

PERTUMBUHAN MATERIAL INTERLAYER DI MINERAL LEMPUNG SMEKIT DI TANAH LEPTIC HAPLUDERT YANG BERKEMBANG DI ATAS Ca-BENTONIT DI NANGGULAN KULON PROGO

Growth of Interlayer Material in The Smectite Clay Mineral in The Leptic Hapludert Developed on Ca-Bentonite at Nanggulan Kulon Progo

Mohammad Nurcholis¹ dan Aris Buntoro²

¹Program Studi Agroteknologi, ²Program Studi Teknik Perminyakan

UPN "Veteran" Yogyakarta

E-mail: nurcholis@upnyk.ac.id

ABSTRACT

The objective of this study was to understand the mineralogical characteristics of the bentonite and its upper developed soil, at Nanggulan Kulonprogo. Separation and collection of clay fraction were done by fractionation on suspension at pH 10 after organic matter was oxidized using H₂O₂. Characteristics of clay mineral was analyzed using X-ray diffraction on parallel oriented samples after Mg saturation, glycerol solvation, or K saturation, and its following successive heating at 100°C, 300°C dan 550°C. Cation exchange capacity (CEC) and the exchangeable bases were analyzed using saturation of NH₄OAc 1N pH 7. Results showed that clay materials of both samples were Ca-bentonite. Comparing with clay from soil, bentonite had peak intensity of the smectite minerals and low value of CEC and exchangeable Ca. Potassium saturation caused uncompleetely shringkage of the studied smectite minerals, and it was reflected by a broader peaks at 13,11 Å. The presence of these broader peaks was interpreted as a growth of interlayer materials that it may alter to smectite-chlorite intergrade minerals.

Keywords: interlayer materials, smectite minerals, Ca-bentonite, Leptic Hapluderts

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mineralogi bentonit dan tanah yang berkembang di atasnya, di Nanggulan Kulonprogo. Pemisahan dan pengumpulan fraksi lempung dilakukan dengan fraksionasi pada suspensi pH 10 setelah bahan organik dihilangkan dengan H₂O₂. Karakteristik mineral lempung dianalisis dengan difraksi sinar-X yang menggunakan sampel paralel setelah penjuenan Mg, solvasi gliserol, dan penjuenan K dengan pemanasan bertingkat dari 100°C, 300°C dan 550°C. Kapasitas pertukaran kation (KPK) dan basa-basa tertukar ditetapkan dengan penjuenan NH₄OAc 1N pH 7. Hasil analisis menunjukkan bahwa bahan lempung dari kedua sampel adalah Ca-bentonit. Lempung dari bentonit mempunyai karakteristik, yaitu intensitas mineral smektit lebih rendah dan nilai KPK serta kadar Ca yang juga rendah dibandingkan dengan yang dari tanah. Penjuenan kalium menyebabkan pengerutan yang tidak merata di semua bagian mineral smektit, yang ditandai dengan puncak 13,11 Å dengan bentuk melebar. Adanya puncak yang melebar ini diinterpretasikan sebagai pertumbuhan material di dalam ruang interlayer antar satuan kisi mineral smektit yang dapat mengubah mineral ini menjadi mineral intergrade smektit-klorit.

Kata kunci: material interlayer, mineral smektit, Ca-bentonit, Leptic Hapludert

PENDAHULUAN

Lempung merupakan unsur penting dalam kajian geomorfologi. Distribusi tipe lempung dipengaruhi oleh proses geomorfologi dan perkembangan tanahnya (Priyono, 2012). Bentonit merupakan material lempung yang didominasi oleh mineral smektit dan dapat terbentuk dari alterasi material vulkanik maupun sedimen, dan material ini sangat bermanfaat bagi berbagai bidang. Sukandarumidi (1999) mengatakan bahwa bentonit adalah jenis lempung yang 80% lebih terdiri atas mineral smektit. Honty *et al.* (2004) melaporkan bentonit sebagai material yang berbentuk butiran berukuran halus sampai kasar dan merupakan hasil perubahan dari tuf *rhyolite-andesite*. Ada dua macam bentonit yang dikenal, yaitu Na-bentonit dan Ca- atau Mg- bentonit. Dalam bidang pemboran, ada dua jenis mineral lempung yang terpenting dalam lumpur pemboran, yaitu *montmorillonite* yang secara umum disebut *bentonite* atau *gel*, dan *attapulgit* (*salt gel*). Bentonit yang ada di pasaran mempunyai kandungan sodium *montmorillonite* sekitar 60 -70%. Natrium *montmorillonite* adalah merupakan material yang berbentuk plat-plat seperti lembaran-lembaran buku (Buntoro, 2003). Plat-plat tersebut sangat tipis dengan ukuran partikel kurang dari 0.1 m. Bentonit menyerap air tawar pada permukaan partikel-partikelnya, sehingga dapat menaikkan volumenya sampai 10 kali atau lebih, yang disebut "*swelling*" sebagai hasil dari proses "*hidration*". Besarnya *swelling* yang terjadi dapat dilihat dengan meningkatnya kekentalan atau viskositas lumpur, yang tergantung dari luas permukaan dan total jumlah air yang diserap oleh mineral lempung.

Mineral smektit termasuk mineral lempung tipe 2:1, terdiri atas dua lapisan oktahedral yang mengapit satu lapisan tetrahedral. Adanya substitusi isomorfik yang terjadi di dalam struktur lembaran, kedua lapisan oktahedral dan tetrahedral, menyebabkan

ruang antar lapisan unit mineral dapat ditempati oleh unsur, seperti kation Al, Si, dll. (Nurcholis *et al.*, 1998). Perbedaan dengan vermikulit adalah mineral smektit dapat mengembang dan mengerut. Kedua jenis mineral mempunyai kesamaan yaitu mempunyai ruang interlayer dari mineral. Mineral smektit kebanyakan merupakan mineral sekunder sebagai hasil rekristalisasi silika dan alumina yang terlepas dari mineral yang terlapuk, seperti yang dilaporkan oleh Burras *et al.* (1996), yang meneliti terbentuknya mineral smektit dalam tanah yang berasal dari *loess*. Akan tetapi ada juga yang berasal dari mineral primer, seperti yang ditemukan dalam *tephra* (Dahlgreen *et al.*, 1997). Perilaku mineral smektit dapat dengan mudah dikenali dengan analisis *X-ray diffraction* (XRD) dan *differential thermal analysis* (DTA).

Mineral smektit mempunyai perilaku yang khas atas penjenuhan dengan Mg atau K dan solvasi gliserol atau glikol pada lempung jenuh Mg, atau pemanasan lempung jenuh K. Perilaku mineral ini dapat dilihat dengan perubahan puncak dari *d-spacing* atas perlakuan difraksi sinar X. Penjenuhan mineral smektit dengan Mg menghasilkan puncak 1,45-1,55 nm. Akan tetapi Nurcholis (1998) menemukan puncak smektit jenuh Mg yang mencapai 1,60 nm. Solvasi dengan gliserol pada smektit jenuh Mg dapat mengembangkan menjadi 1,80 nm. Dalam penelitian yang sama Nurcholis (1998) melaporkan pengembangan smektit dapat mencapai 2,10 nm. Mineral smektit yang dijenuhi K dalam kondisi kering angin mengerut menjadi 1,25 nm. Pemanasan bertingkat atas smektit jenuh K dengan suhu 100°C, 300°C dan 550°C menyebabkan pengerutan mineral smektit secara berangsur yang kemudian menjadi 0,95-0,10 nm.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik mineral smektit

dari bentonit. Di samping itu untuk mengetahui tingkat perkembangan dan alterasi mineral smektit di tanah yang berkembang di atasnya setelah mengalami pelapukan dan pedogenesis. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar dalam pemanfaatan bentonit di lokasi yang diteliti, serta memberikan informasi karakteristik dasar tanah yang berkembang di atasnya.

METODOE PENELITIAN

Contoh tanah jenis Leptic Hapludert yang berkembang di atas bentonit diambil dari Desa Tanjungharjo yang termasuk Wilayah Kecamatan Nanggulan Kulonprogo (Gambar 1). Contoh tanah dan bentonit disiapkan dengan cara digerus dan diayak lolos mata saring 2 mm. Pemisahan fraksi lempung dilakukan dengan metode hukum Stokes setelah bahan organik dihilangkan dengan penambahan H_2O_2 30% dalam *waterbath* (Gambar 1).

Pengambilan dan pengumpulan fraksi lempung dilakukan dengan cara pen-dispersian setelah pH suspensi dinaikkan menjadi 10 dengan penambahan NaOH pekat (Nurcholis, 1998). Hasil pemipetan lempung dimasukkan di dalam wadah, dan fraksi lempung dipisahkan dari suspensi dengan penambahan garam NaCl. Pemipetan diulang-ulang sampai fraksi lempung dalam suspensi habis.

Suspensi lempung ini dimasukkan dalam tabung sedimentasi 1000 ml, dan volume suspensi ditambah sampai volume tabung. Kadar lempung dalam suspensi ini ditetapkan dengan cara gravimetri, yaitu dengan mengambil sampel 10 ml, dimasukkan dalam botol timbang yang telah ditimbang lebih dahulu. Suspensi dikeringkan di dalam pemanas dengan suhu $105^{\circ}C$, kemudian ditimbang. Selanjutnya suspensi dijadikan konsentrasi 50 mg/10 ml dengan

menambah air. Suspensi ini digunakan untuk perlakuan dan analisis selanjutnya.

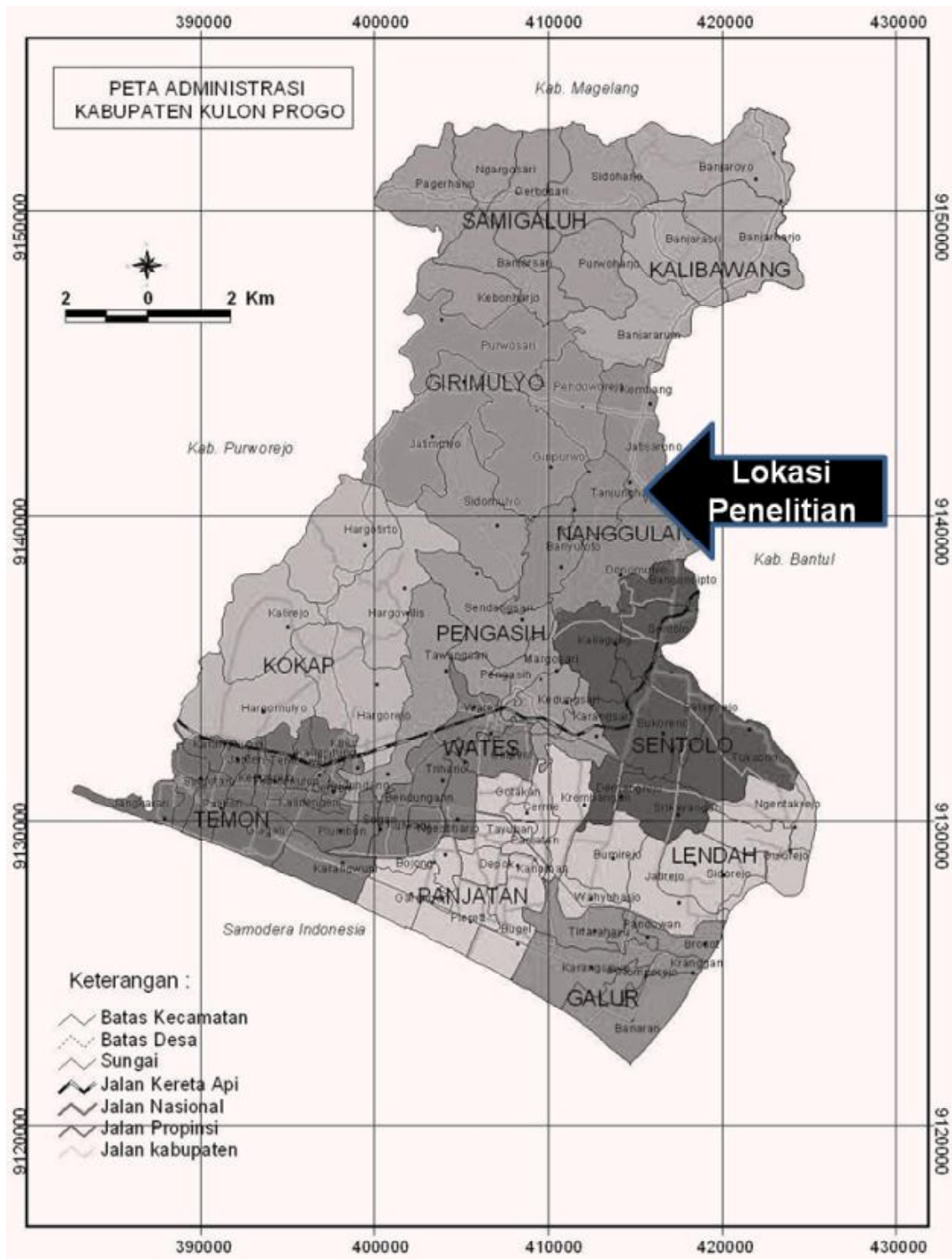
Kation-kation tertukar yang meliputi Ca, Mg, K, Na dalam sampel tanah dan bentonit ditetapkan dengan mengekstrak menggunakan amonium asetat 1 N pH 7. Adapun unsur-unsurnya ditetapkan dengan *atomic absorption spectrophotometer* (AAS). Kadar karbonat setara ditetapkan dengan kalsimeter. Ekstraksi dengan *Dithionite Citrate Bicarbonate* (DCB) pada sampel lempung dilakukan untuk menghilangkan bahan pengotor yang berupa oksida besi dan aluminum (Mehra dan Jackson, 1960). Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk lebih mempertajam hasil puncak dari difraksi sinar-X.

Analisis mineral lempung dilakukan dengan membuat preparat dalam bentuk *powder* dan *parallel oriented clay*. Difraksi sinar-X yang dilakukan dengan menggunakan sampel *powder* untuk mengenali mineral di luar kelompok filosilikat, dan *parallel oriented sample* untuk menganalisis mineral yang termasuk dalam kelompok filosilikat. Untuk *parallel oriented sample* dengan penjuhan Mg (lemp-Mg), solvasi gliserol pada lemp-Mg, penjuhan lempung dengan K (lemp-K), pemanasan bertingkat pada lemp-K dengan $100^{\circ}C$, $300^{\circ}C$ dan $550^{\circ}C$. Aplikasi sinar-X dilakukan dengan sudut 2θ dari 4° sampai dengan 30° .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik tanah dan bentonit

Hasil analisis tekstur menunjukkan bahwa tanah yang berkembang di atas bentonit dengan kandungan lempung tinggi yaitu 53%, dengan kadar debu 35 % dan pasir 12%. Berdasarkan data ini dapat dilihat bahwa tanah yang dikaji mempunyai klas tekstur lempung.



Sumber: hasil analisis

Gambar 1. Lokasi Penelitian

Kation-kation basa tertukar dalam bentonit yang meliputi Ca, Mg, K, dan Na menunjukkan bahwa bentonit ini oleh didominasi oleh Ca tertukar (Tabel 1). Hal ini mencerminkan bahwa kation dominan yang berada dalam kompleks pertukaran adalah Ca, sehingga dapat dikatakan sebagai Ca-bentonit. Lempung dari tanah menunjukkan bahwa kation-kation tersebut pada umumnya lebih tinggi daripada yang terdapat dalam bentonit, kecuali Na. Hasil ini selaras dengan adanya proses pelapukan dan pedogenesis yang menyebabkan terjadinya pengayaan unsur-unsur terutama kation basa.

Kapasitas pertukaran kation (KPK) tanah yang berkembang di atas bentonit lebih tinggi daripada bentonit (Tabel 1). Hal ini menunjukkan bahwa mineral smektit yang ada di dalam tanah merupakan perkembangan yang lanjut dari mineral smektit dalam bentonit yang merupakan bahan yang mendasari dan sebagai bahan induk tanah. Kadar kapur pada tanah juga lebih besar daripada yang di bentonit. Ini sejalan dengan kation-kation tertukar, yaitu tanah mempunyai kandungan Ca tertukar lebih besar dibandingkan dengan bentonit.

Difraksi Sinar-X Pada Sampel Powder

Hasil analisis difraksi sinar-X pada sampel powder menunjukkan bahwa bentonit dan tanah didominasi oleh mineral lempung smektit (16,1Å) (Gambar 2). Di samping itu terdapat juga mineral-mineral lain seperti *haloisit* 7 Å (7,4Å) (001), *poligorskit* (6,4Å) (001), *haloisit* 7 Å (4,42Å) (002), *poligorskit* (4,25Å) (002), *kristobalit* (4,05Å), *haloisit* 7 Å (3,56Å) (003), kuarsa (3,34Å), dan *felspar* (3,20Å) yang terdapat pada bentonit. Adapun lempung dari tanah terdapat mineral lempung seperti smektit (15,6Å) (001), smektit (8,86Å) (002), *muskovit* (5,2Å), smektit (4,42Å) (003), *poligorskit* (4,25Å), *diaspor* (3,95Å), kuarsa (3,34Å) (001), kuarsa (4,21Å), (002), *felspar* (3,44Å), *kristobalit* (4,05Å), dan *felspar* (3,18Å).

Difraksi Sinar-X Pada Sampel Paralel Oriented

Sampel tanah

Gambar 3. menunjukkan pola difraksi sinar-X dari sampel lempung yang dipisahkan dari tanah. Penjenuhan lempung dengan Mg memberikan puncak 15,96 Å.

Tabel 1. Sifat Kimia Terpilih

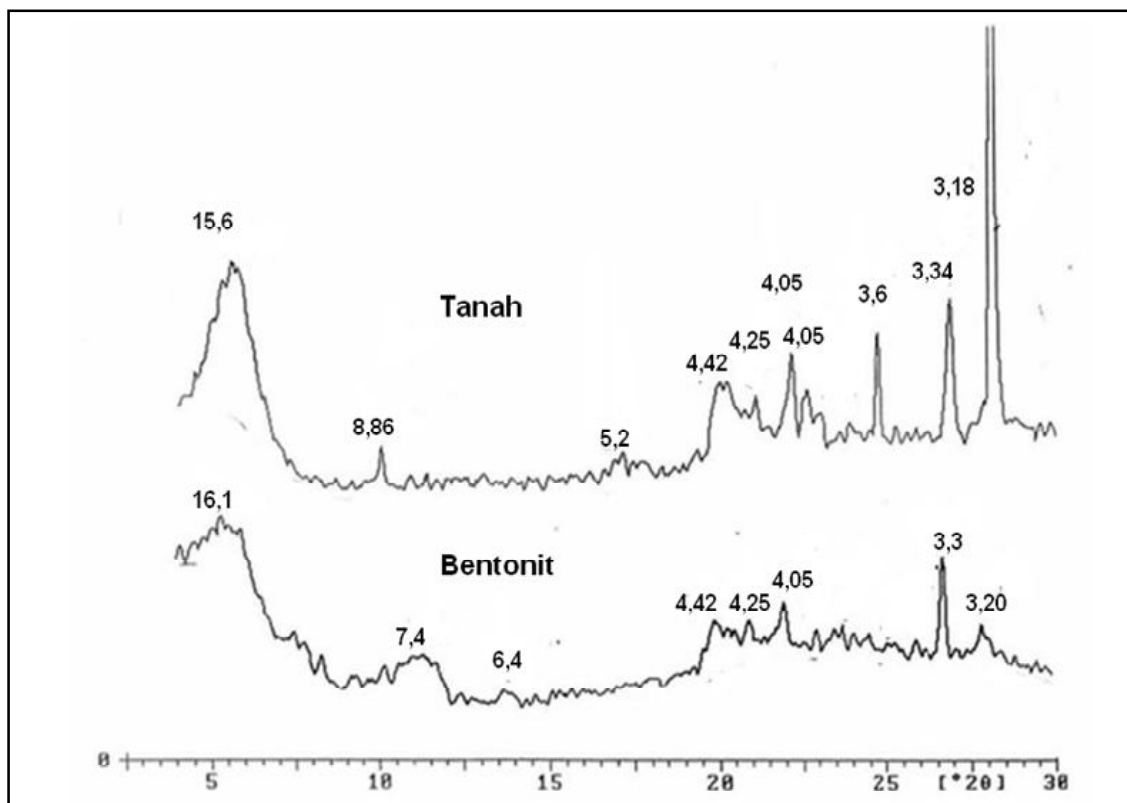
No	Analisis	Satuan	Sampel	
			Tanah	Bentonit
1	KPK	me%	47,54	23,03
2	Kation Tertukar:			
	- Ca ²⁺	me%	49,04	27,77
	- Mg ²⁺	me%	1,40	1,37
	- K ⁺	me%	0,35	0,28
	- Na ⁺	me%	0,21	0,24
3	CaCO ₃	%	3,22	1,31

Sumber: hasil analisis

Solvasi gliserol pada lempung jenuh Mg menyebabkan pergeseran puncak 15,96 Å menjadi 18,5 Å. Muncul puncak 9,00 Å yang menyebabkan puncak sebelumnya menjadi melebar.

Penjenuhan lempung dengan K menyebabkan puncak 15,96 Å bergeser menjadi puncak yang lebar 14-15 Å, Kenampakan ini memberikan gambaran bahwa dalam *interlayer space* terdapat material yang mengisi dan berkembang menjadi polimer. Pada umumnya mineral smektit memberikan puncak 12,5 Å pada penjenuhan K (Nurcholis *et al.* 1998). Pemanasan lempung jenuh K sampai 100°C menyebabkan pergeseran puncak 14-15 Å menjadi 12,1 Å dan terjadi bentuk cekungan antara 12,1 Å dengan 7,15 Å. Di samping itu terjadi peningkatan intensitas

puncak 7,15 Å seperti pada penjenuhan Mg dan penjenuhan K tanpa pemanasan. Kenampakan seperti ini secara umum ditafsirkan sebagai bentuk *mixed layer* antara smektit dengan kaolinit. Akan tetapi hal ini untuk lempung yang dijenuhi K tanpa pemanasan, seperti yang dilaporkan oleh Nurcholis dan Tokashiki (1998). Secara prediksi awal maka mineral lempung ini merupakan peralihan dari mineral smektit ke kaolin. Pemanasan 300°C atas preparat yang telah dijenuhi K dan dipanasi 100°C menyebabkan lebih jelasnya puncak 11,2 Å yang melebar dan puncak 9,0 Å serta 7,18 Å. Untuk tahapan analisis difraksi sinar-X dengan pemanasan 550°C atas preparat lempung setelah dipanasi sampai 300°C memperlihatkan terjadi pergeseran puncak sampai 10 Å dan hilangnya puncak 7,18 Å.



Sumber: hasil analisis

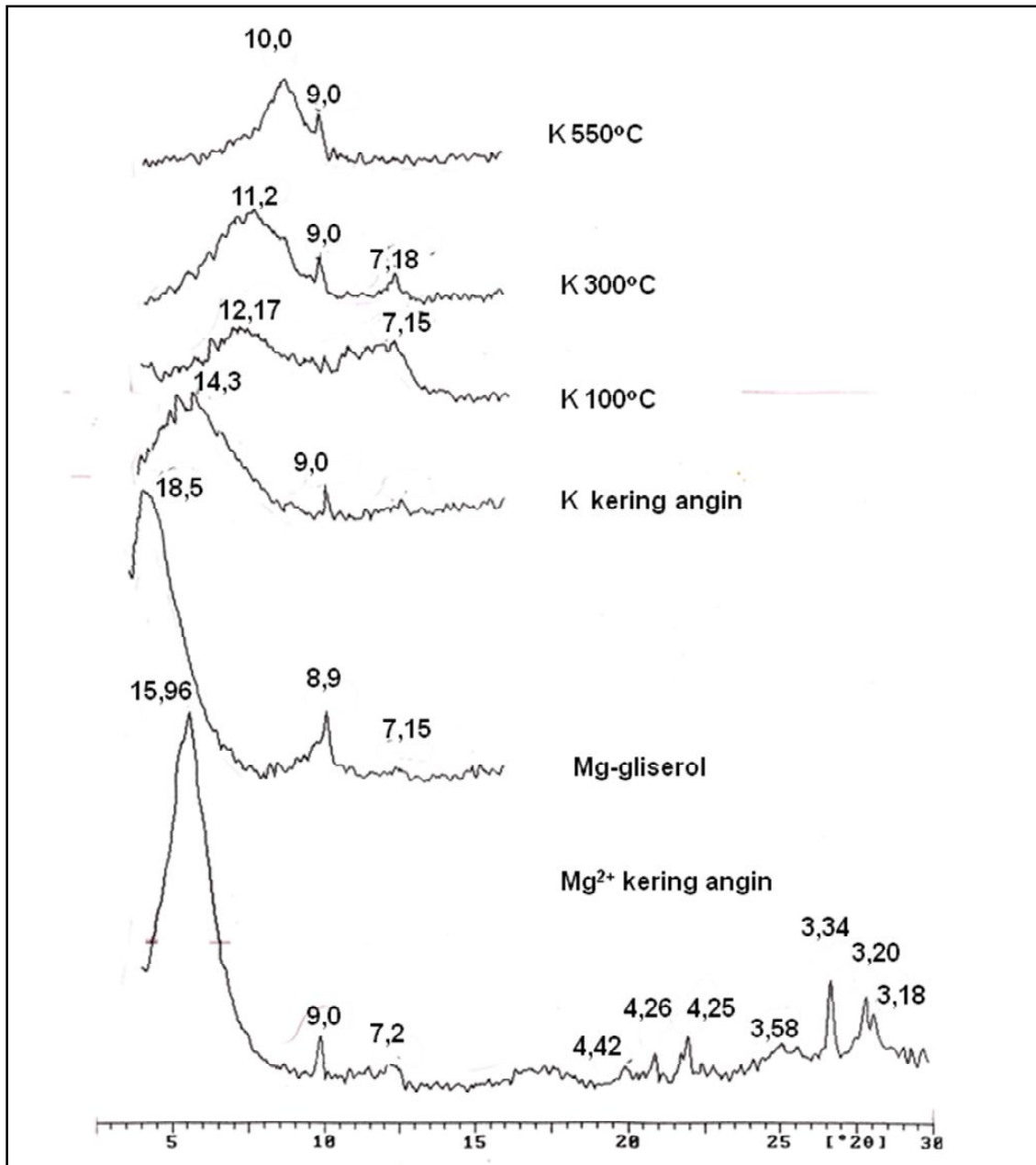
Gambar 2. Pola Difraksi Sinar-X pada Sampel *Powder* Lempung dari Bentonit dan Tanah

Sampel bentonit

Gambar 4. menunjukkan pola difraksi sinar-X pada sampel lempung berasal dari bentonit. Lempung jenuh Mg memberikan puncak 16,1 Å. Solvasi gliserol menyebabkan pembengkakan dari mineral sehingga basal spacing menjadi 18,5 Å. Untuk ciri

dari mineral smektit secara umum dapat munculnya puncak 9,2 Å, atas penjuhan Mg dan solvasi gliserol.

Penjuhan K pada preparat yang berbeda untuk sampel yang sama menunjukkan bahwa terjadi pengerutan mineral, dan puncak pada hasil difraksi sinar-X menjadi



Sumber: hasil analisis

Gambar 3. Pola Difraksi Sinar-X pada Lempung dari Tanah

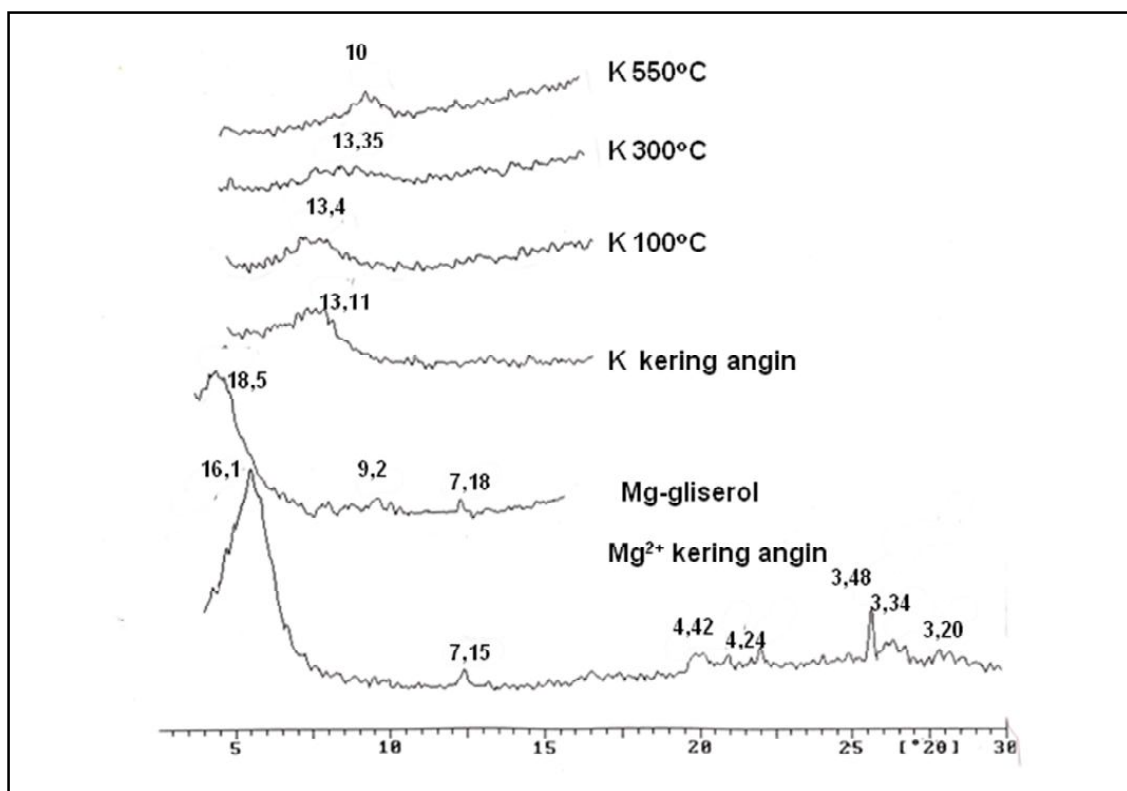
13,11 Å, dengan bentuk puncak yang melebar (*broadening*). Berdasarkan hasil ini dapat dikatakan bahwa mineral smektit yang ada dalam bentonit ini juga seperti yang berasal dari tanah, yaitu mempunyai material yang berada dalam ruang interlayer dari mineral smektit. Dalam istilah mineral lempung disebut sebagai bentuk peralihan antara smektit dan klorit. Dengan adanya material di dalam ruang interlayer ini dapat menurunkan aktivitas lempung. Karena ruang yang mestinya sebagai tempat pertukaran kation menjadi berkurang.

Pemanasan atas lempung jenuh K pada suhu 100°C menunjukkan adanya pergeseran puncak-puncak kecil sehingga menjadi lebih melebar. Hal ini menandakan bahwa material yang ada dalam ruang antar lapisan mempunyai kristalinitas yang cukup kuat. Pemanasan 300°C pada

lempung jenuh K yang sebelumnya telah dipanasi 100°C menyebabkan lebih melebarnya puncak, sehingga tidak memberikan kesan mineral dengan kristalinitas yang baik. Hal ini ditunjukkan oleh adanya puncak-puncak yang banyak akan tetapi tidak memberikan satu puncak yang jelas. Kenampakan ini lebih menyerupai pola difraksi sinar-X untuk bahan amorf. Untuk perlakuan yang terakhir yaitu pemanasan sampai 550°C menyebabkan terbentuknya puncak 10 Å. Dengan bergesernya puncak menjadi 10 Å ini maka dapat dikatakan bahwa mineral utama dari bentonit adalah smektit.

Ekstraksi Ditionit

Gambar 5. menunjukkan hasil ekstraksi mineral dengan ditionit sitrat bikarbonat. Kedua sampel menunjukkan Fe dan Mn yang terekstrak oleh ditionit cukup besar.



Sumber: hasil analisis

Gambar 4. Pola Difraksi Sinar-X pada Lempung dari Bentonit

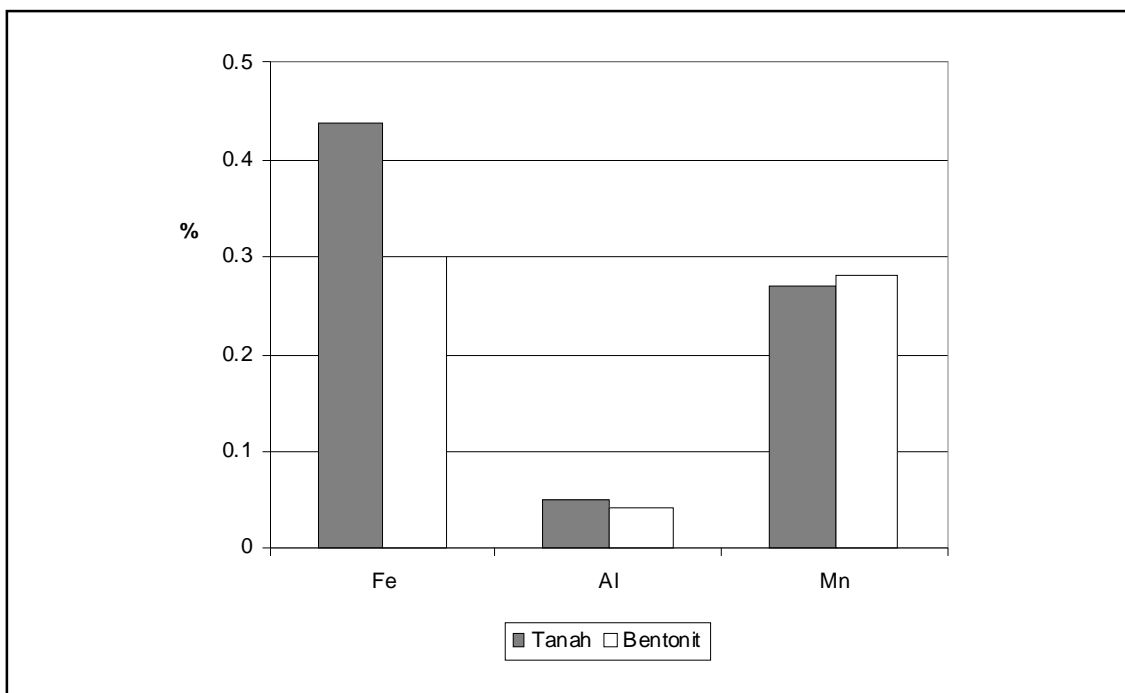
Perbedaan yang mencolok adalah bahwa Fe yang terekstrak dari sampel tanah 50% lebih besar daripada yang terekstrak dari bentonit. Tingginya Fe yang terekstrak oleh ditionit pada tanah disebabkan oleh perkembangan Fe oksida hasil pelapukan mineral primer serta perkembangan tanah. Material bentonit belum mengalami proses pelepasan Fe dan kristalisasi Fe oksida. Adapun Al yang terekstrak dari kedua lempung sangat rendah.

Mehra dan Jackson (1960) mengatakan bahwa ditionit sitrat bikarbonat mampu mengekstrak oksida-oksida Fe, Al, Mn baik yang berbentuk amorf maupun kristalin. Berdasarkan hasil ekstraksi dengan ditionit ini dapat dikatakan bahwa terdapat oksida-oksida bebas Fe, Al dan Mn yang berbentuk kristalin. Oksida-oksida ini dapat menyelimuti mineral smektit dan dapat merupakan pengotor.

Perlakuan ditionit pada lempung pada umumnya memberikan hasil yang lebih

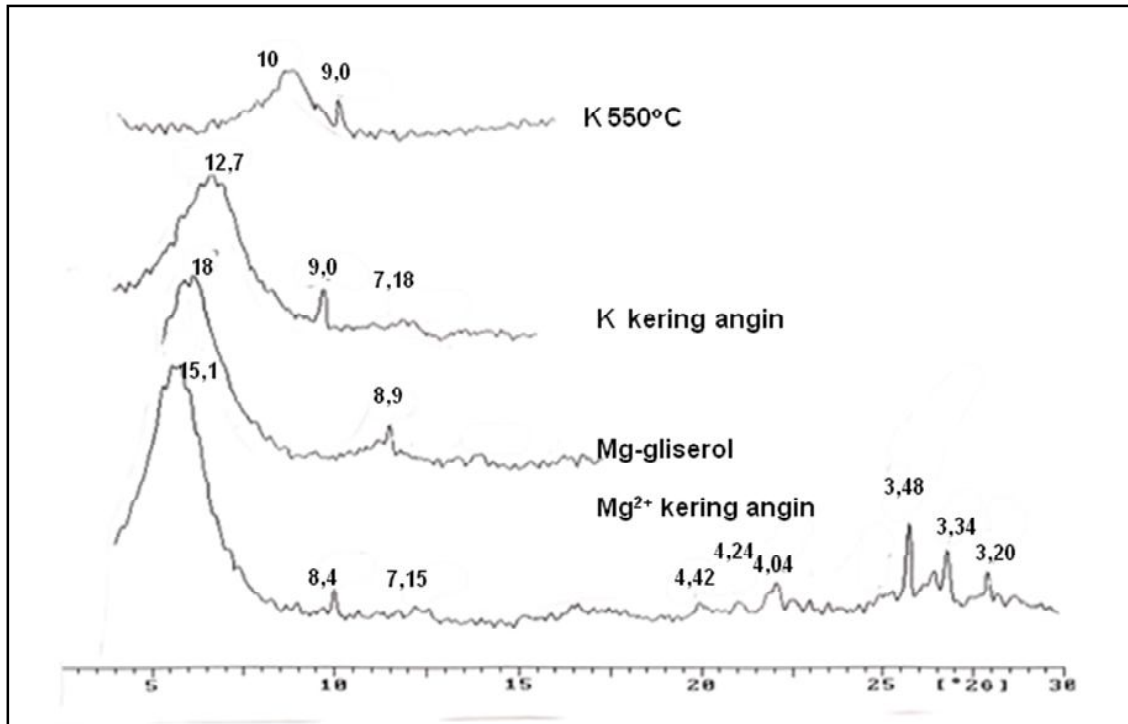
tajam atas defreksi sinar-X. Hal ini karena ekstraksi ditionit sitrat bikarbonat dapat membersihkan oksida-oksida Fe, Al dan Mn yang melapisi struktur kristal mineral smektit. Kenyataan ini tidak terlihat hasilnya dalam penelitian ini. Gambar 6 dan 7 adalah pola difraksi sinar-X pada kedua jenis lempung (tanah dan bentonit) pasca perlakuan ditionit. Jika dibandingkan dengan tanpa perlakuan ditionit, terjadi penurunan intensitas puncak-puncak dari semua mineral yang terdeteksi (Gambar 4-5 dan 6-7). Penurunan puncak yang menonjol terjadi pada sampel yang berasal dari bentonit.

Perlakuan ditionit dalam hal ini mampu mengekstrak oksida-oksida bebas Fe, Al dan Mn. Akan tetapi terjadi dampak berupa penurunan kristalinitas mineral smektit. Kalau demikian yang terjadi, dapat dikatakan kualitas bentonit yang dikaji juga rendah. Kristal yang rusak akan menyebabkan kemungkinan penurunan kapasitas pertukaran kation (Nurcholis, 2005).



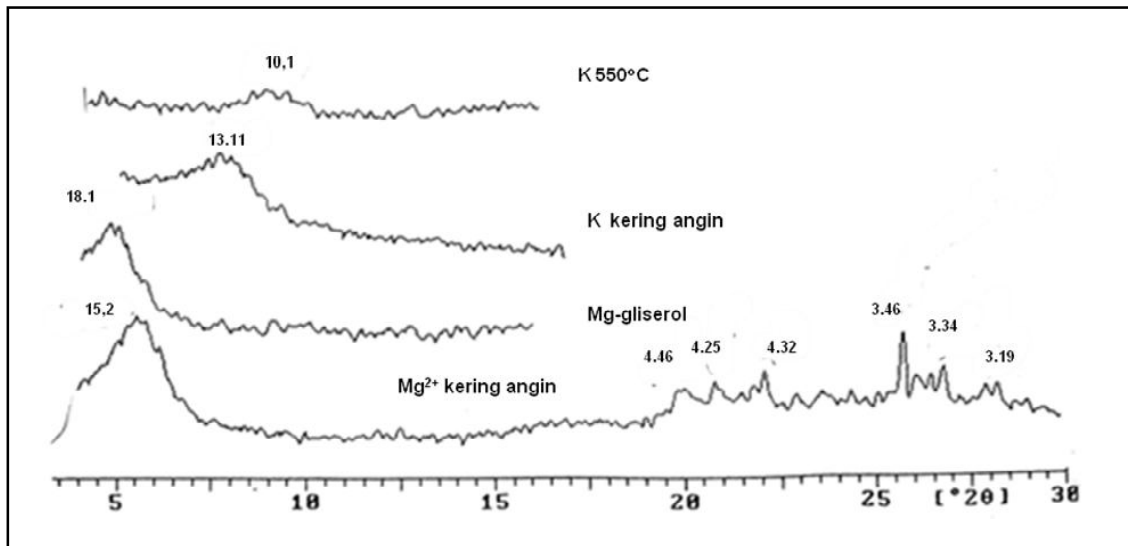
Sumber: hasil analisis

Gambar 5. Unsur Fe, Al, dan Mn Ekstrak Ditionit



Sumber: hasil analisis

Gambar 6. Pola Difraksi Sinar-X Pada Lempung dari Tanah Setelah Ekstraksi Ditionit



Sumber: hasil analisis

Gambar 7. Pola Difraksi Sinar-X pada Lempung dari Bentonit Setelah Ekstraksi Ditionit

Pertumbuhan Interlayer Material

Penjenuhan K pada fraksi lempung menyebabkan terbentuknya pola mendatar yang merupakan kumpulan puncak-puncak kecil (Gambar 3 dan 4). Hal ini dapat dikatakan bahwa penjenuhan kalium menyebabkan pengerutan yang tidak merata pada semua bagian mineral smektit. Ada bagian yang dapat terjenuhi K dan ada yang tidak. Yang dapat terjenuhi K dapat mengerut sampai 12,5 Å, akan tetapi yang tidak dapat lebih dari basal spacing tersebut. Bagian yang tidak dapat terjenuhi oleh K sudah ditempati oleh material yang telah berkembang membentuk kristal.

Pola difraksi sinar-X atas lempung- K⁺ dengan pemanasan 100°C masih menunjukkan bahwa puncak di atas 12,5 Å, yang berarti disini terdapat material lain yang mengisi interlayer pada mineral smektit. Bentuk pola difraksi yang sangat mendatar merupakan rangkaian puncak-puncak yang sudah mulai bergeser mengecil. Kemudian dengan pemanasan bertingkat 300°C dan yang terakhir adalah 550°C puncak-puncak berangsur menurun menjadi sekitar 9 Å.

Berdasarkan hasil dari difraksi sinar-X, dapat dikatakan bahwa mineral yang dikaji merupakan peralihan dari smektit menjadi klorit (Violante *et al.*, 1998). Mineral klorit yang merupakan pertumbuhan dari smektit dapat memberikan puncak sekitar 15 Å pada sampel dengan penjenuhan Mg. Solvasi gliserol juga dapat mengembangkan mineral klorit. Akan tetapi penjenuhan K dan diikuti pemanasan sampai 550°C

tidak menurunkan puncak 15 Å. Lanjutan analisis diperlukan untuk mengetahui jenis dan kristalinitas material interlayer ini, seperti yang dilaporkan Nurcholis (2003). Informasi jenis dan kristalinitas material interlayer sangat diperlukan terutama dalam proses aktivasi bentonit dalam peningkatan kualitas material bentonit.

KESIMPULAN DAN SARAN

Bahan lempung dari bentonit dan tanah yang berkembang di atasnya adalah Ca-bentonit. Lempung dari bentonit mempunyai karakteristik, yaitu intensitas mineral smektit lebih rendah dan nilai KPK serta kadar Ca yang juga rendah dibandingkan dengan yang dari tanah. Penjenuhan kalium menyebabkan pengerutan yang tidak merata di semua bagian mineral smektit, yang ditandai dengan puncak 13,11 Å dengan bentuk melebar. Adanya puncak yang melebar ini diinterpretasikan sebagai pertumbuhan material interlayer antar satuan kisi mineral smektit. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengklarifikasi material ini.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dibiayai dengan dana hibah Penelitian Fundamental Dirjen Dikti Depdiknas tahun 2007. Penulis mengucapkan terimakasih kepada I Nengah Suryana yang telah membantu dalam persiapan dan analisis.

DAFTAR PUSTAKA

Buntoro, A. 2003. *Improved Pacitan Bentonite as Drilling Mud Material*. dalam Sutarto (ed). *International conference on Mineral and Energy Resources Management*. Yogyakarta. Hal: 108-118.

- Burras, L., N.E. Smeck, J.M. Bigham. 1996. *Origin and Properties of Smectite in Loess-derived Soils in Western Ohio. Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 1961-1968.
- Dahlgreen, R.A., J.P. Dragon, dan F.C. Ugolini. 1997. *Weathering of Mt. St. Helens Tephra under a Cryic-Udic Climatic Regime. Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 1519-1525.
- Hontly, M., P. Uhlik, V. Sucha, M. Caplovi. 2004. *Smectite-to Illite Alteration in Sal- Bearing Bentonite (The East Slovak Basin). Clays and clay Minerals.* 52:533-551.
- Mehra, O.P. dan M.L. Jackson 1960. *Iron Oxide Removal from Soils and Clays by a Dithionite Sitrat System Buffered with Sodium Bicarbonate. Clays and Clay Minerals.* 7: 317-327.
- Nurcholis, M. 1998. *"Unique" Mixed layer and Mn-Oxide Minerals and Exchangeable Al of Acidic Soils in Java Island. PhD. Dissertation. Kagoshioma University. Japan. Unpublished.*
- Nurcholis, M. 2003. *Identification of Interlayered Material of the Hydroxy Interlayered Vermiculite. dalam Sutarto (ed). International conference on Mineral and Energy Resources Management. Yogyakarta. Hal: 127-133.*
- Nurcholis, M. 2005. *Some properties and Problems of Smectite Minerals in Java Soils. Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan.* 5:63-67.
- Nurcholis, M and Y. Tokashiki. 1998. *Characterization of kaolin/smectite mixed layer mineral in Paleudult of Java Island. Clay Science.* 10: 291-302.
- Nurcholis, M., Y. Tokashiki, K. Oya, M. Shimo, N. Miyauchi. 1998. *Relationship Between Clay Mineralogy and Exchangeable Al in Red and Yellow Soils from the Islands of Okinawa and Java. Aust. J. Soil. Res.* 36:411-421.
- Priyono, K. D. (2012) *Kajian Mineral Lempung Pada Kejadian Bencana Longsorlahan di Pegunungan Kulonprogo Daerah Istimewa Yogyakarta. Forum Geografi.* Vol. 26, No. 1, Juli 2012: 53 - 64.
- Sukandarumidi. 1999. *Bahan Galian Industri.* Gadjah mada University Press.
- Violante, A., G.S.R. Khrisnamurti, P.M. Huang. 1998. *Formation and Stability of hydroxy Aluminum-Iron-Montmorillonite complexes: Influence of Formation. Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 1448-1454.