KARAKTERISTIK TANAH SAWAH DARI ENDAPAN ALUVIAL DAN PENGELOLAANNYA

The Characteristics of Rice Soils Derived from Alluvial Deposite and their Management

B.H. Prasetyo[1] dan D. Setyorini[2]

[1] *Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor*
[2] *Balai Penelitian Tanah, Bogor*

ABSTRAK

Tanah sawah dari endapan aluvial tersebar hampir di seluruh kepulauan Indonesia, karena bahan penyusunnya merupakan hasil pengendapan dari proses-proses erosi maupun pelapukan di daerah hulu sungai atau daerah yang posisinya lebih tinggi, pada jarak jauh maupun dekat. Pada umumnya semakin jauh posisi endapan aluvial dari sumber bahan yang tererosi, sifat dari tanah sawah yang terbentuk akan semakin bervariasi, dan semakin dekat dengan sumber bahan tererosi sifat tanah sawahnya semakin homogen. Kandungan dan jenis mineral mudah lapuk yang merupakan sumber hara penting pada tanah sawah ini dipengaruhi oleh bahan asal dari endapan aluvial. Diantara bahan asal endapan aluvial tersebut, hasil rombakan dari bahan volkan yang bersifat *intermediate* hingga basis merupakan bahan yang paling banyak menghasilkan hara. Kendala yang banyak dijumpai pada tanah sawah aluvial adalah kemasaman dan miskin kandungan hara atau sumber hara tanah. Pemupukan berimbang yang didasarkan pada uji tanah merupakan cara terbaik mengelola tanah sawah aluvial. Untuk daerah yang sudah mempunyai peta status hara P dan K pada skala 1:50.000, rekomendasi pemupukan hara makro primer dapat mengacu pada peta tersebut, sedangkan untuk daerah yang belum dipetakan harus dilakukan analisis uji tanah. Pengembalian jerami ke petak sawah sangat direkomendasikan karena pengembalian jerami dapat menghemat penggunaan pupuk terutama kalium (K).

Kata kunci : Tanah sawah aluvial, karakteristik, pengelolaan

ABSTRACT

Rice soils derived from alluvial deposite were spread almost in all Indonesian archipelago, due to the fact that the parent materials were resulted from sedimentation processes after erosion or weathering either in the upper course of river or the higher place, from the far or short distance. Generally the more distance of sediment material from the source of erosion or weathering, the more variation in the properties, and the closer of sediment material from the source of erosion or weathering, the more homogeny of the sediment material properties. The content and kind of weatherable mineral which were act as important source of nutrient in the rice soils were influenced by parent materials. Among the parent materials, the sediment from intermediate to basic volcanic materials was the best supplier of nutrients. The most constrain in the alluvial rice soils are acidity and the nutrient content or source of nutrients. A balanced fertilizing based on soil testing is the best way to manage alluvial rice soils. For the area which is already had P and K nutrient status map at 1:50,000 scale, the fertilizing recommendation of primer macro nutrients could be refered to the map, while for the area that do not has a P and K nutrient status, the soil testing analyses should be done. Return straw to the rice field is strongly recommended, because returned straw could be thrifty application of fertilizer, especially kalium (K).

Keywords : Alluvial rice soil, characteristics, management

Tanah sawah berdasarkan asalnya dapat dibedakan atas sawah dari endapan aluvial, sawah dari lahan kering, sawah dari rawa lebak, dan sawah dari rawa pasang surut. Tanah sawah dari endapan aluvial diperkirakan mempunyai luasan terbesar dibandingkan dengan jenis tanah lainnya. Dugaan ini didasarkan pada kondisi bahwa endapan aluvial dapat dijumpai hampir di seluruh daerah di Indonesia. Di lapangan tanah sawah dari endapan aluvial ini dapat dijumpai dalam bentuk sawah irigasi maupun sawah tadah hujan.

Endapan aluvial merupakan bahan endapan, hasil erosi ataupun pelapukan dari daerah hulu sungai yang terendapkan di daerah hilir yang reliefnya tergolong datar ataupun cekung melalui proses sedimentasi. Pada umumnya semakin jauh posisi endapan aluvial dari sumber bahan yang tererosi, sifat fisik dari tanah sawah yang terbentuk akan semakin halus, dan semakin dekat dengan sumber bahan

tererosi sifat tanah sawahnya semakin kasar. Selain itu semakin panjang sungai akan semakin banyak anak sungainya, semakin banyak jenis bahan yang terangkut pada aliran sungai, dan semakin pendek sungainya semakin sedikit bahan yang terangkut dan terendapkan oleh sungai tersebut.

Bahan endapan aluvial merupakan bahan pembentuk tanah yang sangat potensial, karena bahannya merupakan hasil pengendapan atau akumulasi, pada umumnya terletak di daerah datar, dekat dengan sumber air, dan merupakan bahan yang relatif mudah jenuh air. Bahan endapan ini juga berhubungan erat dengan akumulasi bahan hasil erosi, sehingga bila daerah yang tererosi merupakan daerah yang kaya sumber hara maka endapan aluvial di daerah hilirnya pun kaya akan sumber hara. Namun bila daerah hulu sungainya merupakan daerah miskin sumber hara, maka daerah endapan aluvialnyapun akan miskin sumber hara.

Banyak data hasil analisis mineral dan kimia dari tanah sawah aluvial yang telah dipublikasikan (Prasetyo *et al.*, 2007a; Hardjowigeno dan Rayes, 2001; Rayes, 2000; Prasetyo dan Hikmatullah, 2001; Setyawan dan Warsito, 1999; Munir 1987). Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah sawah dari endapan aluvial mempunyai komposisi mineral dan sifat kimia yang sangat bervariasi, dipengaruhi oleh jenis bahan endapan yang menjadi bahan induk tanahnya.

Tulisan ini bertujuan mengkarakterisasi, mengevaluasi dan memberikan alternatif teknologi pengelolaan tanah sawah aluvial yang sudah dilakukan di Indonesia.

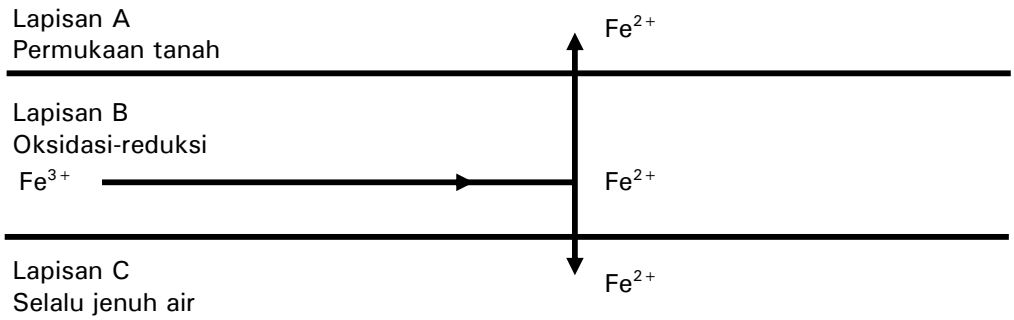
PROSES PEMBENTUKAN TANAH SAWAH ALUVIAL

Tanah sawah aluvial pada umumnya sudah mempunyai warna glei dan karatan, karena tanah sawah ini terbentuk pada kondisi muka air tanah yang dangkal. Menurut Fanning dan Fanning (1989) ada beberapa model yang dapat dipakai untuk menjelaskan pembentukan karatan dan glei pada tanah sawah, antara lain :

Pada musim kering tanah sawah sering menjadi retak-retak dengan kedalaman yang bervariasi. Pada kondisi ini oksigen dapat masuk melalui retakan atau melalui lubang-lubang akar, sehingga Fe^{2+} yang terbebaskan pada waktu penggenangan dan berada di permukaan retakan akan teroksidasi menjadi Fe^{3+} dan mengendap sebagai karatan dari oksida besi pada permukaan *ped*. Model semacam ini banyak dijumpai pada tanah sawah yang bersifat vertik. Ketika terjadi penggenangan lagi, oksida besi (karatan) yang di permukaan *ped* akan tereduksi, dan Fe^{2+} yang terbawa air dapat meresap masuk ke dalam struktur tanah, sehingga teroksidasi lagi dan terendapkan di bagian dalam dari *ped*.

Model sederhana yang menggambarkan proses pembentukan karatan dan warna glei pada tanah sawah ditunjukkan pada Gambar 1. Lapisan B adalah lapisan yang sering mengalami proses bergantian antara oksidasi dan reduksi. Pada waktu terendam air, Fe^{3+} yang tidak larut akan tereduksi menjadi Fe^{2+} yang dapat larut dan mudah terbawa air hingga ke permukaan A maupun C. Ketika kondisi oksidasi (kering) terjadi lagi, maka Fe^{2+} akan mengendap sebagai Fe^{3+} yang berupa karatan, di lapisan B maupun di permukaan tanah A. Akibatnya bila proses oksidasi reduksi berjalan terus-menerus maka tanah di lapisan B akan mempunyai warna kombinasi antara warna karatan dengan warna glei. Warna glei muncul dikarenakan ada bagian dari tanah di lapisan B yang menjadi kekurangan Fe, karena pada waktu reduksi, Fe^{2+} dari lapisan B banyak yang terangkut air.

Proses yang terjadi pada lapisan yang selalu jenuh air (lapisan C) berbeda dengan lapisan B dimana proses oksidasi reduksi terjadi secara bergantian. Pada lapisan C yang selalu jenuh air, proses yang terjadi hanyalah reduksi saja. Pada kondisi tidak terdapat komplek anion organik dalam lapisan C, dan kelarutan Fe^{2+} sangat rendah, bahkan bila pH-nya $> 6,5$ kelarutannya menjadi nol (Duchaufour, 1982). Selain itu kondisi reduksi juga menyebabkan tidak terdapatnya oksida besi lainnya, hanya akumulasi Fe^{2+} yang terjadi sehingga tanah cenderung mempunyai kroma rendah dan berwarna kelabu (Fanning and Fanning, 1989) atau kelabu kehijauan.



Gambar 1. Ilustrasi pembentukan karatan dan lapisan glei pada tanah sawah (Prasetyo *et al*., 2004)

SUMBER HARA UTAMA

Sumber hara pada tanah sawah aluvial terutama berasal dari kandungan mineral tanah sawah tersebut. Peranan mineral di tanah sawah sangatlah penting, Selain sebagai sumber hara juga berperan dalam menentukan muatan tanahnya. Pelapukan mineral di dalam tanah menghasilkan unsur-unsur hara baik unsur hara makro primer (P dan K), maupun unsur hara makro sekunder (Ca dan Mg) yang banyak diperlukan untuk pertumbuhan tanaman. Selain itu mineral mempunyai muatan yang bervariasi, ada yang negatif adapula yang positif, sehingga tanah sawah yang didominasi oleh mineral liat dengan muatan negatif seperti monmorilonit akan lebih reaktif bila dibanding dengan tanah sawah yang didominasi mineral liat dengan muatan positif seperti oksida besi.

Komposisi mineral pasir dari tanah sawah aluvial dapat dikelompokkan pada mineral resisten (tahan lapuk) yang terdiri atas kuarsa, opak dan *weatherable* mineral (mudah lapuk) yang terdiri atas feldspars dan ferromagnesium. Jenis mineral feldspars yang banyak dijumpai adalah orthoklas, sanidin, oligoklas, dan andesin, sedangkan jenis ferromagnesium adalah augit, amfibol, dan hiperstin.

Umumnya tanah sawah aluvial mempunyai kandungan mineral feldspars yang cukup tinggi (Subardja and Buurman, 1980, Prasetyo *et al*., 1996; Setyawan dan Warsito, 1999). Tingginya kandungan mineral feldspars ini mempengaruhi produktivitas tanah sawah, karena tanah akan mengandung cadangan sumber hara Ca dan K yang tinggi, sehingga tingkat kesuburan tanah terjaga dalam jangka panjang. Mineral ferromagnesium adalah sumber Ca dan Mg dalam tanah. Tanah yang tinggi kandungan Ca-nya biasanya berasal dari batuan karbonatan, seperti napal, batu kapur, sementara yang tinggi Mg-nya berasal dari batuan ultra basis.

Untuk mempelajari potensi sumber hara dari berbagai tanah sawah aluvial telah dievaluasi lima jenis tanah aluvial dengan kondisi dan lingkungan yang berbeda. Kelima jenis tanah tersebut adalah tanah sawah Vertic Endoaquepts (HP5), dari daerah Indramayu yang merupakan tanah sawah aluvial dengan penyebaran luas di daerah Pantura, Jawa Barat, berasal dari sistem pengendapan sungai yang panjang dengan berbagai jenis bahan hasil erosi (Prasetyo *et al*., 1996), tanah sawah Fluvaquentic Epiaquepts (HP41) merupakan tanah sawah aluvial dari bahan volkan yang masam di daerah Gadingrejo, Lampung (Prasetyo dan Kasno, 2001), tanah sawah Udic Haplusterts (P5) adalah tanah sawah aluvial dari bahan kapur di daerah yang relatif kurang air di daerah Pametikarata, Sumba Timur (Prasetyo, 2007b), tanah sawah Vertic Endoaquepts (KHH3) merupakan tanah sawah aluvial di daerah Klaten, Jawa Tengah dari bahan endapan volkan yang bersifat basis (Prasetyo *et al*., 2007a) dan tanah sawah Typic Endoaquepts (HP13) merupakan tanah sawah aluvial baru di daerah Sangata, Kalimantan Timur (Prasetyo dan Himatullah, 2001).

Tabel 1. Komposisi mineral fraksi pasir dan liat dari beberapa tanah sawah aluvial

Tanah sawah aluvial	Kedalaman	MPTH		MPML		Mineral liat				
		Ku	Op	Fe	Fm	Mo	Ka	HH	Vr	IL
	cm									
HP5. Vertic Endoaquepts, aluvial volkan intermedier, di daerah Indramayu, Jabar (Prasetyo *et al*., 1996)	0 - 13	24	5	62	9	+ + +	+ +			+
	13 - 40	40	9	38	13					
	40 - 68	40	4	43	13	+ + +	+ +			+
	68 - 82	35	5	46	14					
	82 - 130	32	11	46	11	+ + +	+ +			+
HP41. Fluvaquentic Epiaquepts, aluvial volkan masam, di daerah Gadingrejo, Lampung (Prasetyo dan Kasno, 1998)	0 - 20	38	2	57	2	+ + +	+ +			+
	20 - 45	22	6	62	9	+ +	+ +			
	45 - 70	34	5	52	7	+ +	+ +			
	70 - 95	53	1	50	1	+ + +	+ +			+
	95 - 130	29	2	63	4					
P5. Udic Haplusterts, aluvial kapur, di daerah Pametikarata, Sumba Timur (Prasetyo, 2007b)	0 - 22	78	1	19	2	+ + + +	(+)			
	22 - 43	69	2	26	3					
	43 - 62	76	1	20	3	+ + + +	(+)			
	62 - 89	67	1	28	4					
	89 - 110	60	-	35	5	+ + + +	(+)			
	110- 140	65	-	28	7					
KHH3. Vertic Endoaquepts,aluvial volkan basis, di daerah Klaten, Jateng (Prasetyo *et al*., 2007a)	0 - 17	-	22	37	39	+ + + +	+			
	70 - 110	-	14	47	38	+ + + +	+	+		
HP13. Typic Endoaquepts, aluvial sedimen berkapur, di daerah Sangata, Kaltim (Prasetyo dan Hikmatullah, 2001)	0 - 15	83		17	0		+ + +		+ +	+
	15 - 40	83		17	0		+ + +		+ +	+
	40 - 75	66		30	0					
	75 - 100	59		38	0					
	100 - 120	52		44	0					

Keterangan : Ku = kuarsa, Op = opak, Fe = feldspars, Fm = ferromagnesium, Mo = monmorilonit, Ka = kaolinit, HH = haloisit hidrat, Vr = vermikulit, IL = Illit.
MPTH = mineral pasir tahan lapuk (*resistent*), MPML = mineral pasir mudah lapuk
+ + + + = dominan, + + + = banyak, + + = sedang, + = sedikit, (+) = sangat sedikit

Pada Tabel 1 nampak bahwa tanah sawah dari Indramayu mempunyai kandungan mineral pasir mudah lapuk yang tinggi, terutama feldspars. Jenis mineral feldsparsnya adalah andesin, orthoklas dan sanidin, sedangkan mineral ferromagnesiumnya adalah augit, hiperstin, dan amfibol (Prasetyo *et al*., 1996). Terdapatnya mineral kuarsa, orthoklas dan sanidin menunjukkan adanya bahan-bahan yang bersifat masam. Asosiasi andesin serta mineral ferromagnesium seperti amfibol, augit, hiperstin menunjukkan bahan yang bersifat intermedier hingga basis. Asosiasi mineral-mineral tersebut menunjukkan bahwa bahan pembentuk tanah sawah di daerah ini berasal dari hasil rombakan bahan-bahan volkan yang bersifat dasitik (masam), andesitik (intermedier), dan basaltik (basis).

Tanah sawah dari Gadingrejo, Kabupaten Lampung, merupakan tanah sawah yang terbentuk di daerah pelembahan antar perbukitan dari endapan aluvial yang bersifat dasitik. Kandungan mineral mudah lapuknya cukup tinggi karena endapan aluvialnya relatif dekat dengan sumbernya. Susunan mineral pasirnya didominasi oleh asosiasi andesin, kuarsa dan gelas volkan yang tergolong mineral masam, dan dalam jumlah yang lebih sedikit juga dijumpai mineral-mineral hiperstin, orthoklas, dan sanidin (Prasetyo dan Kasno, 2001).

Tanah sawah dari Pametikarata, Kabupaten Sumba Timur, merupakan tanah sawah tadah hujan yang terbentuk dari bahan endapan batu gamping di daerah dataran aluvial. Komposisi

mineral pasirnya didominasi oleh mineral tahan lapuk kuarsa, sedangkan pada mineral mudah lapuknya terdapat mineral andesin, sanidin dan augit walapun jumlahnya tidak terlalu banyak (Prasetyo, 2007b). Asosiasi mineral tersebut menunjukkan adanya pencampuran bahan volkan. Mineral kuarsa sebetulnya adalah mineral ikutan dalam batu gamping, akan tetapi setelah kalsit dan dolomit habis melapuk, mineral ini menjadi dominan. Walaupun tanah sawah aluvial dari Pametikarata merupakan tanah Vertisol dan diklasifikasikan sebagai Udic Haplusterts, tanah ini agak berbeda dengan tanah Vertisol lainnya karena cadangan sumber hara dalam tanahnya tergolong lebih rendah (23-40%).

Tanah sawah KHH3 dari Klaten, berasal dari bahan endapan volkan yang bersifat basis, mineral tahan lapuknya hanya opak, tidak dijumpai adanya mineral kuarsa. Mineral mudah lapuknya didominasi oleh amfibol, augit, hiperstin, dan andesin (Prasetyo, 2007a). Dominasi mineral tersebut menunjukkan bahwa tanah sawah ini kaya akan sumber hara.

Tanah sawah HP13 dari Sangata, berasal dari bahan endapan yang dihasilkan dari rombakan batuan sedimen dan kapur, sehingga mineralnya didominasi oleh mineral kuarsa. Karena tidak ada pengaruh volkan di daerah ini, tidak dijumpai mineral opak. Mineral mudah lapuknya tidak jelas, karena hanya terdiri atas lapukan mineral dan fragmen batuan yang merupakan gabungan beberapa jenis mineral yang tidak dapat diidentifikasi jenisnya dengan mikroskop polarisasi (Prasetyo dan Hikmatullah, 2001). Dominasi oleh kuarsa pada tanah ini mencirikan bahwa tanah sawah ini tergolong rendah kandungan sumber hara.

Data tersebut di atas menunjukkan bahwa sumber hara pada tanah sawah dari endapan aluvial sangat dipengaruhi oleh bahan penyusun endapan aluvialnya. Tanah sawah aluvial yang masih dipengaruhi oleh bahan volkan (HP5, HP41, P5, dan KHH3) menunjukkan kandungan sumber hara berupa mineral mudah lapuk seperti amfibol, augit, hiperstin, andesin, oligosin, sanidin, orthoklas dan gelas volkan yang jauh lebih tinggi bila dibanding dengan tanah sawah yang tidak dipengaruhi bahan volkan (HP13). Tingginya kandungan mineral mudah lapuk tersebut mengindikasikan bahwa tanah yang bersangkutan masih mempunyai cadangan sumber hara yang tinggi. Faktor lain yang dapat mempengaruhi sumber hara pada tanah dari endapan aluvial adalah kemasaman tanah, karena pada tanah yang bersifat masam sumber hara dalam tanah akan mudah melapuk dan tercuci.

Susunan mineral liat tanah sawah aluvial umumnya merupakan campuran, terutama antara mineral monmorilonit dan kaolinit. Namun tanah sawah dari daerah Kalimantan Timur (HP13) didominasi oleh kaolinit, dengan campuran vermikulit dan illit. Dataran aluvial merupakan lingkungan pengendapan yang pada umumnya memenuhi persyaratan pembentukan mineral monmorilonit. Pembentukan mineral monmorilonit memerlukan terjadinya akumulasi basa-basa seperti Ca^{2+} dan Mg^{2+}, dan juga akumulasi silika pada pH di atas netral (Jackson, 1968; De Coninck, 1974).

Monmorilonit kebanyakan dijumpai bersama mineral liat lainnya, seperti illit dan kaolinit. Terdapatnya monmorilonit dengan kaolinit secara bersamaan sangat dimungkinkan. Kaolinit dapat terbentuk sebagai hasil pelapukan monmorilonit pada lingkungan yang masam, dan dapat pula terdapat di dalam tanah sebagai hasil pelapukan di daerah hulu yang terendapkan di sistem pengendapan endapan aluvial.

Hasil penelitian Prasetyo dan Kasno (2001) pada tanah sawah aluvial di daerah Gadingrejo, Lampung menunjukkan bahwa tanah sawah bersifat masam dan mempunyai kandungan mineral liat campuran antara monmorilonit dan kaolinit. Terdapatnya kaolinit bersama monmorilonit pada tanah sawah di Gadingrejo yang mempunyai pH masam mengindikasikan bahwa kaolinit terbentuk sebagai hasil pelapukan monmorilonit pada pH masam. Mineral monmorilonit menjadi tidak stabil pada kondisi pH masam hingga sangat masam dan akan melapuk membentuk kaolinit (Wilson and Cradwick, 1972) atau *pedogenic chlorite* (Borchardt, 1989).

Penelitian yang dilakukan oleh Prasetyo *et al*. (1996) pada tanah sawah aluvial di daerah Indramayu menunjukkan kandungan mineral liat yang sama, yaitu campuran antara monmorilonit, illit, dan kaolinit, namun pH tanahnya tidak masam. Dalam hal ini kaolinit bukan merupakan pelapukan dari monmorilonit, melainkan hasil pembentukan di daerah hulu, dan terendapkan di daerah aluvial. Lingkungan pada tanah sawah aluvial di daerah Indramayu kondisinya berlawanan dengan lingkungan pembentukan kaolinit, sehingga diduga kaolinit disini telah terbentuk di daerah hulu dan ikut terendapkan di daerah hilirnya.

Adanya mineral illit bersama monmorilonit merupakan bagian dari proses pembentukan/ transformasi illit-monmorilonit. Menurut Borchard (1998) kondisi yang memungkinkan transformasi illit-monmorilonit adalah suhu dan tekanan rendah, konsentrasi Al dan K^+ harus rendah, konsentrasi $Si(OH)_4$ harus tinggi dan pH >6,5. Bila pH < 6 maka illit akan melapuk menjadi vermikulit dan selanjutnya kaolinit (Ismail, 1970).

Pada tanah sawah dari endapan volkan di daerah Klaten (KHH3), mineral liatnya didominasi oleh monmorilonit dengan sedikit kaolinit dan haloisit hidrat. Kaolinit disini adalah hasil perkembangan lebih lanjut dari haloisit hidrat dengan sekuen pelapukan diduga sebagai berikut:

1. Feldspars → (allofan) → haloisit hidrat (meta haloisit) → kaolinit
2. Feldspars + amfibol + augit → monmorilonit

Tanah sawah HP13 mempunyai susunan mineral campuran antara kaolinit, vermikulit dan illit. Mengingat reaksi tanahnya yang masam dan komposisi mineral pasirnya didominasi oleh kuarsa (>70%), adanya kaolinit pada tanah sawah ini merupakan hasil pelapukan dari vermikulit. Sekuen pelapukan mineral adalah sebagai berikut:

Mika → illit → vermikulit → kaolinit

Keberadaan mineral monmorilonit maupun vermikulit pada umumnya dapat memberi kontribusi nyata pada KTK tanah, karena kedua jenis mineral tersebut mempunyai KTK yang tinggi. Akan tetapi mineral monmorilonit dan vermikulit pada tanah sawah Gadingrejo dan Sangata tidak memberi kontribusi yang nyata pada kapasitas tukar kation tanah. Kondisi ini diduga disebabkan oleh kondisi kedua jenis mineral liat tersebut yang sudah melapuk pada kondisi pH tanah yang masam.

Tanah yang disawahkan akan mengalami kondisi tergenang dan kering yang bergantian dalam periode yang lama, kondisi ini dapat mempercepat terjadinya pelapukan pada beberapa jenis mineral liat yang dikandungnya. Hasil penelitian Munir (1987) menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan jenis mineral liat pada beberapa jenis tanah yang disawahkan. Mineral liat tipe 2:1 seperti vermikulit dan monmorilonit pada lapisan olah di beberapa lokasi persawahan telah mengalami pelapisan (*interlayer*) oleh polimer Al. Menurut Barnhisel (1977) pelapisan pada vermikulit maupun monmorilonit dikatakan penuh bila difraktogram hasil analisis dengan XRD pada perlakuan pemanasan 550°C menunjukkan d(001) 14 Å. Sedangkan bila nilainya antara 14 Å hingga lebih besar dari 10 Å dikatakan pelapisannya belum penuh. Karena polimer Al bermuatan positif, maka polimer ini akan menetralisir muatan negatif pada mineral vermikulit maupun monmorilonit sehingga menyebabkan turunnya kapasitas tukar kation dari mineral-mineral tersebut. Kondisi ini sangat merugikan karena dapat menurunkan tingkat produktivitas tanah. Kemampuan tanah untuk menahan unsur hara dari pemupukan sehingga sebagian unsur hara akan hilang tercuci air.

Dominasi monmorilonit maupun kaolinit pada tanah sawah aluvial juga akan berdampak pada sifat fisik dan kimia tanah. Tanah sawah yang didominasi oleh mineral monmorilonit, pada waktu kering akan rekah-rekah dan menjadi sangat keras sehingga sulit untuk diolah. Tanah sawah yang didominasi oleh monmorilonit tersebut bila digenangi akan mengalami peningkatan pori mikro yang sangat tinggi, dan bila kering akan membentuk struktur prismatik yang sangat keras sehingga sulit untuk diolah (Hardjowigeno dan Rayes, 2001). Tanah sawah

Tabel 2. Tekstur, karbon organik, pH, P, dan K dari beberapa tanah sawah dari bahan aluvial

Tanah sawah	Kedalaman	Tekstur			Karbon	pH	HCl 25 %		Retensi
		Pasir	Debu	Liat	organik	H_2O	P_2O_5	K_2O	P
	cm	..... %			%		mg/100 g		%
HP5. Vertic Endoaquepts dari bahan aluvial volkan intermedier, di daerah Indramayu, Jabar (Prasetyo *et al*., 1996)	0 - 13	1	17	82	1,69	6,4	76	35	td
	13 - 40	1	37	62	0,99	6,6	45	56	td
	40 - 68	1	16	83	1,08	6,7	49	58	td
	68 - 82	2	17	81	0,69	6,8	45	67	td
	82 - 130	4	27	69	0,43	6,7	56	68	td
HP41. Fluvaquentic Epiaquepts dari bahan aluvial volkan masam, di daerah Gadingrejo, Lampung (Prasetyo dan Kasno, 2001)	0 - 20	1	18	81	0,40	5,2	10	14	37
	20 - 45	6	43	51	1,33	5,0	28	9	61
	45 - 70	4	43	53	0,34	6,3	14	11	40
	70 - 95	6	33	61	0,30	4,5	8	13	33
	95 - 130	1	22	77	0,28	4,7	6	13	34
P5. Udic Haplusterts dari bahan aluvial kapur, di daerah Pametikarata, Sumba Timur (Prasetyo, 2007b)	0 - 22	5	18	77	3,77	6,5	53	13	50
	22 - 43	4	14	82	1,67	6,9	44	11	51
	43 - 62	4	12	84	1,53	6,8	42	12	48
	62 - 89	5	16	79	0,37	6,9	41	12	td
	89 - 110	5	12	83	0,41	6,8	43	9	td
	110 - 140	4	21	75	0,23	7,3	42	11	td
KHH3. Vertic Endoaquepts dari bahan aluvial volkan basis, di daerah Klaten, Jateng (Prasetyo, 2007a)	0 - 17	13	37	50	2,01	6,0	88	25	td
	17 - 30	12	37	51	1,33	6,8	45	23	td
	30 - 70	9	34	57	0,67	6,9	18	17	td
	70 - 110	22	23	55	0,33	6,8	35	20	td
HP13. Typic Endoaquepts dari bahan aluvial sedimen berkapur, di daerah Sangata, Kaltim (Prasetyo dan Hikmatullah, 2001)	0 - 15	8	12	80	4,54	4,7	10	19	43
	15 - 40	0	23	77	1,38	4,9	9	20	33
	40 - 75	0	25	75	0,70	6,4	12	23	18
	75 - 100	1	25	74	0,48	6,8	68	24	34
	100-120	0	23	68	0,49	7,0	42	22	27

Keterangan : td = tidak tersedia data

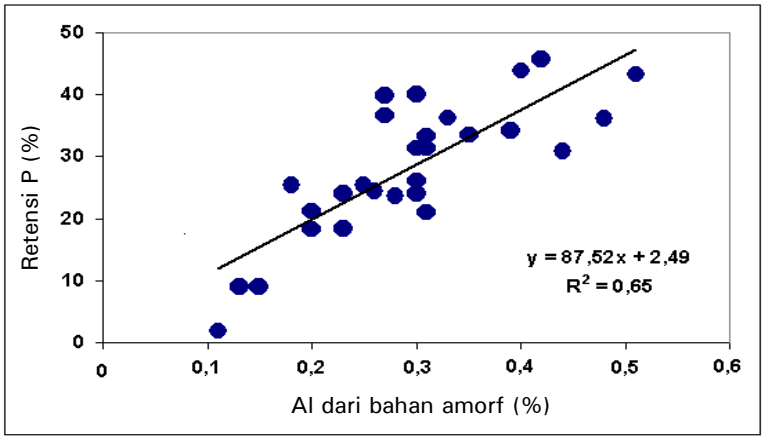
yang didominasi mineral liat monmorilonit juga akan sulit membentuk lapisan tapak bajak karena sifat mengembang dan mengkerut dari mineral tersebut. Lapisan tapak bajak yang mulai terbentuk akan hancur ketika terjadi pengerutan pada mineral monmorilonit. Sebaliknya dominasi mineral liat kaolinit tidak berpengaruh negatif pada sifat fisika tanah sawah, umumnya tanah sawahnya akan membentuk lapisan tapak bajak.

Tanah sawah yang didominasi oleh mineral monmorilonit mencirikan terjadinya akumulasi basa-basa dan lingkungan yang bereaksi netral hingga basis dengan drainase tanah buruk, dan akan 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 monmorilonit dapat menghasilkan Al_{dd} dalam jumlah yang cukup signifikan. Sebaliknya tanah sawah yang didominasi oleh kaolinit mencirikan lingkungan yang bereaksi masam hingga sangat masam, dan mempunyai muatan negatif yang rendah karena substitusi isomorfik pada mineral ini hampir tak pernah terjadi.

SIFAT KIMIA

Secara umum tanah sawah aluvial mempunyai sifat kimia yang relatif baik, karena pembentukan tanahnya terjadi di daerah cekungan ataupun dataran yang merupakan areal terjadinya akumulasi bahan dan pengendapan.

Tanah endapan aluvial pada umumnya bertekstur halus, dengan kandungan fraksi liat >50% (Tabel 2). Tingginya kandungan fraksi liat ini disebabkan kebanyakan endapan aluvial sudah mengalami proses-proses seperti



Gambar 2. Hubungan antara retensi P dan Al yang terekstrak dari bahan amorf pada tanah sawah di daerah Lampung (Prasetyo dan Kasno, 2001)

transportasi yang cukup jauh, sortasi dan sedimentasi. Kandungan bahan organik pada tanah sawah aluvial bervariasi di lapisan atasnya, ada yang tergolong rendah (<2%) yaitu tanah sawah di daerah Indramayu dan Gadingrejo, sedang (2-3%) di daerah Klaten, dan tinggi (3-5%) di daerah Sumba Timur dan Kalimantan Timur, sedangkan di lapisan bawahnya tergolong rendah hingga sangat rendah. Sebagian besar tanah sawah di Indonesia mempunyai kandungan bahan organik < 2% (Kasno *et al*., 2003).

Reaksi tanah di lapisan atas berkisar antara masam hingga agak masam (4,7-6,5), sedangkan di lapisan bawahnya tergolong netral (pH >6,6) kecuali tanah sawah dari Gadingrejo (HP41) yang tergolong masam. Reaksi tanah berhubungan dengan sifat dari endapan aluvial pembentuk tanahnya. Tanah sawah di Gadingrejo terbentuk dari aluvial volkan masam (dasitik) sehingga pH tanahnya juga cenderung masam. Sebaliknya tanah sawah dari Pametikarata (P5) berkembang dari endapan aluvium kapur yang bersifat basis sehingga pH tanahnya netral.

Kandungan P dan K potensial pada tanah sawah aluvial bervariasi. P potensial mencerminkan ada tidaknya sumber P dalam tanah yang dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan tanaman. Mengingat bahwa sifat bahan tanah aluvial sangat dipengaruhi oleh sifat material yang melapuk di daerah hulunya, maka tidak mengejutkan pula kalau kandungan P potensialnya bervariasi mulai sangat rendah (<15 mg/100 g) hingga sangat tinggi (>60 mg/100 g). Tidak mudah untuk menentukan asal dari P pada endapan aluvial, seperti pada tanah sawah dari Indramayu, tidak jelas diketahui mengapa kandungan P-nya tergolong tinggi hingga sangat tinggi, sedangkan pada tanah sawah dari Gadingrejo cenderung rendah hingga sangat rendah.

Retensi P pada tanah sawah aluvial nilainya bervariasi, akan tetapi umumnya tidak terlalu besar, mengingat kebanyakan tanah sawah aluvial mempunyai pH yang relatif agak masam sehingga kandungan Al dapat ditukarpun relatif rendah. Walaupun demikian retensi P pada tanah sawah umumnya berkorelasi positif dengan Al yang berasal dari bahan amorf (Gambar 2) dan berkorelasi negatif dengan pH tanah (Prasetyo *et al*., 1996; Prasetyo dan Kasno, 2001).

Tabel 3. Kation dapat tukar, KTK tanah, Al dapat tukar, dan kejenuhan basa dari beberapa tanah sawah aluvial

Tanah sawah	Kedalaman	Kation dapat tukar				KTK tanah	Al_{dd}	Kej. basa
		Ca	Mg	Ca:Mg	K			
	cm	. $Cmol_c$/kg ...				..... $Cmol_c$/kg		%
HP5. Vertic Endoaquepts dari endapan aluvial volkan intermedier, di daerah Indramayu, Jabar (Prasetyo *et al*., 1996)	0 - 13	26,02	13,57	2	0,33	48,76	0,00	88
	13 - 40	25,37	14,74	2	0,57	48,29	0,00	89
	40 - 68	23,26	14,32	2	0,49	48,93	0,00	83
	68 - 82	24,65	15,68	2	0,57	51,50	0,00	85
	82 - 130	24,21	16,46	1	0,55	49,26	0,00	90
HP41. Fluvaquentic Epiaquepts dari endapan aluvial volkan masam, di daerah Gadingrejo, Lampung (Prasetyo dan Kasno, 2001)	0 - 20	15,40	9,56	2	0,26	29,33	0,59	97
	20 - 45	9,42	4,25	2	0,13	17,82	0,60	82
	45 - 70	11,30	5,53	2	0,19	18,39	0,00	100
	70 - 95	10,27	10,14	1	0,17	29,02	4,15	83
	95 - 130	13,53	10,19	1	0,26	28,11	2,81	94
P5. Udic Haplusterts dari endapan aluvial kapur, di daerah Pametikarata, Sumba Timur (Prasetyo, 2007b)	0 - 22	57,94	1,38	42	0,24	62,79	0,00	td
	22 - 43	55,09	0,67	82	0,18	60,25	0,00	td
	43 - 62	51,46	0,47	109	0,17	57,42	0,00	td
	62 - 89	50,99	0,35	146	0,20	58,35	0,00	td
	89 - 110	56,70	0,29	196	0,18	61,87	0,00	td
	110 - 140	55,68	0,30	186	0,17	59,96	0,00	td
KHH3. Vertic Endoaquepts dari endapan aluvial volkan basis, di daerah Klaten, Jateng (Prasetyo, 2007a)	0 - 17	20,66	9,89	2	0,45	31,46	0,00	td
	17 - 30	21,52	11,08	2	0,36	32,82	0,00	td
	30 - 70	20,87	11,99	2	0,27	35,05	0,00	td
	70 - 110	23,57	11,18	2	0,29	41,25	0,00	td
HP13. Typic Endoaquepts dari endapan aluvial sedimen berkapur, di daerah Sangata, Kaltim (Prasetyo dan Hikmatullah, 2001)	0 - 15	14,77	4,73	3	0,21	32,21	1,32	62
	15 - 40	15,99	4,44	4	0,18	12,86	0,74	100
	40 - 75	16,72	3,00	6	0,18	16,67	0,00	100
	75 - 100	16,31	2,50	7	0,14	15,78	0,00	100
	100 - 120	17,30	3,18	5	0,16	15,41	0,00	100

Keterangan : td = tidak tersedia data

Kandungan K potensial yang relatif lebih tinggi ditunjukkan oleh tanah sawah dari Indramayu dan Sangata. Terdapatnya mineral orthoklas dan sanidin pada tanah sawah Indramayu dan mineral vermikulit pada tanah sawah Sangata menunjukkan bahwa pada tanah sawah tersebut dulunya mempunyai sumber hara K yang mempengaruhi K potensial. Keberadaan sumber K lebih mudah terdeteksi dibandingkan P, karena jenis mineral mika, orthoklas, sanidin, vermikulit merupakan mineral-mineral yang merupakan sumber K dalam tanah.

Konsentrasi Ca dan Mg pada tanah sawah aluvial sangat bervariasi, tergantung pada bahan endapannya (Tabel 3). Rasio Ca_{dd}/Mg_{dd} berkisar antara 1:1 hingga 2:1, namun pada tanah aluvial dari bahan kapur rasionya mencapai 196:1. Pada tanah aluvial yang mendapat pengkayaan dari bahan kapur rasionya berkisar 3:1 hingga 7:1. Untuk pemenuhan kebutuhan pertumbuhan tanaman padi yang optimal rasio Ca : Mg adalah antara 3:1 hingga 4:1 (Setyorini *et al*., 2004). Dari data di atas tanah sawah aluvial dari batu kapur tidak terdapat keseimbangan hara dalam tanah, sedangkan pada tanah sawah aluvial lainnya status Ca : Mg-nya sudah mendekati rasio yang baik. Kandungan K bervariasi, tergolong sedang di Indramayu hingga rendah di tanah sawah lainnya.

Kapasitas tukar kation (KTK) tanah pada tanah sawah aluvial berkisar dari rendah (5-16 $cmol_c$/kg) pada tanah sawah aluvial di Sangata, sedang hingga tinggi (17-29 $cmol_c$/kg) pada tanah sawah aluvial dari Gadingrejo, tinggi (25-40 $cmol_c$/kg) pada tanah sawah aluvial dari

Tabel 4. Sebaran kandungan C-organik tanah sawah di beberapa provinsi di Indonesia

Provinsi	Jumlah contoh	Kadar C-organik			
		<1	1-1,5	1,5-2	>2
		..... %			
Sumatera Barat	159	1	7	30	121
Sumatera Selatan	196	5	48	36	107
Kalimantan Selatan	88	2	12	19	55
Jawa Barat	136	2	7	41	86
Jawa Tengah	304	89	99	49	67
Jawa Timur	151	52	68	16	15
Pulau Lombok	319	109	156	45	9
Sulawesi Selatan	195	10	40	78	67
Jumlah contoh tanah	1.548	270 (18%)	437 (28%)	314 (20%)	527 (34%)

Sumber : Kasno *et al*. (2003)

Klaten, dan sangat tinggi (>40 $cmol_c$/kg) pada tanah sawah aluvial dari Indramayu dan Pametikarata. Nilai KTK tanah yang tinggi pada tanah sawah ini terutama disebabkan oleh kandungan mineral monmorilonit. Namun keberadaan mineral monmorilonit maupun vermikulit pada tanah sawah dari Gadingrejo dan Sangata tidak secara otomatis membuat KTK tanahnya menjadi tinggi. Kondisi ini disebabkan karena reaksi tanah yang masam pada kedua tanah sawah tersebut telah menyebabkan terjadinya pelapukan baik mineral monmorilonit maupun vermikulit, sehingga nilai KTK-nya menurun. Adanya pelapukan monmorilonit dan vermikulit juga tercermin dari terdeteksinya Al_{dd}, baik pada tanah sawah dari Gadingrejo maupun tanah sawah dari Sangata.

PENGELOLAAN

Berdasarkan pengamatan pada susunan mineral pasir, mineral liat, dan sifat kimianya, tanah sawah di daerah aluvial tergolong pada tanah yang sangat potensial untuk tanaman padi. Tidak terlihat adanya kekurangan unsur hara makro primer (P dan K) maupun sekunder (Ca dan Mg) yang mencolok. Kemasaman tanah dan kekurangan unsur hara makro dapat diatasi dengan pemupukan.

Kadar bahan organik tanah-tanah sawah di beberapa provinsi di Indonesia tergolong rendah (<2%). Dari hasil analisis 1.548 contoh tanah sawah dari beberapa provinsi di Indonesia, hanya sekitar 34% yang mempunyai kadar C-organik >2% (Tabel 4). Pengelolaan lahan sawah yang intensif (pertanaman padi dengan indeks pertanaman 3 secara terus-menerus) dengan pemupukan intensif tanpa pengembalian bahan organik, menyebabkan bahan organik tanah terkuras. Apabila tidak segera dilakukan peningkatan kadar C-organik tanah, maka dalam jangka waktu beberapa tahun ke depan produktivitas padi di area ini akan semakin menurun, dan *input* pupuk yang dibutuhkan akan semakin meningkat.

Status hara P dan K pada lahan sawah secara umum sangat bervariasi dari rendah hingga tinggi dan pemupukan P dan K yang dilakukan secara terus-menerus telah menyebabkan sebagian besar lahan sawah intensifikasi mempunyai status hara P dan K yang tinggi (Adiningsih *et al*., 1989). Kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan hara dalam tanah, karena kadar hara P dan K yang tinggi dapat menyebabkan ketersediaan hara mikro seperti Zn dan Cu tertekan (Sofyan *et al*., 2004).

Tanaman padi mendapatkan hara yang bersumber dari tanah dan pupuk, dan untuk meningkatkan produktivitas tanah sawah aluvial pemupukan berimbang yang didasarkan pada uji tanah perlu dilakukan. Pengertian pemupukan berimbang adalah pemenuhan hara yang berimbang dalam tanah, bukan berarti berimbang dalam bentuk atau jenis pupuk (Anonim, 2003).

Tabel 5. Kelas status hara P dan K serta rekomendasi pemupukannya

Kelas status hara	Kadar hara terekstrak HCl 25%		Rekomendasi pupuk		
	P	K	SP-36	KCl	
				Tanpa jerami	Jerami dikembalikan
	mg P_2O_5/100 g	mg K_2O/100 g			
Rendah	< 20	< 10	100	100	50
Sedang	20-40	10-20	75	50	0
Tinggi	> 40	> 20	50	50	0

Sumber : Setyorini *et al*. (2004)

Dalam tahapan pemupukan berimbang diperlukan data hasil analisis kadar P dan K tanah terekstrak dengan HCl 25%. Pada saat ini di beberapa daerah telah mempunyai peta status hara P dan K berskala 1:50.000 dan 1:250.000. Di daerah yang telah dipetakan status hara P dan K pada skala 1:50.000, rekomendasi pemupukan hara P dan K pada tanah sawah aluvial dapat mengacu pada peta tersebut. Untuk daerah yang belum ada petanya rekomendasi sebaiknya mengacu pada hasil uji tanah.

Berdasarkan kalibrasi uji P dan K untuk padi sawah, Balai Penelitian Tanah telah menyusun rekomendasi pemupukan unsur hara makro utama P dan K untuk padi sawah dengan varietas unggul (Tabel 5). Takaran pupuk P dan K didasarkan pada status hara P dan K yang terekstrak dengan HCl 25%, yaitu rendah, sedang, dan tinggi.

Pada pemupukan P dan K peran jerami sangat penting, karena pengembalian jerami ke petak sawah dapat mengurangi kebutuhan pupuk P dan K. Pengembalian jerami ke tanah sawah merupakan langkah yang tepat, karena pembenaman jerami tersebut dapat meningkatkan kadar C-organik tanah dan hara lainnya (Adiningsih, 1984).

Prinsip dasar dari pemupukan P adalah kandungan P dalam tanah. Bila kandungan P tergolong tinggi (> 40 mg P_2O_5/100 g), pemupukan P memakai dosis yang lebih rendah karena dimaksudkan hanya untuk mengganti P yang diambil oleh tanaman padi. Namun bila kandungan P tergolong rendah hingga sedang (<40 mg P_2O_5/100 g), diberikan pupuk P dalam jumlah yang lebih tinggi, karena pemupukan P ini selain untuk menggantikan P yang diambil tanaman juga untuk meningkatkan kadar P dalam tanah (Sofyan *et al*., 2002).

Pemupukan K hanya dianjurkan pada lahan sawah berkadar K rendah, berdrainase buruk dan mempunyai kadar karbonat yang tinggi (Soepartini *et al*., 1995). Dosis pupuk yang direkomendasikan adalah 50 kg KCl/ha yang disertai dengan pengembalian jerami sisa panen ke dalam tanah. Dengan demikian pada tanah sawah yang mendapatkan pengembalian jerami, dosis pemupukan K lebih rendah dibanding yang tanpa pengembalian jerami.

Unsur hara makro sekunder seperti Ca dan Mg ketersediaannya dalam tanah sawah aluvial sangat dipengaruhi oleh bahan induk tanahnya. Pada tanah sawah aluvial yang dipengaruhi oleh bahan volkan yang bersifat intermedier hingga basis, seperti tanah sawah dari Indramayu dan Klaten, kandungan Ca dan Mg umumnya tinggi dengan rasio yang yang cukup baik (2:1). Tanah sawah dari bahan kapur rasionya sangat tidak seimbang, kandungan Ca tergolong sangat tinggi dan kandungan Mg rendah, seperti ditunjukkan pada tanah sawah dari Pametikarata (rasio Ca : Mg antara 40:1 hingga 180:1). Tanah sawah aluvial dari volkan masam di Gadingrejo kandungan Ca-nya masih tergolong tinggi dan Mg sedang, dan tanah sawah dari bahan sedimen yang diperkaya oleh kapur di Sangata menunjukkan kandungan Ca tinggi dengan Mg rendah, rasio Ca : Mg-nya cukup baik. Untuk pemenuhan kebutuhan pertumbuhan tanaman padi yang optimal, lebih dari 20% KTK harus dijenuhi oleh Ca, atau rasio Ca_{dd} : Mg_{dd} sekitar 3:1 hingga 4:1 (Setyorini *et al*., 2004).

Penggunaan pupuk N dalam bentuk urea yang disebar di lahan sawah memberikan efisiensi yang rendah, karena sebagian besar dari urea yang diberikan akan hilang melalui proses volatilisasi (NH_3), pencucian dan fiksasi NH_4 oleh tanah. Cara yang lebih baik adalah menggunakan urea super granul (USG). Secara agronomis pemakaian USG meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk urea, dan USG mempunyai efisiensi yang lebih tinggi bila digunakan pada tanah bertekstur berat (Prawirasumantri *et al*., 1983).

Pengelolaan air, baik air hujan maupun air irigasi diperlukan untuk menghindarkan tanah dari kebanjiran dan kekeringan. Tanah sawah dengan kandungan mineral monmorilonit dominan akan rekah-rekah dan sangat keras bila kering, sehingga kelembapan tanahnya perlu dijaga. Efisiensi penggunaan air dapat ditingkatkan menjadi 2-3 kali lipat dengan cara mengairi lahan sawah secara macak-macak dan tidak terus-menerus dengan ketinggian 5 cm dari permukaan tanah (Abas dan Abdurachman, 1985).

Agar produksi tanaman padi sawah dapat optimal, teknologi pengelolaan yang telah direkomendasikan adalah menggunakan varietas padi unggul sesuai lingkungan setempat, menggunakan benih padi berlabel, cara pengolahan tanahnya sempurna, dilakukan pemeliharaan dan pemupukan pada persemaian, menanam bibit muda yang berdaun empat helai, pengaturan jarak tanam yang tepat, melakukan pemupukan N dengan metode warna daun serta pemupukan P dan K dengan metode uji tanah, sistem pengairan genangan atau berselang, pengendalian hama penyakit secara terpadu, pengendalian gulma dilakukan secara tepat, mengembalikan jerami sisa tanam ke sawah dan melaksanakan proses pasca panen yang baik (Balitpa, 2004).

KESIMPULAN

1. Tanah sawah aluvial mempunyai komposisi mineral dan sifat kimia yang sangat bervariasi, dan dipengaruhi oleh sifat asal endapan aluvialnya. Pengaruh bahan induk tanah tercermin dengan jelas pada komposisi mineral pasir, kandungan hara makro sekunder Ca dan Mg.
2. Kandungan sumber hara berupa mineral mudah lapuk pada tanah aluvial yang dipengaruhi oleh bahan volkan tergolong tinggi dan bersifat menguntungkan. Namun secara umum kandungan bahan tahan lapuk pada tanah sawah aluvial tergolong tinggi, kecuali yang bersifat masam.
3. Kekurangan unsur hara makro baik primer maupun sekunder pada tanah sawah aluvial tidak terlalu mencolok, untuk mengatasinya dapat dilakukan pemupukan menggunakan rekomendasi pemupukan yang didasarkan pada hasil uji tanah.
4. Pengembalian jerami padi ke tanah sawah sangat direkomendasikan karena dapat meningkatkan kandungan C-organik dan N, P, K, N, Ca, Mg, dan Zn.
5. Karakterisasi tanah sawah diperlukan untuk mengantisipasi potensi dan kendala yang ada pada tanah sawah aluvial, karena sifat umum dari tanah sawah aluvial sangat bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

Abas Id., A. dan A. Abdurachman. 1985. Pengaruh pengelolaan air dan pengelolaan tanah terhadap efisiensi penggunaan air padi sawah di Cihea, Jawa Barat. Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk 4:1-6.

Adiningsih, J.S. 1984. Pengaruh Beberapa Faktor Terhadap Penyediaan Kalium Tanah Sawah Daerah Sukabumi dan Bogor. Disertasi Doktor pada Fakultas Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Adiningsih, J.S., M. Sediyarso, M. Sudjadi, dan A.M. Fagi. 1989. Evaluasi keperluan fosfat pada lahan sawah intensifikasi di Jawa. Hlm. 63-89. *Dalam* M. Sudjadi, J.S. Adiningsih, A. Pakpahan, A.

Hardjomulya, P.H. Soecipto, S. Kusumo, M.E. Siregar (*Eds*.). Prosiding Lokakarya Nasional Efisiensi Penggunaan Pupuk. Puslittanak. Cisarua, 12-13 November.

Anonim. 2003. Rumusan diskusi pemupukan berimbang. Bogor, 25 September 2003. Balai Penelitian Tanah, Puslitbang Tanah dan Agroklimat.

Balitpa. 2004. Deskripsi varietas unggul baru padi. Dikompilasi oleh: O.S. Lesmana, H.M. Toha, I. Las, dan B. Suprihatno. Balai Penelitian Tanaman Padi. Badan Litbang Pertanian. Hlm 68.

Barnhisel, R.I. 1977. Chlorit and hidroxy interlayering vermiculite and smectite. Pp 331-356. *In* J.B. Dixon and S.B. Weed (*Eds*.). Mineral in Soil Environments. Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wisconsin.

Borchardt, G.A. 1989. Montmorillonite and other smectite minerals. Pp. 293-330. *In* J.B. Dixon and S.B. Weed (*Eds*.). Minerals in Soil Environments. Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wisconsin.

De Coninck. F. 1974. Physico-chemical aspects of pedogenesis. State Univ. of Ghent.

Duchaufour, D. 1982. Pedology (Eng. Ed). George Allen & Unwin, London, P. 448.

Fanning, D.S. and M.C.B. Fanning. 1989. Soil, morphology, genesis, and classification. John Wiley & Son. New York. P. 395.

Hardjowigeno, S. dan M.L. Rayes. 2001. Tanah Sawah. Program Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor. Hlm 155.

Ismail, F.T. 1970. Biotite weathering and clay formation in arid and humid region California. Soil Sci. 109:257-261.

Jackson, M.C. 1968. Weathering of primary and secondary minerals in soil. Trans. Int. Cougr. Soil Sci., 9th (Adelaide, Aust.) 4: 281-292.

Kasno, A., D. Setyorini, dan Nurjaya. 2003. Status C-organik lahan sawah di Indonesia. Kongres HITI Padang, 21-24 Juli 2003.

Munir, M. 1987. Pengaruh Penyawahan Terhadap Morfologi, Pedogenesis, Elektrokimia, dan Klasifikasi Tanah. Disertasi. Program Pasca Sarjana,Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Prasetyo, B.H. 2007b. Perbedaan sifat tanah Vertisol dari berbagai bahan induk. Jurnal Ilmu-ilmu Pertanian Indonesia 9(1):20-31.

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. dan Hikmatullah. 2001. Potensi dan kendala pengembangan tanaman pangan lahan basah di Kabupaten Kutai Timur, Kalimantan Timur. Jurnal Tanah dan Air 2:97-109.

Prasetyo, B.H., H. Suganda, dan A. Kasno. 2007a. Pengaruh bahan volkan pada sifat tanah sawah. Jurnal Tanah dan Iklim 25:45-58.

Prasetyo, B.H., J.S. Adiningsih, K. Subagyono, dan R.D.M. Simanungkalit. 2004. Mineralogi, kimia, fisika, dan biologi lahan sawah. Hlm 29-82. *Dalam* F. Agus, A. Adimihardja, S. Hardjowigeno, A.M. Fagi, dan W. Hartatik (*Eds*.). Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya.

Prasetyo, B.H., M. Soekardi, dan H. Subagyo. 1996. Tanah-tanah sawah intensifikasi di Jawa: susunan mineral, sifat kimia, dan klasifikasinya. Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk 14:12-24.

Prawirasumantri, J., A. Sofyan, dan M. Sudjadi. 1983. Pembandingan efisiensi tiga pupuk nitrogen untuk padi sawah IR-36 pada tanah Grumusol dan Regosol. Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk 2:35-38.

Rayes, M.L. 2000. Karakteristik, Genesis, dan Klasifikasi Tanah Sawah Berasal dari Bahan Volkanik Merapi. Disertasi Program Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

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. Adimihardja, S. Hardjowigeno, A.M. Fagi, dan W. Hartatik (*Eds*.). Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya.

Soepartini, M. 1995. Status kalium tanah sawah dan tanggap padi terhadap pemupukan KCl di Jawa Barat. Pemberitaan Penelitian Tanah 13:27-40.

Sofyan, A., D. Nursyamsi, and L.I. Amien. 2002. Development of soil testing in Indonesia. Workshop Proceeding, 21-24 January 2002. SMCRSP Technical Bulletin 2003-01.

Sofyan, A., Nurjaya, dan A. Kasno. 2004. Status hara tanah sawah untuk rekomendasi pemupukan. Hlm 83-114. *Dalam* F. Agus, A. Adimihardja, S. Hardjowigeno, A.M. Fagi, dan W. Hartatik (*Eds*.). Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya.

Subardja, D. and P. Buurman. 1980. A toposequence of Latosols on Volcanic rock in the Bogor-Jakarta area. Pp 25-45. *In* P. Buurman (*Ed*). Red Soils in Indonesia.

Wilson, M.J. and P.W. Cradwick. 1972. Occurrence and interstratified kaolinite-monmorillonite in some Scottish soils. Clay Miner. 9:435-437.