

# KERAGAMAN MINERAL LIAT PADA TANAH SAWAH BERBAHAN VOLKANIK ANDESITIK DI SENTRA PRODUKSI BERAS SÖLOK, SUMATERA BARAT

(Clay mineral variety on paddy soil that derived from volcanic andesitic material at Solok Rice Production Centre, West Sumatera)

E. Suryani<sup>1</sup>, Sudarsono<sup>2</sup>, Iskandar<sup>2</sup> dan D. Subardja<sup>1</sup>

<sup>1</sup>) Staf Peneliti pada Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian.  
Kampus Penelitian Pertanian, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Cimanggu Bogor (16114)  
email: [erna\\_suryani2004@yahoo.com](mailto:erna_suryani2004@yahoo.com), [d\\_subardja@yahoo.com](mailto:d_subardja@yahoo.com).

<sup>2</sup>) Staf Pengajar pada Program Studi Ilmu Tanah Sekolah Pascasarjana IPB  
Kampus IPB Darmaga, Bogor (16680)  
email: [sudarsono\\_somad@yahoo.com](mailto:sudarsono_somad@yahoo.com), [issi\\_iskandar@yahoo.com](mailto:issi_iskandar@yahoo.com)

## ABSTRACT

Clay mineral is the result of chemically weathering of primary minerals or the results of a new formation in the soil. This study informs the types of clay minerals that derived from andesitic volcanic material in Solok Rice Production Center, West Sumatera. This information is important related with management technology of paddy soil in the area. For the purpose, has analyzed 16 soil samples derived from eight representatives pedon that taken in transects the volcanic area of Mount Talang, Batang Sumani Alluvial Plain to Singkarak Lake Lacustrine Plain. Pedon PV1 and PV2 represent paddy soil in the volcanic area, pedon PA1, PA2 and PA3 represent paddy soil in the Alluvial Plain and pedon PD1, PD2 and PD3 represent paddy soil in the Lacustrine Plain. The clay minerals type identified using X-Ray Diffractometer through saturation cations ( $Mg^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ -glycerol,  $K^+$  and  $K^+$  550°C). Results showed that composition of the formed clay minerals are different. Paddy soils in volcanic areas dominated by halloysite clay mineral, in Lacustrine Plain the clay mineral dominated by smectite and moderate kaolinite are found. In the alluvial plains found the mixture of smectite, kaolinite and halloysite clay minerals.

## ABSTRAK

Mineral liat merupakan hasil pelapukan secara kimia mineral primer atau hasil pembentukan baru di dalam tanah. Penelitian ini menginformasikan jenis-jenis mineral liat yang terbentuk pada tanah sawah berbahan vulkanik andesitik di Sentra Produksi Beras Solok, Sumatera Barat. Informasi ini penting hubungannya dengan teknologi pengelolaan tanah sawah di daerah tersebut. Sebanyak 16 contoh tanah yang berasal dari delapan pedon perwakilan diambil secara transek dari daerah vulkanik Gunung Talang, Dataran Aluvial Batang Sumani hingga Dataran Lakustrin Danau Singkarak. Pedon PV1 dan PV2 mewakili tanah sawah di daerah vulkanik, pedon PA1, PA2 dan PA3 tanah sawah di Dataran Aluvial dan pedon PD1, PD2 dan PD3 tanah sawah di Dataran Lakustrin. Identifikasi jenis mineral liat menggunakan X-Ray Diffractometer melalui penjujukan kation ( $Mg^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ -glycerol,  $K^+$  dan  $K^+$  550°C). Hasil penelitian menunjukkan komposisi mineral liat yang terbentuk berbeda. Tanah-tanah sawah di daerah vulkanik didominasi oleh haloisit, di Dataran Lakustrin didominasi oleh smektit, disamping kaolinit dalam jumlah sedang dan di Dataran Aluvial ditemukan campuran antara mineral liat smektit, kaolinit dan haloisit.

*Keywords: halloysite, mixture, smectite*

## PENDAHULUAN

Tanah merupakan hasil interaksi dari faktor-faktor pembentuk tanah (Jenny, 1980). Menurut Buol *et al.* (1980) diantara faktor-faktor tersebut, bahan induk merupakan faktor pembentuk tanah dominan. Allen dan Hajek (1989) mengemukakan mineral merupakan penyusun bahan induk yang berperan penting dalam menentukan sifat-sifat tanah. Pelapukan mineral primer seperti feldspar, feromagnesia (olivin, piroksin, amfibol), mika, zeolit, gelas vulkan menyumbangkan unsur hara seperti Ca, Mg, K dan  $Na^+$  (Huang, 1989; Fanning *et al.*, 1989; Wada, 1989). Selain sebagai sumber hara, pelapukan mineral primer menghasilkan mineral liat yang berperan penting dalam menentukan



muatan tanahnya. Tanah sawah yang didominasi oleh mineral liat bermuatan negatif lebih reaktif dibandingkan dengan tanah sawah yang didominasi muatan positif (Borchardt, 1989). Allen dan Hajek (1989) menambahkan bahwa selain melalui pelapukan mineral primer, mineral liat dapat terbentuk melalui pembentukan baru (*neoformation*) di dalam tanah.

Eswaran (1979); Delvaux *et al.* (1989) mengemukakan bahwa pelapukan bahan vulkanik di daerah tropik menghasilkan alofan, haloisit, smektit, kaolinit, goetit dan gipsit. Di antara mineral liat tersebut alofan dan haloisit merupakan fraksi liat dominan. Wada (1989) menjelaskan haloisit terbentuk dari pelapukan alofan, namun banyak peneliti mengungkapkan haloisit terbentuk langsung dari abu vulkanik sama halnya dengan alofan (Parfitt *et al.*, 1983; Parfitt *et al.*, 1984; Singleton *et al.*, 1989). Beberapa studi meyakini bahwa haloisit merupakan bentuk intermedier sebelum akhirnya ditransformasi ke bentuk yang lebih stabil (McIntosh, 1979; Singleton *et al.*, 1989). Penelitian Wada dan Aomine (1973) membuktikan bahwa haloisit terbentuk dari alofan dan akan melapuk membentuk kaolinit dan terakhir gipsit mengingat adanya proses desilikasi (pencucian silika).

Penelitian ini menginformasikan jenis-jenis mineral liat yang terbentuk pada tanah sawah berbau vulkanik andesitik di Sentra Produksi Beras Solok, Sumatera Barat. Diharapkan informasi ini dapat bermanfaat dalam penerapan teknologi pengelolaan tanah sawah di daerah tersebut.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Sebanyak delapan pedon perwakilan, yaitu PV1, PV2, PA1, PA2, PA3, PD1, PD2 dan PD3 telah dideskripsi di lapang dan 16 contoh tanah yang berasal dari lapisan atas dan lapisan bawah pedon-pedon tersebut telah dianalisis di laboratorium. Pedon-pedon diambil secara transek mulai dari daerah vulkanik Gunung Talang, Dataran Aluvial Batang Sumani hingga Dataran Lakustrin Danau Singkarak.

### Metode

Komposisi mineral pasir ditetapkan dengan metode *line counting* menggunakan Mikroskop Polarisorator, sedangkan jenis mineral liat dengan *X-Ray Diffractometer* melalui penjenjahan kation ( $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ 550°C dan  $Mg^+$  Glycerol). Analisis sifat fisik-kimia tanah meliputi tekstur (metode pipet), pH  $H_2O$  (pH meter) dan pH KCl (KCl 1 N), C organik (Walkley and Black), N total (Kjeldahl), P dan K potensial (HCl 25%), P tersedia (Olsen dan Bray 1), basa-basa dapat tukar dan kapasitas tukar kation ( $NH_4OAc$  pH 7). Prosedur analisis tanah mengikuti *Soil Survey Laboratory Methods and Procedures for Collecting Soil Samples* (SCS-USDA, 1982). Klasifikasi tanah mengacu pada *Keys to Soil Taxonomy* (Soil Surveys Staff, 2010).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Komposisi Mineral Pasir

Komposisi mineral pasir dari pedon-pedon yang diteliti disajikan pada Tabel 1. Terlihat bahwa komposisi mineral pasir terdiri atas gelas vulkan, feldspar jenis plagioklas (labradorit), feromagnesia jenis amfibol (hornblende) dan piroksin (augit dan hiperstin), opak dan sedikit kuarsa. Opak dominan pada pedon-pedon di daerah vulkanik, feldspar (labradorit) dan piroksin (hiperstin) dominan pada pedon-pedon di Dataran Aluvial, sedangkan pedon-pedon di Dataran Lakustrin didominasi oleh gelas vulkan dan feldspar (labradorit). Komposisi mineral pasir demikian menunjukkan pedon-pedon mengandung bahan vulkanik andesitik (Suryani, 2011).

Mohr dan van Baren (1960) menyatakan opak dan hiperstin tergolong mineral berat karena mempunyai *specific gravity* (*s.g*) > 2.9, sedangkan feldspar (labradorit) tergolong mineral ringan (*s.g* < 2.9). Kemungkinan karena perbedaan *s.g* tersebut, opak sulit ditranslokasikan. Sementara tingginya hiperstin pada pedon-pedon di Dataran Aluvial mengindikasikan hiperstin mempunyai *s.g* yang lebih rendah dari opak. Hal yang sama juga terjadi pada mineral ringan. Kandungan labradorit lebih tinggi pada pedon-pedon di Dataran Aluvial, sebaliknya gelas vulkan lebih tinggi pada pedon-pedon di

Dataran Lakustrin. Menurut Hunter (1988) keberadaan gelas volkan di dalam tanah sebagian besar merupakan endapan angin (*aeolian*).

Tabel 1. Komposisi mineral pasir pedon-pedon yang diteliti

Pewakil	Kedlman (cm)	Jenis dan komposisi mineral (%)												
		Op	Ku	Li	Ze	Hg	Lm	Gv	La	Sa	Hh	Hc	Au	Hi
PV1	0-21	32	7	Sp	-	3	10	17	4	Sp	3	2	1	17
	21-35	41	7	Sp	Sp	2	14	10	3	1	2	2	1	14
	35-39	31	8	-	-	4	14	14	1	Sp	4	3	2	13
	39-43	45	7	Sp	-	3	11	10	1	1	3	2	1	12
	43-74	43	6	1	-	7	14	15	Sp	1	2	1	Sp	4
	74-100	53	8	Sp	-	2	9	16	Sp	1	2	2	1	3
PV2	0-10	58	7	1	-	Sp	7	5	5	2	1	1	1	6
	10-25	59	8	-	Sp	-	2	5	4	2	2	2	3	8
	25-51	73	3	Sp	Sp	Sp	9	3	2	1	Sp	1	1	5
	51-80	52	1	-	Sp	Sp	42	2	Sp	1	Sp	Sp	Sp	Sp
	80-100	82	1	Sp	Sp	Sp	17	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp
PA1	0-15	7	6	1	Sp	Sp	7	9	33	Sp	1	Sp	5	21
	15-30	39	2	Sp	1	-	11	3	18	1	1	1	2	16
	30-52	17	3	1	Sp	-	28	5	18	Sp	1	Sp	5	13
	>52	37	3	Sp	Sp	Sp	30	5	11	Sp	Sp	1	1	7
PA2	0-16	12	1	-	Sp	Sp	8	8	28	1	1	1	7	30
	16-32	18	1	1	Sp	-	2	6	36	-	Sp	Sp	6	27
	32-55	15	1	1	-	1	4	6	28	-	1	1	4	35
	55-79	6	1	1	1	-	34	9	26	Sp	1	1	4	14
PA3	0-15	12	1	Sp	Sp	Sp	5	3	28	-	Sp	Sp	4	42
	15-35	15	1	Sp	Sp	-	4	6	33	Sp	-	-	3	37
	35-50	20	1	1	1	Sp	27	4	24	-	-	-	2	14
	50-72	10	Sp	1	1	Sp	28	9	30	1	Sp	Sp	1	13
	72-90	11	sp	1	1	-	26	9	23	-	Sp	Sp	5	16
PD1	0-20	Sp	6	-	Sp	-	1	69	2	-	1	Sp	1	3
	20-41	Sp	5	Sp	Sp	Sp	4	60	18	Sp	1	-	1	4
	41-60	3	3	1	1	Sp	10	56	10	Sp	1	-	1	4
	60-73	4	3	1	Sp	-	28	35	10	Sp	1	-	3	1
	73-100	3	6	2	-	Sp	19	37	12	Sp	Sp	Sp	1	7
PD2	0-20	7	12	Sp	Sp	-	6	19	20	1	5	1	2	13
	20-48	10	8	Sp	Sp	Sp	34	6	14	Sp	1	Sp	2	4
	48-100	6	5	Sp	Sp	-	33	14	18	-	1	Sp	Sp	4
	100-120	1	2	1	Sp	Sp	54	14	11	Sp	Sp	-	Sp	1
PD3	0-15	6	10	Sp	-	-	6	23	25	1	2	1	2	12
	15-40	6	8	Sp	Sp	-	13	30	21	Sp	2	Sp	1	11
	40-70	5	6	1	-	Sp	36	20	14	Sp	2	-	Sp	4
	70-100	3	Sp	1	-	Sp	47	16	14	-	Sp	-	2	4
	100-120	2	1	1	Sp	Sp	41	19	21	Sp	1	1	1	2

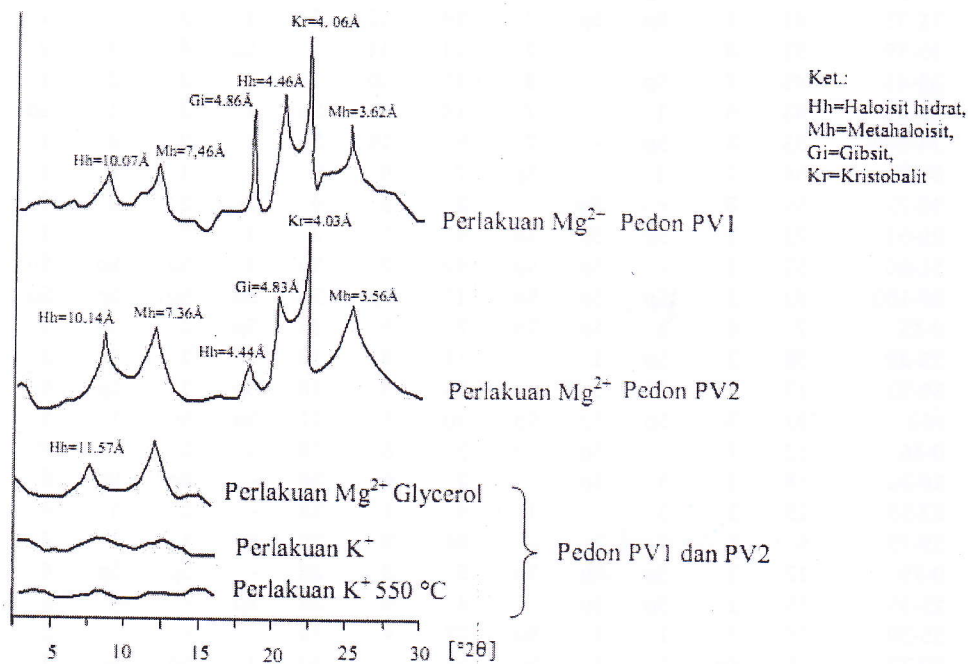
Keterangan: Op=Opak, Ku = Kuarsa (Kuarsa keruh + Kuarsa bening), Li=Limonit, Ze=Zeolit, Hg=Hidragilit, Lm=Lapukan mineral, Gv=Gelas volkanik, La=Labradorit, Sa=Sanidin, Hh=Hornblende hijau, Hc=Hornblebde coklat, Au=Augit, Hi=Hiperstin dan Sp=Spoor.

Dalam Peta Geologi Bersistem Sumatera (1995) disebutkan bahwa Sentra Produksi Beras Solok berada pada dua formasi geologi, yaitu formasi *Qf* dan formasi *Qal*. Formasi *Qf* merupakan rombakan andesit gunung berapi, penyebarannya berada pada daerah volkanik, sedangkan formasi *Qal* merupakan endapan liat, pasir dan kerikil pada Dataran Aluvial dan Lakustrin. Berdasarkan proses pembentukan *landform*, tanah sawah di Dataran Aluvial dan Lakustrin terbentuk dari bahan endapan (*Alochthonous materials*), di Dataran Aluvial pengendapan bahan dipengaruhi oleh aktivitas sungai dan di Dataran Lakustrin oleh aktivitas danau, sedangkan di daerah volkanik tanah sawah terbentuk dari bahan *in situ* (*Autochthonous materials*). Adanya kesamaan komposisi mineral pasir pada pedon-pedon yang diteliti menunjukkan tanah-tanah sawah di Dataran Aluvial dan Lakustrin lebih banyak dipengaruhi oleh bahan volkanik andesitik.

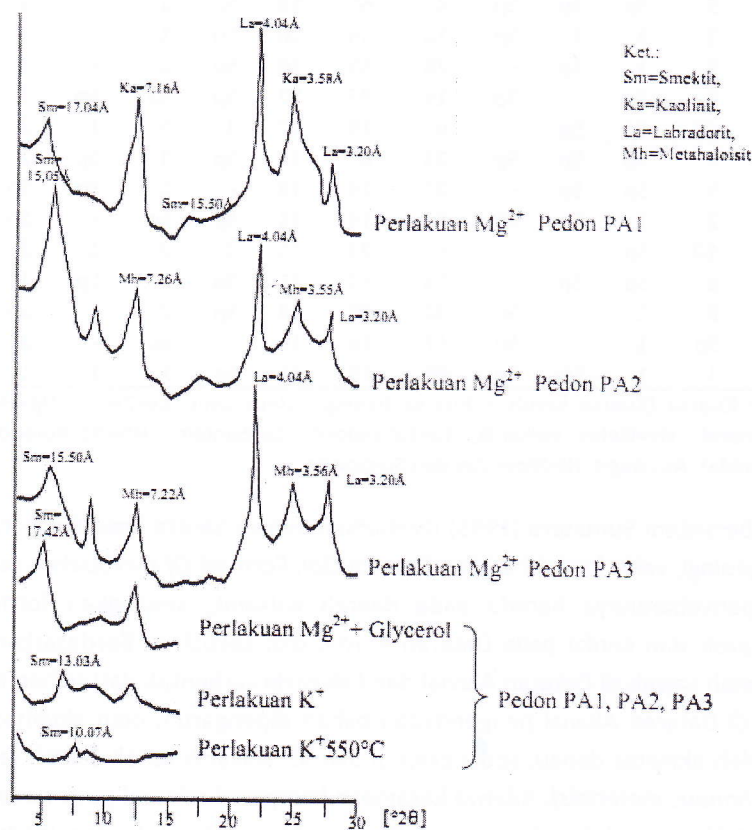


### Komposisi Mineral Liat

X-Ray Diffractogram pedon-pedon di daerah vulkanik disajikan pada Gambar 1. Terlihat bahwa pedon PV1 dan PV2 mempunyai komposisi mineral liat sama, yaitu haloisit hidrat dan metahaloisit masing-masing dalam jumlah sedang. Menurut Dixon (1989); Allen dan Hajek (1989) adanya haloisit merupakan indikasi bahwa tanah masih tergolong muda. Beberapa studi menyatakan bahwa haloisit merupakan bentuk awal dari sistem pelapukan aktivitas larutan silika tinggi sebelum akhirnya ditransformasi ke bentuk yang lebih stabil (McIntosh, 1979; Singleton *et al.*, 1989). Selain mineral liat, juga ditemukan kristobalit dalam jumlah sedikit sampai sedang dan gipsit sedikit.



Gambar 1 X-Ray Diffractogram lapisan atas pedon-pedon di daerah vulkanik

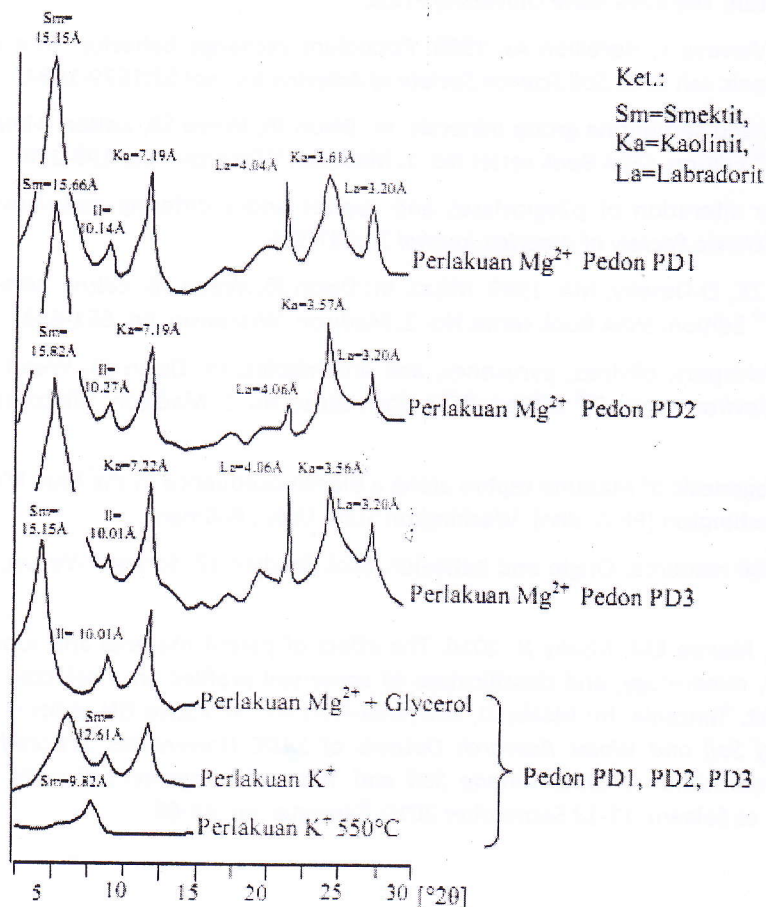


Gambar 2 X-Ray Diffractogram lapisan atas pedon-pedon di Dataran Aluvial

Komposisi mineral liat pedon-pedon di Dataran Aluvial disajikan pada Gambar 2. Pada gambar tersebut terlihat kaolinit mendominasi pedon PA1. Selain kaolinit, X-Ray Diffractometer juga mengidentifikasi adanya smektit dalam jumlah sedikit, sebaliknya dengan pedon PA2 smektit dijumpai dalam jumlah banyak. Selain smektit terdapat metahalosit dan haloisit hidrat masing-masing dalam jumlah sedang dan sedikit. Pada pedon PA3 teridentifikasi adanya smektit dan metahalosit dalam jumlah yang sama (sedang) dan haloisit hidrat dalam jumlah sedikit. Di semua pedon, pada fraksi liatnya dijumpai feldspar (labradorit) dalam jumlah sedikit.

Berbeda dengan Dataran Aluvial, pedon-pedon di Dataran Lakustrin (Gambar 3) mempunyai komposisi mineral liat yang sama. Pada gambar X-Ray Diffractogram tampak komposisi mineral liat yang lebih seragam. Mineral smektit dijumpai dalam jumlah banyak dan kaolinit dalam jumlah sedang serta illit dalam jumlah sedikit. Pada fraksi liatnya terdapat mineral feldspar (labradorit) dalam jumlah sedikit.

Menurut Borchardt (1989) keberadaan smektit di dalam tanah terjadi melalui tiga cara. Pertama, pembentukan dari larutan, kedua transformasi mika, dan ketiga pengendapan smektit. Pembentukan dari larutan merupakan sumber utama smektit di dalam tanah. Adanya smektit di daerah penelitian kemungkinan terbentuk dari larutan. Hal ini didukung oleh data mineral pasir (Tabel 1) yang menunjukkan jumlah mineral penyusun relatif sama, tetapi mineral liat yang terbentuk berbeda (pedon-pedon PA), sebaliknya mineral liat sama tetapi jumlah mineral penyusun sedikit berbeda (pedon-pedon PD). Pelapukan mineral primer pada lereng atas dan tengah vulkanik dalam lingkungan berdrainase baik, melepaskan kation basa ke dalam larutan tanah yang kemudian mengalami pencucian dan terakumulasi di daerah bawah yang lebih datar pada drainase terhambat. Akumulasi kation basa terutama  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$ , pada pH tinggi dan lingkungan kaya Si membentuk smektit (Borchardt, 1989). Pada kondisi pH tinggi tersebut, menurut van Wambeke (1992) kaolinit dan haloisit tidak mungkin terbentuk karena menurut Dixon (1989) kaolinit dan haloisit merupakan hasil pelapukan pada lingkungan masam. Hal ini berarti keberadaan kaolinit dan haloisit di dalam tanah juga merupakan hasil translokasi dari lereng atas dan tengah vulkanik.



Gambar 3 X-Ray Diffractogram lapisan atas pedon-pedon di Dataran Lakustrin



Selain pembentukan melalui larutan, pembentukan smektit kemungkinan juga melalui proses *depotassication* mika. Hal ini dijumpainya illit di dalam mineral liat tanahnya. Menurut Borchardt (1989) adanya illit bersama smektit merupakan bagian dari proses transformasi illit – smektit. Dalam proses *depotassication* ini, Dataran Lakustrin menyediakan lingkungan yang sesuai untuk transformasi illit-smektit. Menurut Borchardt (1989); Fanning *et al.* (1989) pembentukan smektit dari illit terjadi karena lingkungan rendah  $K^+$  dan  $Al^{3+}$ , namun  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$  tinggi dalam larutan tanah, pH tanah tinggi dan drainase terhambat, serta adanya kondisi basah dan kering. Hal yang sama dilaporkan Kaaya *et al.* (2010) dari Dataran Wami-Makata di Distrik Morogoro, Tanzania bahwa mika hidrous (illit) dan kaolinit diangkut dari lereng atas dan tengah vulkanik, kemudian diendapkan di daerah lebih rendah, selanjutnya illit mengalami transformasi menjadi smektit.

### KESIMPULAN

1. Tanah sawah di daerah vulkanik didominasi oleh mineral liat haloisit (haloisit hidrat dan metahaloisit). Di Dataran Lakustrin mineral liat didominasi oleh smektit, di samping kaolinit dalam jumlah sedang dan di Dataran Aluvial dijumpai campuran mineral liat smektit, haloisit dan kaolinit.
2. Haloisit terbentuk melalui pelapukan bahan vulkanik, sedangkan smektit diduga melalui larutan (*neofomation*). Sementara adanya haloisit dan kaolinit yang berasosiasi dengan smektit di daerah dataran diduga merupakan hasil translokasi dari lereng atasnya.

### DAFTAR PUSTAKA

- Allen BL, Hajek BF. 1989. Mineral occurrence in soil environments. In: Dixon JB, Weed SB, editor. *Minerals in Soil Environments*. 2<sup>nd</sup> Edition. SSSA Book series No. 1. Madison: Wisconsin. pp. 199-278.
- Borchardt G. 1989. Smectites. In: Dixon JB, Weed SB, editor. *Minerals in Soil Environments*. 2<sup>nd</sup> Edition. SSSA Book series No. 1. Madison: Wisconsin. pp. 675-727.
- Buol SW, Hole FD, McCracken RJ, Southers RJ. 1980. *Soil Genesis and Classification*. 4<sup>th</sup> Edition. Madison, Wisconsin: The Iowa State University Press.
- Delvaux B, Dufey JE, Vievoys L, Herbillon AJ. 1989. Potassium exchange behavior in a weathering sequence of volcanic ash soils. *Soil Science Society of America Journal* 53:1679-1684.
- Dixon JB. 1989. Kaolin and serpentine group minerals. In: Dixon JB, Weed SB, editor. *Minerals in Soil Environments*. 2<sup>nd</sup> Edition. SSSA Book series No. 1. Madison: Wisconsin. pp. 199-278.
- Eswaran H. 1979. The alteration of plagioclases and augites under differing pedo-environmental conditions. *Soil Science Society of America Journal* 30:547-555.
- Fanning DS, Vissarion ZK, El-Desoky, MA. 1989. Micas. In: Dixon JB, Weed SB, editor. *Minerals in Soil Environments*. 2<sup>nd</sup> Edition. SSSA Book series No. 1. Madison: Wisconsin. pp. 551-634.
- Huang PM. 1989. Feldspars, olivines, pyroxenes, and amphiboles. In: Dixon JB, Weed SB, editor. *Minerals in Soil Environments*. 2<sup>nd</sup> Edition. SSSA Book series No. 1. Madison: Wisconsin. pp. 975-1050.
- Hunter CR. 1988. Pedogenesis of Mazama tephra along a bioclimosequence in the Blue Mountains of southeastern Washington [Ph.D. diss]. Washington State Univ., Pullman.
- Jenny, H. 1980. The soil resource: Origin and behavior. Ecol. Studies 37. Springer-Verlag, New York. 377 pp.
- Kaaya AB, SorensenR, Marwa EM, Msaky JJ. 2010. The effect of parent material and topography on soil morphology, mineralogy, and classification of some soil profiles on a selected transect in morogoro District, Tanzania. In: Msaky JJ, Kanyama-Phiri GY, Shongwe GN, editors. *Enhancing Dissemination of Soil and Water Research Outputs of SADC Universities. Proceedings of the Workshop on Information Sharing among Soil and Water Management Experts from SADC Universities*, Dar es Salaam, 11-13 September 2010. Tanzania. pp. 48-69.



- McIntosh P. 1979. Halloysite in a New Zealand tephra and paleosol less than 2500 years old. *New Zealand Journal Science* 22:49-54.
- Mohr ECJ, van Baren FA. 1960. *Tropical Soils*. Les Editions. A. Manteau SA: Bruxelles.
- Parfitt RL, Russell M, Orbell GE. 1983. Weathering sequence of soils from volcanic ash involving allophane and halloysite, New Zealand. *Geoderma* 29:41-57.
- Parfitt RL, Saigusa M, Cowie JD. 1984. Allophane and halloysite formation in a volcanic ash bed under different moisture conditions. *Soil Science* 138:360-364.
- Peta Geologi Bersistem Sumatera. 1995. Peta Geologi Lembar Solok, Sumatera [Peta Tematik]. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Rasmussen C, Matsuyama N, Dahlgren RA, Southard RJ, Brauer N. 2007. Soil genesis and mineral transformation across an environmental gradient on andesitic lahar. *Soil Science Society of American Journal* 71:225-237.
- [SCS-USDA] Soil Conservation Service-United States Department of Agriculture. 1982. *Soil Survey Laboratory Methods and Procedures for Collecting Soil Samples*. Soil Survey Invest. Report 1. USDA.
- Singleton PL, McLeod M, Percival HJ. 1989. Allophane and halloysite content and soil solution silicon in soils from rhyolitic volcanic material, New Zealand. *Aust. Journal Soil Res* 27:67-77.
- Soil Survey Division Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. 11<sup>th</sup> Edition. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service.
- Sudarsono. 1991. Influence du traitement des pailles sur la matiere organique d'une rendzine soumise a une culture cerealiere intensive [these]. L'universite De Poitiers U.F.R. Sciences Fundamentalus et Appliquees. France.
- Sudarsono. 1996. Bahan organik tanah [bahan kuliah]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Suryani E. 2011. Karakteristik dan optimalisasi tanah sawah Sentra Produksi Beras Solok, Sumatera Barat [disertasi]. Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- van Wambeke A. 1992. *Soils of Tropics: Properties and Appraisal*. McGraw-Hill Inc. New York.
- Wada K. 1989. Allophane and imogolite. In: Dixon JB, Weed SB, editor. *Minerals in Soil Environments*. 2<sup>nd</sup> Edition. SSSA Book series No. 1. Madison: Wisconsin. pp. 1051-1087.
- Wada K, Aomine S. 1973. Soil development of volcanic material during the quaternary. *Soil Science* 116: 170-177.