

BEBERAPA PERUBAHAN SIFAT KIMIA ALOFAN DARI ANDISOL SETELAH MENJERAP ASAM HUMAT DAN ASAM SILIKAT

Oleh:
St. Sukmawati ¹⁾

ABSTRAK

Alofan merupakan bagian mineral amorf dari andisol yang memiliki sifat yang sangat reaktif. Sifat-sifat ini dapat berubah apabila alofan direaksikan dengan asam-asam organik (humat) maupun asam silikat. Penelitian ini bertujuan untuk melihat perubahan sifat kimia alofan setelah menyerap asam humat dan asam silikat. Pemberian asam humat dan asam silikat masing-masing 100 mg.l⁻¹ pada 0,6 gr.l⁻¹ komponen mineral amorf (alofan) dari 8 tanah Andisol dalam percobaan ini menunjukkan bahwa asam humat-asam tersebut dapat meningkatkan pH, menurunkan KPK serta meningkatkan KPA alofan.

Kata kunci : Alofan, KPK, KPA, Asam humat, Asam silikat.

I. PENDAHULUAN

Genesis andisol difokuskan pada pelapukan abu vulkanik menjadi alofan dan pembentukan alofan-humus atau kompleks aluminium-humus (khelat). Pada iklim basah pelapukan abu vulkanik berlangsung cepat. Alofan yang mengandung oksida Al dan Fe terbentuk pada horizon B atau terakumulasi di horizon A jika pengikatan Al oleh senyawa humat kurang dominan daripada di horizon permukaan. Karena pelapukan dan perkembangan tanah berlangsung terus, maka banyak silika yang ditambahkan pada alofan membentuk halloysit ataupun mineral kristalin lainnya (Wada, 1977).

Tipikal andisol di Jawa terjadi di daerah lereng pada ketinggian 700 m sampai 1300 m atau 1500 m di atas permukaan laut, dengan kondisi iklim agak dingin dan lebih basah daripada di dataran rendah. Pada tempat yang tinggi, keadaan iklim kurang cocok untuk terjadinya kristalisasi mineral. Oleh karena itu, pada andisol banyak dijumpai alofan dan bahan-bahan amorf (Munir, 1995).

Proses pembentukan tanah yang utama pada Andisol adalah proses pelapukan dan transformasi (perubahan bentuk). Proses pemindahan bahan (translokasi) dan penimbunan bahan-bahan tersebut di dalam solum sangat sedikit.

Akumulasi bahan organik dan terjadinya kompleks bahan organik dengan Al merupakan sifat khas pada beberapa Andisol (Hardjowigeno, 1993). Buringh (1970, dalam Munir, 1996) menambahkan bahwa proses pembentukan tanah-tanah abu vulkanis di wilayah tropika basah meliputi : hidrolisis secara intensif, andosolisasi, *irreversible drying*, melanisasi dan pembentukan padas. Adanya iklim tropika basah menyebabkan proses hidrolisis yang intensif dapat melepaskan mineral-mineral dengan melepaskan silika dan oksida-oksida. Basa-basa dan silika akan tercuci dan dalam fraksi koloidal, silika dan aluminium gelas berkombinasi dengan lemah membentuk tipe campuran tertentu dengan berbagai variasi komposisi mineralogi yang dikenal sebagai alofan.

Permukaan alofan memiliki sifat-sifat seperti pertukaran kation dan anion, jerapan senyawa organik dan inorganik, dan kemasaman berasal dari gugus fungsional silanol (Si-OH) dan aluminol (Al-OH dan AlOH₂; -OH dan -OH₂ berkoordinat tunggal/monodental) yang dapat dipengaruhi oleh asam-asam organik ataupun bahan-bahan lainnya. Sehubungan dengan hal tersebut, untuk mengetahui perubahan sifat-sifat alofan khususnya sifat kimia maka percobaan pemberian asam humat dan asam silikat ini dilakukan.

1) Staf pada Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Tadulako Palu.

II. METODE PENELITIAN

1.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli-September 2007 dilaboratorium Ilmu tanah Fakultas Pertanian Bulak Sumur dan Kuningan serta LPPT UGM.

1.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah tulis-menulis dan alat-alat untuk analisis di laboratorium. Sedangkan Bahan yang digunakan adalah tanah (alofan), asam humat, asam silikat dan bahan-bahan kimia untuk analisis laboratorium.

1.3. Pemisahan alofan dari andisols

Pengambilan lempung dilakukan dengan metode fraksionasi yaitu mendispersikan tanah untuk memisahkan lempung dari fraksi pasir, debu dan BO. Lempung yang diperoleh kemudian dioven dengan suhu 40°C sehingga diperoleh serbuk alofan yang siap untuk digunakan.

1.4. Percobaan Jerapan Asam Humat dan Asam Silikat

Percobaan jerapan humat dan silikat menggunakan masing-masing 100 mg.l⁻¹ asam humat maupun asam silikat dan 0,6 gr.l⁻¹ komponen mineral amorf (alofan) dari 8 tanah Andisol yang telah diberi NaCl 0,1 N konsentrasi 10 mM dan mengatur pH dengan menggunakan HCl atau NaOH menjadi pH 4 dan 6, dikocok selama 16 jam untuk mereaksikan asam humat dan asam silikat tersebut dengan alofan. pH Larutan diukur sebagai pH akhir kemudian disaring dengan Whatman No. 42. Konsentrasi asam humat dan asam silikat dalam larutan kemudian diukur untuk mengetahui banyaknya asam humat maupun asam silikat yang terjerap oleh alofan disamping mengukur KPK dan KPA.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

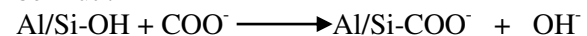
3.1. Pengaruh Adsorpsi terhadap pH Larutan

Pengaruh adsorpsi asam humat terhadap pH larutan disajikan dalam Tabel 1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian 100 mg.l⁻¹ asam humat dan asam

silikat pada 0,6 g.l⁻¹ alofan yang dibuffer pada pH 4 dan pH 6 meningkatkan pH larutan dengan ΔpH seperti terlihat dalam tabel tersebut. Peningkatan pH setelah jerapan pada alofan-humat lebih besar (antara 0,21-1,81) daripada alofan-silikat (0,03-0,83) pada pH 4, hal ini disebabkan oleh terdisosiasinya gugus fungsional asam humat khususnya karboksil (COOH) pada pH antara 3 dan 9 menyebabkan lepasnya ion H⁺ asam humat yang kemudian mendesak Al maupun Si alofan yang akan berinteraksi dengan ion H⁺ (Yulianti, 2007) seperti terlihat dalam reaksi berikut :



H⁺ Akan menjenuhi alofan dan menerobos lapisan oktahedral menggantikan Al maupun Si alofan yang akan bereaksi dengan COO⁻ asam humat dengan melepaskan OH⁻ yang akan meningkatkan pH, seperti terlihat dalam reaksi berikut :



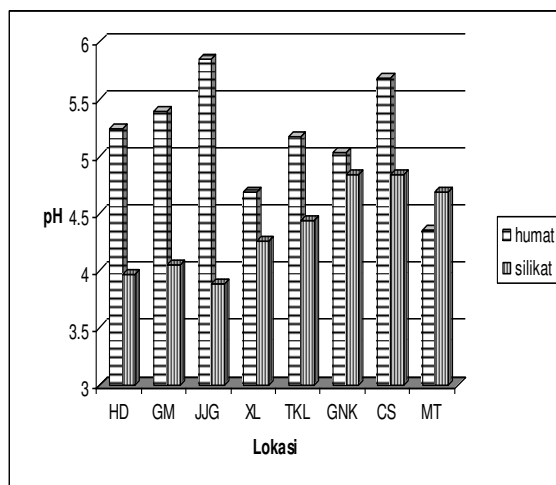
Tabel 1. Pengaruh pemberian asam humat dan asam silikat terhadap pH larutan alofan HD, GM, JJG, XL, TKL,GNK, CS dan MT yang diatur pada pH 4 dan pH 6.

Lokasi	ApH Alofan-humat		ApH Alofan-silikat	
	4	6	4	6
HD	1,19	0,33	0,04	0,04
GM	1,42	0,34	0,03	0,35
JJG	1,81	0,54	0,11	0,1
XL	0,69	0,57	0,27	0,32
TKL	1,21	0,29	0,44	0,41
GNK	0,99	0,31	0,82	0,69
CS	1,69	0,39	0,83	0,48
MT	0,31	0,19	0,67	0,34

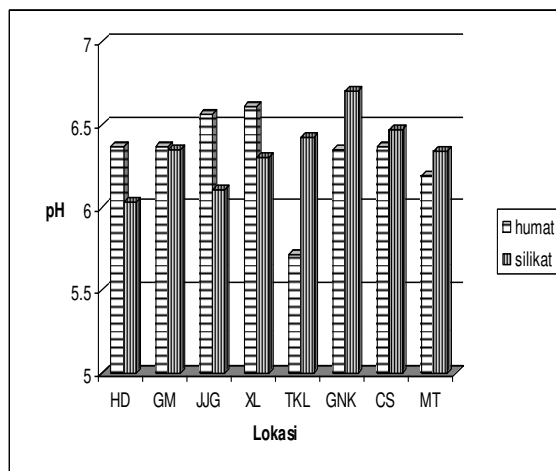
Data tersebut juga menunjukkan bahwa peningkatan pH larutan yang dibuffer pada pH 4 pada umumnya memiliki peningkatan yang lebih besar dibandingkan dengan larutan yang dibuffer pada pH 6, hal ini disebabkan karena pada pH yang relatif tinggi asam humat cenderung mengalami deprotonasi atau pelepasan ion H⁺ sehingga walaupun terjadi

komsumsi OH^- dari larutan, pH tidak mengalami peningkatan karena secara simultan dilepaskan pula ion H^+ (Fahmi, 2008), dengan demikian peningkatan pH akan menurun dengan meningkatnya pH.

Adapun pengaruh asam silikat terhadap perubahan pH jerapan alofan-silikat seperti terlihat pada Gambar 1 dan 2 yang juga meningkatkan pH larutan disebabkan karena keberadaan kation Na^+ sebagai kation basa dengan anion silikat dalam Na_2SiO_3 yang digunakan serta terjadinya hidrolisis dari anion silikat yang melepaskan OH^- (Vogel, 1976) dengan reaksi sebagai berikut :



Gambar 1. Pengaruh asam humat dan asam silikat terhadap pH alofan dari G. Slamet, G. Dieng, G. Merbabu dan G. Lawu yang dibuffer pada pH 4.



Gambar 2. Pengaruh asam humat dan asam silikat terhadap pH alofan dari G. Slamet, G. Dieng, G. Merbabu dan G. Lawu yang dibuffer pada pH 6.

3.2. Persentase adsorpsi asam humat

Selain pengaruhnya terhadap pH larutan, percobaan jerapan ini juga dilakukan untuk melihat kemampuan alofan untuk menyerap asam humat. Tan (1982) menyatakan alofan dan imogolit mengalami proses interaksi dengan bahan organik tanah, seperti asam humat dan asam fulvat yang hasil akhirnya adalah bentuk kompleks atau kelasi (*chelation*). Hal ini disebabkan karena pada semua pH, asam humat mempunyai muatan negatif (Antelo *et al.*, 2006) sehingga gugus fungsionalnya dapat berinteraksi dengan alofan yang memiliki muatan positif dari organoaluminosilikat yang dapat mengikat muatan negatif (Suryanto dan Shiddieq, 1997 *cit* Ratnadi, 2004). Banyaknya asam humat yang dijerap atau dikelat oleh alofan diketahui dengan menghitung C larutan (metode Walkky & Black) dalam kesetimbangan, selisih antara jumlah humat yang diberikan dengan jumlah C (indikator humat) dalam kesetimbangan adalah jumlah C atau banyaknya asam humat yang dijerap oleh alofan. Data hasil analisis humat terjerap ditampilkan dalam Tabel 2 berikut .:

Tabel 2. Data hasil analisis humat terjerap pada alofan HD, GM, JJG, XL, TKL, GNK, CS dan MT yang diatur pada pH 4 dan pH 6.

Lokasi	Humat yang diberikan (mg.l^{-1})	Humat dalam kesetimbangan (mg.l^{-1})		Humat terjerap (mg.gr^{-1})	
		pH 4	pH 6	pH 4	pH 6
HD	100	41,12	39,82	58,88	60,18
GM	100	38,88	27,78	61,12	72,22
JJG	100	59,99	59,82	40,01	40,18
XL	100	44,45	44,45	55,55	55,55
TKL	100	38,88	33,34	61,12	66,66
GNK	100	33,34	30,88	66,66	69,12
CS	100	36,67	31,2	63,33	68,88
MT	100	59,82	59,82	40,18	40,18

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan alofan menyerap humat meningkat dengan meningkatnya pH pada semua lokasi. Jumlah humat terjerap antara $40,01 \text{ mg.gr}^{-1}$ – $66,66 \text{ mg.gr}^{-1}$ pada pH 4 dan $40,18 \text{ mg.gr}^{-1}$ – $72,22 \text{ mg.gr}^{-1}$ pada pH 6 dengan jumlah jerapan yang meningkat dengan meningkatnya

kandungan alofan + imogolit (GM > HD, XL > JJG, GNK > TKL dan CS > MT) seperti terlihat pada tabel 2, dengan kata lain makin tinggi kandungan alofan + imogolit maka makin banyak pula asam humat yang dapat dikelat.

Hal di atas menunjukkan kemampuan alofan dalam menyerap asam humat berbeda-beda. Stevenson (1994 *cit* Utami dan Handayani 2003) menyatakan bahwa asam humat mampu berinteraksi dengan ion logam, oksida dan hidroksida mineral karena asam humat mengandung gugus fungsional aktif seperti karboksil, fenol, karbonil, hidroksida, alkohol, amino, kuinon dan metoksil serta bentuknya yang berpori sehingga memiliki luas permukaan yang besar, asam ini berpengaruh kuat terhadap kapasitas penyerapan tanah. Tingginya jumlah humat yang dapat dijerap oleh alofan disebabkan karena adanya gaya elektrostatis dan ikatan spesifik dari gugus fungsional asam humat khususnya karboksil (COOH) pada permukaan alofan (Antelo *et al.*, 2006).

3.3. Persentase Adsorpsi asam silikat

Secara teoritis fiksasi P pada tanah disebabkan adanya tapak jerapan yang bermuatan positif. Tapak jerapan positif tersebut terdiri dari aluminium dan besi terlarut, hidrosidanya dan mineral liat yang mengalami protonasi atau mengalami patahan pada struktur mineralnya. Semakin banyak anasir bermuatan positif, semakin banyak P terjerap dan semakin kecil kelarutan P. Oleh sebab itu upaya mengisi tapak jerapan tersebut dengan anasir lain yang bermuatan negatif seperti Si akan membantu meningkatkan ketersediaan P (Zuhdi *et al.*, 1998). Kemampuan Si untuk mengisi tapak jerapan pada alofan dapat diketahui dengan menganalisis Si dalam larutan setelah jerapan yang diukur dengan AAS, selisih antara Si yang diberikan dengan Si dalam larutan tersebut adalah Si yang terjerap. Data hasil analisis persentase Si terjerap oleh alofan dapat dilihat dalam Tabel 3.

Data hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan alofan untuk menyerap ion Si meningkat dengan meningkatnya pH larutan. Persentase Si terjerap cukup tinggi dengan rata-rata jerapan 3,14 % pada pH 4 dan 3,51 % pada pH 6 dari 10 % Na_2SiO_3 yang diberikan. Hal

ini membuktikan bahwa anion silikat dapat mengisi tapak jerapan sehingga diharapkan dapat menurunkan penyerapan P oleh mineral lempung. khususnya lempung amorf yang didominasi oleh alofan, imogolit dan ferihidrit pada tanah Andisol, sebagaimana hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Silva (1971) bahwa anion silikat dapat membebaskan atau melepaskan anion fosfat dari tapak jerapan. dan bahwa pemberian silikat dapat menaikkan kelarutan fosfat terjerap.

Tabel 3. Data hasil analisis Si terjerap pada alofan HD, GM, JJG, XL, TKL, GNK, CS dan MT yang dibuffer pada pH 4 dan pH 6.

Lokasi	Si yang diberikan (mg.l^{-1})	Si terlarut (mg.l^{-1})		Si dalam kesetimbangan (mg.l^{-1})		Si terjerap (mg.gr^{-1})	
		pH 4	pH 6	pH 4	pH 6	pH 4	pH 6
HD	100	12,4	9,2	61,5	58,8	26,1	32,
GM	100	14,9	1,4	51,9	48,8	33,2	49,8
JJG	100	11,6	7,1	65,2	59,5	23,2	33,4
XL	100	15,4	13,4	58,1	57	26,5	29,6
TKL	100	21,5	9,9	53,4	49,6	25,1	38,7
GNK	100	15,6	14,7	45,7	55,2	30,1	40,5
CS	100	15,5	12,2	41,7	52,7	31,8	46,1
MT	100	11,7	9,8	56,	56,7	32,3	33,5

3.4. Pengaruh Adsorpsi Asam Humat dan Asam Silikat Terhadap KPK

KPK adalah kapasitas lempung untuk menyerap dan menukar kation pada kompleks pertukaran yang dipengaruhi oleh kandungan lempung, tipe lempung dan kandungan bahan organik. Data KPK kompleks alofan-humat dan alofan-silikat setelah jerapan disajikan dalam Tabel 4. Data tersebut menunjukkan bahwa terjadi peningkatan KPK dengan meningkatnya pH larutan. KPK pada pH 4 dengan nilai antara $0,8 - 3,5 \text{ cmol}(+).\text{kg}^{-1}$ meningkat menjadi $1,2 - 7,3 \text{ cmol}(+).\text{kg}^{-1}$ pada pH 6 pada alofan-humat. KPK jerapan alofan-humat terendah terjadi pada TKL dan tertinggi pada XL. Sedangkan KPK pada alofan-silikat meningkat dari $1,1 - 3,6 \text{ cmol}(+).\text{kg}^{-1}$ pada pH 4 menjadi $1,3 - 6,9 \text{ cmol}(+).\text{kg}^{-1}$ pada pH 6, KPK jerapan alofan-

silikat terendah terjadi pada HD dan tertinggi pada MT, hal ini diduga dipengaruhi oleh kandungan lempung tanah yang tinggi.

Adanya peningkatan KPK dengan meningkatnya pH disebabkan karena pada Ph 4, kebanyakan tempat pertukaran kation koloid organik dan fraksi liat; hidrogen dan mungkin hidroksi-Al terikat kuat sehingga sukar dipertukarkan. Dengan meningkatnya pH menjadi 6, hidrogen yang diikat koloid organik dan liat berionisasi dan dapat digantikan. Demikian pula ion hidroksi-Al yang terjerap akan dilepaskan dan membentuk $\text{Al}(\text{OH})_3$ sehingga terciptalah tapak-tapak pertukaran baru pada koloid liat yang akhirnya akan meningkatkan KPK (Hakim *et al.*, 1986).

KPK kompleks alofan-humat maupun alofan-silikat pada umumnya memiliki nilai yang rendah, padahal dengan mengacu bahwa kompleks alofan humat akan menggabungkan KPK alofan dan humat yang memiliki KPK mencapai $150\text{-}300 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ (Nyakpa *et al.*, 1988), maka KPK jerapan tersebut seharusnya memiliki nilai yang tinggi dan melebihi KPK tersebut. Rendahnya nilai-nilai KPK yang dianalisis dengan mengukur kandungan Na^+ larutan dengan AAS setelah jerapan diduga akibat terjadinya pelepasan Si dari alofan yang diketahui dengan mengukur Si dalam kesetimbangan setelah adsorpsi seperti terlihat pada Tabel 3 sehingga mengurangi muatan negatif pada permukaan alofan sebagai sumber pertukaran kation, akibatnya kation yang dapat dijerap dan dipertukarkanpun menjadi turun. Selain itu, Na^+ sebagai indikator KPK diperkirakan ikut terlindi akibat pelindian Cl^- untuk analisis KPA dengan aquades sehingga jumlah Na^+ yang terdapat pada kompleks pertukaran yang kemudian didesak dengan NH_4^+ menjadi sangat rendah. Hal tersebut menyebabkan jumlah Na^+ yang terukur pada larutan dalam keadaan kesetimbangan yang mengindikasikan banyaknya kation yang dapat dipertukarkan (KPK) menjadi sangat rendah.

Tabel 4. Pengaruh pemberian asam humat dan asam silikat terhadap KPK HD, GM, JGG, XL, TKL, GNK, CS dan MT yang dibuffer pada pH 4 dan pH 6.

Loka si	KPK alofan-humat $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$		KPK alofan-silikat $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$	
	pH 4	pH 6	pH 4	pH 6
HD	1,2	3,3	1,1	1,3
GM	1,2	5,3	2,8	5,0
JGG	1,1	3,7	1,7	2,1
XL	3,5	7,3	1,5	3,5
TKL	0,8	1,2	1,2	1,8
GNK	1,2	1,6	1,3	6,5
CS	2,2	6,0	3,6	6,9
MT	1,7	1,8	1,3	2,3

Pemberian asam humat dan asam silikat memberikan pengaruh yang hampir sama terhadap KPK pada jerapan alofan, hal ini berarti bahwa asam humat dan asam silikat mempunyai kemampuan yang hampir sama dalam mengisi tapak jerapan sehingga kemungkinan kemampuannya dalam memblok jerapan P pada alofan juga hampir sama. Komplek alofan-humat pada XL memperlihatkan nilai KPK yang paling tinggi diantara lokasi lain, sedangkan kompleks alofan-silikat pada daerah MT. Hal ini diduga karena berdasarkan hasil pengamatan, kedua lokasi tersebut memiliki ukuran partikel yang lebih halus dibandingkan dengan lokasi lain (XL dan MT masih lolos dengan penyaringan memakai Whatman no. 42) sehingga berpengaruh pada luas permukaan alofan sebagai sumber pertukaran kation. Semakin halus ukuran alofan maka makin luas permukaannya, dengan demikian makin banyak muatan negatif yang dapat menjerap dan mempertukarkan kation.

3.5. Pengaruh Adsorpsi Asam Humat dan Asam Silikat Terhadap KPA

Kapasitas Pertukaran Anion (KPA) adalah kapasitas lempung untuk menyerap dan menukar anion seperti SiO_4^{4-} , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} , NO_3^- dan Cl^- (Hanudin, 2005). Nilai KPA kompleks alofan-humat dan alofan-silikat setelah jerapan yang diprediksi dengan jumlah ion Cl^- yang terjerap oleh fraksi mineral maupun fraksi organik disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Pengaruh pemberian asam humat dan asam silikat terhadap KPA HD, GM, JJG, XL, TKL, GNK, CS dan MT yang diatur pada pH 4 dan pH 6.

Lokasi	KPA alofan-humat cmol(+).kg ⁻¹		KPA alofan-silikat cmol(+).kg ⁻¹	
	pH 4	pH 6	pH 4	pH 6
HD	17,1	11,4	22,9	20,0
GM	17,1	5,7	28,6	28,0
JJG	22,9	17,1	28,6	22,9
XL	22,9	14,3	31,4	28,6
TKL	17,14	11,4	28,6	25,7
GNK	22,9	17,1	28,6	28,0
CS	22,9	17,1	25,7	22,9
MT	20,0	14,3	25,7	17,1

Berdasarkan Tabel 5 terlihat bahwa KPA menurun dengan meningkatnya pH larutan untuk semua lokasi, baik pada kompleks alofan-humat maupun pada kompleks alofan-silikat. Nilai KPA pada pH 4 antara 17,1 – 22,9 cmol(+).kg⁻¹ menjadi 5,7 – 17,1 cmol(+).kg⁻¹ pada pH 6 untuk alofan-humat dan 22,9 – 28,6 cmol(+).kg⁻¹ pada pH 4 menjadi 17,1 – 28,6 cmol(+).kg⁻¹ pada pH 6 untuk alofan silikat. Secara umum terlihat bahwa nilai KPA kompleks alofan-silikat lebih tinggi dibandingkan dengan kompleks alofan-humat.

Hal ini menunjukkan bahwa kompleks alofan-silikat mempunyai jerapan Cl⁻ lebih tinggi yang dimungkinkan oleh pH larutan kompleks alofan-silikat hasil analisis sebelumnya secara umum lebih rendah dibandingkan dengan kompleks alofan-humat yang mengindikasikan adanya muatan positif sebagai sumber pertukaran anion yang lebih besar dan dapat menjerap anion lewat ikatan elektrostatis atau lewat mekanisme lain seperti pertukaran ligan (*ligand exchange*).

IV. KESIMPULAN

1. Alofan merupakan bagian dari mineral amorf Andisols yang dapat mengalami peningkatan pH setelah bereaksi (menjerap) asam humat maupun asam silikat.
2. Pemberian asam humat dan asam silikat pada alofan menurunkan KPA akibat terjadinya pelepasan Si dari alofan yang diketahui dengan mengukur Si dalam kesetimbangan setelah adsorpsi sehingga mengurangi muatan negatif pada permukaan alofan sebagai sumber pertukaran kation, akibatnya kation yang dapat dijerap dan dipertukarkanpun menjadi turun. Sebaliknya, asam humat dan asam silikat yang diberikan meningkatkan KPA alofan.

DAFTAR PUSTAKA

- Antelo, J. Arce, F. Avena, M. Fiol, S. Lopez, R. dan Macias, F. 2006. Adsorption of Humic Acid at The Surface of Goethite and its Competitive Interaction With Phosphate. Gederma. Argentina.
- Blakemore, L.C., P.L. Searle, and B.K. Daly. 1987. Methods For Chemical Analysis of Soils. NZ Soil Bureau, New Zealand.
- Fahmi, A. 2008. Pengaruh Pemberian Bahan Organik Jerami Padi Terhadap Kehilangan Fospat dan Ferro di Tanah Sulfat Masam. Tesis. Fakultas Pertanian UGM. Yogyakarta.
- Hakim, N., Nyakpa, Y. M. dan Lubis, M. A. 1986. Dasar-dasar Ilmu Tanah. Universitas Lampung.
- Hanudin E. 2005. Kimia Tanah. Bahan Kuliah Program Ilmu Tanah Fakultas Pertanian UGM. Yogyakarta.
- Hardjowigeno. 1993. Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis. Akademika Pressindo. Jakarta.
- Munir, M.S. 1996. Tanah-Tanah Utama Indonesia. Karakteristik; Klasifikasi dan Pemanfatannya. PT. Dunia Pustaka Jaya. Jakarta.
- Nyakpa, M.Y., A.M. Lubis, M.A. Pulung, A.G. Amrah, A. Munawar, G.B. Hong dan Hakim. 1988. Kesuburan tanah. Universitas Lampung. Lampung. 258 hal.
- Ratnadi, F. 2004. Keberadaan Bahan Amorf dan Hubungannya dengan Sifat Kimia Andisol dari Kecamatan Ponjong Gunung Kidul Yogyakarta. Tesis S-2 Pertanian UGM. Yogyakarta.

- Silva, J. A. 1971. Possible Mechanisms for Crop Response to Silicat applications. Proc. Int. Symp. Soil Fert. Eval. New Delhi
- Sudiharjo, A.M. Andisolisasi Tanah Di Kawasan Karst Gunung Kidul. Disertasi. Fakultas Pertanian UGM. Yogyakarta.
- Tan, K.H. 1982. Principles of Soil Chemistry. Marcell Dekker. Inc. New York. 265 p.
- Vogel. 1976. Buku Teks Analisis Anorganik Kualitas Makro dan Semimikro. PT. Kalman Media Pustaka. Jakarta.
- Wada, K. 1977. Allophane and Imogolit. *In* : Dixon, J. B. Mineral In Soil Enviroment. SSSA Medison. Wisconsin. USA. Pp : 603-638.
- Yulianti. 2007. Jurnal Hijau Reaksi Tanah. Files/navbar.htm
- Zuhdi, M., Arsyad, AR dan Henny, H. 1998. Peranan Anion Silikat Dalam Mengisi Tapak jerapan Untuk meningkatkkn Ketersediaan Fospat Pada Ultisols. Fakultas Pertanian Universitas Jambi.