susunan kation dapat dipertukarkan selalu didominasi oleh Ca^{2+} , walaupun bandingannya berbeda antara yang berbahan induk dari bahan karbonatan dengan yang berbahan induk vulkan. Pada tanah dari bahan karbonatan bandingan Ca/Mg nya cenderung lebih besar dari bahan vulkan.

Kandungan Ca^{2+}_{dd} pada tanah sawah dari Pati tergolong sedang ($8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) di lapisan olah, tinggi ($>10 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) di lapisan bawah permukaan dan sangat tinggi ($>20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) di lapisan yang berdekatan dengan bahan induknya. Lapisan olah mempunyai kandungan Ca^{2+}_{dd} yang paling rendah disebabkan oleh bahan yang berbeda. Untuk seluruh lapisan tanah pada tanah sawah dari Pati, bandingan Ca/Mg cukup besar berkisar antara 7:1-12:1.

Tabel 6. Kation dapat tukar, kapasitas tukar kation, kejenuhan basa dan aluminium dapat ditukar dari tanah sawah di Pati, Ngawi, dan Klaten

Table 6. Exchangeable cation, cation exchange capacity, base saturation and exchangeable aluminum of paddy soils from Pati, Ngawi, and Klaten

Kedalaman cm	Kation dapat tukar				KTK tanah	Al ³⁺
	Ca	Mg	K	Na		
 cmol _c kg ⁻¹					
<i>Tanah sawah dari Pati (KHH1)</i>						
0-18	8,25	1,14	0,08	0,35	11,70	0,24
18-37	11,69	1,72	0,11	0,43	14,13	0,00
37-70	17,07	1,72	0,11	0,60	18,06	0,00
70-106	17,43	1,51	0,15	0,66	18,20	0,00
106-130	16,11	1,36	0,11	0,65	16,22	0,00
130-150	46,32	5,12	0,21	0,44	48,48	0,00
<i>Tanah sawah dari Ngawi (KHH2)</i>						
0-10	37,12	7,01	0,30	0,39	47,30	0,00
10-23	40,78	6,50	0,09	0,49	52,07	0,00
23-44	45,22	6,89	0,14	0,48	55,29	0,00
44-70	47,14	6,52	0,19	0,49	57,29	0,00
70-93	66,86	6,26	0,16	0,45	55,21	0,00
<i>Tanah sawah dari Klaten (KHH3)</i>						
0-17	20,66	9,89	0,45	0,68	31,46	0,00
17-30	21,52	11,08	0,36	0,82	32,82	0,00
30-70	20,87	11,99	0,27	0,89	35,05	0,00
70-110	23,57	11,18	0,29	1,71	41,25	0,00

Kandungan Ca²⁺_{dd} pada tanah sawah dari Ngawi tergolong sangat tinggi di semua horizon tanah, dengan rasio Ca/Mg berkisar antara 5:1-11:1. Hal ini merupakan ciri khusus pada tanah yang berkembang dari bahan karbonatan (napal). Pada tanah sawah dari Pati dan Ngawi yang berkembang dari bahan napal, kandungan Ca²⁺_{dd} yang sangat dominan berasal dari pelapukan mineral karbonat jenis kalsit, dan sebagian lagi berasal dari pelapukan mineral dari bahan vulkan seperti labradorit dan hiperstin.

Kandungan Ca²⁺_{dd} pada tanah sawah dari Klaten juga tergolong sangat tinggi, namun bandingan Ca/Mg relatif kecil, sekitar 2:1, yang mencirikan bahwa tanah berkembang dari bahan vulkan. Pada tanah sawah dari Klaten, baik Ca_{dd} maupun Mg_{dd} berasal dari pelapukan mineral yang berasal dari vulkan, tanpa tambahan dari mineral karbonatan, sehingga bandingan Ca/Mg kecil. Terlihat di sini bahwa pencampuran bahan vulkan pada tanah sawah yang berasal dari napal tidak

dapat merubah bandingan Ca/Mg dalam tanah. Untuk pertumbuhan tanaman padi yang optimal bandingan Ca²⁺_{dd}/Mg²⁺_{dd} adalah 3:1 hingga 4:1, sedangkan pada masa bunting sampai pembungaan adalah 1:1 hingga 1,5:1 (Setyorini *et al.*, 2004).

Susunan Na pada tanah sawah dari Pati dan Ngawi tergolong sedang (0,40-0,70 cmol_c kg⁻¹), sedangkan pada tanah sawah dari Klaten tergolong tinggi (0,80-1,0 cmol_c kg⁻¹), kecuali lapisan atasnya sedang. Napal sebagai bahan induk tanah merupakan bahan endapan marin, sehingga kandungan Na dapat berasal dari garam ataupun pelapukan mineral smektit. Relatif tingginya Na pada tanah sawah dari Klaten mengindikasikan bahwa bahan volkannya bersifat intermedier hingga basis.

Pada semua jenis tanah sawah yang diteliti kandungan K nya rendah (<4 cmol_c kg⁻¹). Kandungan K yang rendah ini karena bahan induk tanahnya miskin sumber K. Aluminium dapat dipertukarkan (Al_{dd}) terdeteksi pada lapisan atas tanah sawah dari Pati yang bersifat masam, pada

horizon tanah lainnya tidak terdeteksi adanya Al_{dd} , karena pH tanahnya tidak masam.

Kapasitas tukar kation (KTK) tanah sawah yang diteliti bervariasi, mulai dari rendah ($<16 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) hingga sangat tinggi ($>40 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi KTK tanah diantaranya adalah bahan organik dan jenis mineral liat pada fraksi liat. Semua tanah sawah mempunyai kandungan C-organik yang rendah, dengan demikian jenis mineral liat smektit yang paling berpengaruh pada KTK tanahnya.

Di antara ketiga tanah sawah, tanah sawah dari Pati mempunyai nilai KTK tanah yang paling rendah, berkisar dari $11,70 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ di lapisan olah hingga $48,48 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ di lapisan bawah. Terjadinya penurunan nilai KTK tanah dengan kedalaman horizon tanahnya berhubungan dengan perbedaan derajat pelapukan antara lapisan tanah atas dengan bawah.

Penurunan KTK tanah, terutama pada bagian atas tanah sawah dari Pati disebabkan oleh proses-proses pelapukan, yang dimulai dengan penurunan pH tanah. Penurunan pH tanah dari netral hingga masam mengakibatkan sebagian dari mineral smektit menjadi tidak stabil, dan melapuk menjadi kaolinit. Smektit merupakan jenis mineral 2:1 yang mempunyai KTK yang besar, dan tanah yang didominasi mineral ini akan menyebabkan KTK tanah menjadi tinggi. Nilai kapasitas mineral smektit berkisar antara 47 sampai $162 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Borchard, 1989). Apabila sebagian smektit melapuk menjadi kaolinit, akan terjadi penurunan KTK tanah, karena kaolinit nilai KTKnya sangat rendah, kaolinit murni mempunyai KTK antara $0-1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Lim *et al.*, 1980). KTK kaolinit dari tanah berkisar antara $1,2-12,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Prasetyo dan Gilkes, 1997; Brindley *et al.*, 1986).

KESIMPULAN

1. Bahan vulkan pada tanah sawah yang diteliti tercampur pada bahan induk tanahnya, sehingga hasil pelapukan bahan vulkan yang berupa unsur-unsur hara terdeteksi dalam tanah sawah.

2. Adanya pencampuran bahan vulkan dengan bahan induk lainnya, terutama pencampuran yang terjadi pada waktu pembentukan bahan induk tanah memberi dampak yang sangat menguntungkan, diantaranya cadangan hara tanah meningkat dan unsur hara makro terjaga. Namun pencampuran bahan vulkan tersebut belum dapat mengecilkkan bandingan Ca/Mg pada tanah sawah yang terbentuk dari bahan karbonatan (napal).
3. Keberadaan mineral primer fraksi pasir dari bahan vulkan seperti labradorit, hornblende, augit, hiperstin, dan mineral liat smektit meningkatkan tingkat kesuburan tanah, karena mineral-mineral tersebut merupakan sumber hara dan sumber muatan negatif yang dapat meningkatkan kapasitas tukar kation tanah.
4. Pada tanah sawah yang mineral liatnya didominasi oleh smektit, agar selalu ditanami, kondisi tanah sawah harus selalu lembab. Paling baik adalah bila tanah sawah tersebut mempunyai irigasi sepanjang tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Afany, M.R. dan Partoyo. 2001.** Pencirian abu vulkanik segar Gunung Merapi Yogyakarta. *Jurnal Tanah dan Air* 2(2):88-95.
- Allen, B.L. and B.F. Hajek. 1989.** Mineral occurrence in soil environment. pp 199-278. *In* J.B. Dixon and S.B. Weed (*Eds.*). *Minerals in Soil Environments*. Soil Sci. of Amer., Madison, Wisconsin, USA.
- Barnhisel, R.I. 1989.** Chlorit and hidroxy interlayering vermikulit and smectite. pp 331-356. *In* Dixon *et al.* (*Eds.*). *Mineral in Soil Environments*. Soil Sci. of Amer., Madison, Wisconsin, USA.
- Borchardt, G.A. 1989.** Montmorillonite and other smectite minerals. pp293-330. *In* J.B. Dixon and S.B. Weed (*Eds.*). *Minerals in Soil Environments*. Soil Sci. Of Amer., Madison, Wisconsin, USA.
- Brinkman, R. 1970.** Ferrollysis, a hydromorphic soil forming process. *Geoderma* 3:199-206.

- Briendly, G.W., C.C. Kao, J.L. Harison, M. Lipsicas, and R. Raythatha. 1986.** Relation between structural disorder and other characteristics of kaolinite and dickites. *Clays and Clay Minerals* 34:239-249.
- Datun, M. 1979.** Penelitian *Prevenance* Pasir Ngrayong Anggota Batu Gamping Orbitoid Atas, Formasi Rembang, dengan Mempergunakan Mineral Kuarsa pada Kasus Studi di Daerah Todanan, Jawa Tengah. Pertemuan Ilmiah Tahunan ke VII, Ikatan Ahli Geologi, Bandung.
- De Coninck, F. 1974.** Physico-chemical aspects of pedogenesis. State Univ. of Ghent.
- De Datta, S.K. 1985.** Availability and management of nitrogen in lowland paddy in relation to soil characteristics. pp 247-268. *In Wetland Soils: Characterization, Classification, and Utilization*. IRRI.
- Dent, F.J. 1978.** Land Suitability Classification. pp 273-294. *In IRRI. Soil and Paddy*. Los Banos, Philippines.
- Glasmann, J.R. 1982.** Alteration of andesit in wet, unstable soil of Oregon's western cascades. *Clays and Clay Minerals* 30:253-263.
- Glasmann, J.R and G.H. Simonson. 1985.** Alteration of basalt of western Oregon's. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:262-273.
- Hardjowigeno, S., H. Subagyo, dan M.L. Rayes. 2004.** Morfologi dan klasifikasi tanah sawah. Hlm 1-28. *Dalam F. Agus (Ed). Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya*. Puslitbangtanak.
- Hikmatullah, B.H. Prasetyo, dan M. Hendrisman. 2002.** Vertisol dari daerah Gorontalo: Sifat-sifat fisika-kimia dan komposisi mineralnya. *Jurnal Tanah dan Air* 3(1):21-32.
- Huang, P.M. 1989.** Felspars, 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.
- Kasno, A., D. Setyorini, dan Nurjaya. 2003.** Status C-organik lahan sawah di Indonesia. Kongres HITI Padang, 21-24 Juli 2003.
- Kyuma, K. 1985.** Fundamental characteristics of wetland soils. pp191-206. *In Wetland soils: Characterization, Classification and Utilization*. IRRI.
- Lim, C.H., M.L. Jackson, R.D. Koons, and P.A. Helmke. 1980.** Kaolin: Sources of differences in cation exchange capacities and cesium retention. *Clays Clay Minerals* 28: 223-229.
- Mohr, E.G.J., F.A. Van Baren, and J. Van Schuylenborgh. 1972.** Tropical Soil. Third Edition. The Hague Paris-Jakarta.
- Moore, D.M., and R.C. Reynolds, JR. 1989.** X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. Oxford University Press. 332 p.
- Mulyanto, D., M. Nurcholis, dan Triyanto. 2001.** Mineralogi Vertisol dari bahan induk tuf, napal, dan batu pasir. *Jurnal Tanah dan Air* 2(1):38-46.
- Munir, M. 1987.** Pengaruh penyawahan terhadap morfologi, pedogenesis, elektrokimia, dan klasifikasi tanah. Disertasi. Program Pasca Sarjana-IPB, Bogor.
- Nettleton, W.D., K.W. Flach, and R.E. Nelson.1970.** Pedogenic weathering of tonalite in Southern California, *Geoderma* 4:387-402.
- Neue, H. 1985.** Organic matter dynamic in wetland soils. pp 109-122. *In Wetland Soils: Characterization, Classification and Utilization*. IRRI.
- Ponnamperuma, F.N. 1978.** Electrochemical changes in submerged soils and the growth of paddy. pp 421-441. *In Soil and Paddy*. IRRI, Los Banos, Philippines.
- Prasetyo, B.H., A. Surya, B. Kaslan, dan M. Soekardi. 1977.** Tanah-tanah yang berkembang dari bahan endapan fluvio-marine di daerah Karawang, Jawa Barat. *Jurnal Tanah dan Iklim* (15):18-27.
- Prasetyo, B.H. dan A. Kasno. 2001.** Sifat morfologi, komposisi mineral, dan fisika-kimia tanah sawah irigasi di Propinsi Lampung. *Jurnal Tanah Tropika, Tahun VI* (12):155-168.
- Prasetyo, B.H. and R.J. Gilkes. 1997.** Properties of kaolinite from Oxisols and Alfisols in West Java. *AGRIVITA* 20(4):220-227.
- Prasetyo, B.H., M. Soekardi, dan Subagjo H. 1996.** Tanah-tanah sawah intensifikasi di Jawa: susunan mineral, sifat-sifat kimia, dan klasifikasinya. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk* (14):12-24.

- Pusat Penelitian Tanah. 1982.** TOR TIPE-A Survei Kapabilitas Tanah. Dokumentasi No. 1/1982. Proyek P3MT. Badan Litbang Pertanian, Bogor. Hlm 50.
- Paddy, T.J. Jr., S.W. Buol, and S.B. Weed. 1985.** Soil saprolite profiles derived from mafic rock in the North California Piedmon I. Chemical, Morphological, and Mineralogical Characteristics and Transformation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:171-178.
- Setyawan, D. dan Warsito. 1999.** Komposisi mineral tanah-tanah yang telah lama disawahkan di daerah Tugumulyo, Sumatera Selatan. *Jurnal Tanah Tropika.* Tahun IV 8:131-138.
- Setyorini, D., L.R. Widowati, dan S. Rochayati. 2004.** Teknologi pengelolaan hara tanah sawah intensifikasi. Hlm 137-168. *Dalam* F. Agus, A. Adimiharja, S. Hardjowigeno, A.M. Fagi, W. Hartatik (Eds). Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat.
- Soepartini, M., S. Widati, M.E. Suryadi, dan T. Prihatini. 1996.** Evaluasi kualitas dan sumbangan hara dari air pengairan di Jawa. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk* 14:25-30.
- Soil Survey Laboratory Staff. 1991.** Soil Survey Laboratory Methods Manual. SSIR Number 42. Version 1.0. United States Dept. of Agric. p 611.
- Soil Survey Staff. 1993.** Soil Survey Manual. USDA Handbook No. 18. United States Dept. of Agric., Washington DC.
- Soil Survey Staff. 2003.** Keys to Soil Taxonomy. United States Department of Agriculture Natural Research Conservation Service. Ninth Edition.
- Subagyo, H. 1983.** Pedogenesis dua pedon Grumosol (Vertisols) dari bahan vulkanik G. Lawu, dekat Ngawi dan Karanganyar. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk* 2:8-17.
- Van Reeuwijk, L.P. 1993.** Procedures for soil analysis. Fourth edition. Wageningen.
- Van Wambeke, A. 1992.** Soil of the Tropics. Properties and Appraisal. McGraw-Hill. Inc. New York.