

## JERAPAN P PADA ANDISOL YANG BERKEMBANG DARI TUFF VULKAN BEBERAPA GUNUNG API DI JAWA TENGAH DENGAN PEMBERIAN ASAM HUMAT DAN ASAM SILIKAT

Oleh:  
St. Sukmawati<sup>1)</sup>

### ABSTRAK

Andisol merupakan tanah yang memiliki kemampuan menyerap fosfat yang sangat tinggi. Hal ini disebabkan tanah ini kaya akan bahan mineral amorf khususnya alofan yang sangat reaktif. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan asam humat dan asam silikat dalam menekan jerapan P pada mineral amorf (alofan) yang berasal dari 4 Gunung Api di Jawa Tengah. Sampel tanah diambil dari horison B/C dari Andisol Gunung Slamet, Dieng, Merbabu dan Lawu, dengan mempertimbangkan faktor umur bahan induk (tua dan muda) dan posisi lereng (atas, tengah dan bawah). Komponen mineral amorf yang digunakan merupakan fraksi lempung yang diperoleh dengan metode pipetasi (Hukum Stokes). Percobaan jerapan P dilakukan dengan menggunakan seri larutan  $\text{Na}(\text{H}_2\text{PO}_4)$  dengan kadar 0, 10, 20, 30, 40 dan 50 mM. Sistem larutan diatur pada pH 4 dan pH 6. Kadar asam humat dan asam silikat yang digunakan masing-masing 100 mg/L. Persamaan isoterm jerapan Langmuir dan Freundlich digunakan untuk mendeskripsikan pola jerapan P.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jerapan P sangat tinggi yaitu >98%, meningkat dengan meningkatnya kadar pemberian P dengan pola jerapan yang dapat digambarkan secara baik dengan persamaan isoterm Freundlich. Pemberian asam humat dan asam silikat terbukti dapat menurunkan jerapan P dimana terlihat bahwa pemberian asam silikat lebih kuat dalam menurunkan jerapan P dibandingkan asam humat, baik pada pH 4 maupun pH 6.

**Kata kunci :** Andisol, Alofan, Jerapan P, Asam Humat, Isoterm.

### I. PENDAHULUAN

Andisol adalah salah satu jenis tanah yang relatif subur namun mempunyai tingkat jerapan P yang tinggi karena dirajai oleh mineral amorf seperti alofan, imogolit, ferihidrit dan oksida-oksida hidrat Al dan Fe dengan permukaan spesifik yang luas (Munir, 1996; Uehara dan Gillman, 1981). Oleh karena itu pengelolaan Andisol perlu diarahkan untuk menurunkan kemampuan jerapan dan meningkatkan ketersediaan P antara lain dengan menggunakan asam humat dan asam silikat. Asam humat sebagai hasil dekomposisi bahan organik yang cukup tinggi dalam tanah Andisol diketahui dapat berfungsi melindungi seskuioksida dan atau memblokir loka pertukaran, sehingga mengurangi jerapan P (Stevenson, 1994 dan Nuryani *et al.*, 2000). Silikat merupakan salah satu anion yang dapat melepaskan P dari kompleks jerapan dengan afinitas yang sangat besar, dapat mendesak anion-anion seperti; fosfat, sulfat dan halida yang telah terjerap pada jerapan (Tan, 1998).

<sup>1)</sup> Staf pada Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Tadulako Palu.

Pemberian Si dapat mengurangi aktivitas Al; Fe; dan Mn, selain itu anion silikat dapat menggantikan anion P pada loka jerapan sehingga akan tersedia bagi tanaman.

Berdasarkan latar belakang dan dasar pemikiran diatas maka penelitian ini dilakukan bertujuan untuk membandingkan peranan asam humat dan asam silikat dalam memblokir jerapan P pada komponen mineral amorf beberapa Andisol yang berasal dari tuff vulkan gunung api di Jawa Tengah.

### II. METODE PENELITIAN

#### 2.1. Tempat dan Waktu

Kegiatan penelitian dilakukan dilaboratorium Ilmu Tanah Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta pada bulan Agustus 2007 sampai bulan Juni 2008.

#### 2.2. Pengambilan Sampel Tanah

Contoh tanah diambil dari 4 gunung yaitu Gunung Dieng, G. Slamet, G. Merbabau dan G. Lawu yang diwakili oleh masing-masing 2 titik. Titik pengambilan contoh tanah berdasarkan peta geologi, peta

tanah dan peta rupabumi, dengan melihat penyebaran wilayah-wilayah yang kemungkinan memiliki bahan induk berupa tuff vulkan gunung api di daerah Jawa Tengah, yaitu tanah Andisol yang dirajai oleh mineral amorf khususnya alofan.

### 2.3. Tata Laksana Penelitian

#### 2.3.1. Ekstraksi dan Fraksionasi Lempung

Lempung diekstrak dari tanah horizon B pada masing-masing gunung, yaitu Hutan Damar (HD) dan Gomblang (GM) mewakili G. Slamet; Jojogan (JJG) dan Kalilembu (XL) mewakili pegunungan Dieng; Tekelan (TKL) dan Genikan (GNK) mewakili G. Merbabu serta Cemarasewu (CS) dan Mitis (MT) mewakili G. Lawu. Lempung diambil dengan metode pipet menggunakan  $H_2O_2$  dengan menambahkan HCl atau NaOH untuk memisahkan lempung dari fraksi pasir, debu dan BO dengan mengontrol pH larutan 4 – 10.

#### 2.3.2. Fraksionasi Senyawa Humat

Asam humat difraksionasi dari contoh tanah horizon A, untuk memisahkan asam humat, asam fulvat, humin dan mineral dari bahan organik tanah dengan metode Tan (1991) menggunakan pelarut alkali (NaOH) yang merupakan ekstrak yang paling efektif dalam pemisahan bahan humat dalam tanah secara kuantitatif.

### 2.4. Percobaan Jerapan

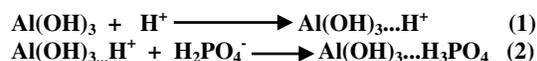
Percobaan jerapan P dilakukan dengan mereaksikan asam humat dan asam silikat ( $Na_2SiO_3$ ) sebanyak  $100\text{ mg.l}^{-1}$  pada  $0,6\text{ gr.l}^{-1}$  alofan, kemudian ditambah dengan P dalam bentuk  $Na(H_2PO_4)$  konsentrasi 0, 10, 20, 30, 40 dan 50 mM/l, pH larutan ditetapkan 4 dan 6, digojok selama 24 jam serta menyaring larutan dengan whatman No. 42. P sisa jerapan diukur dengan Spektrofotometer. Persamaan Langmuir dan Freundlich digunakan untuk melihat pola jerapan P oleh alofan setelah menjerap asam humat dan asam silikat.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Persentase Jerapan

Asam humat dan silikat diharapkan dapat menurunkan jerapan P akibat kemampuannya mengisi tapak jerapan menjadi tujuan dari percobaan ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jerapan P oleh alofan umumnya sangat tinggi yaitu > 98 % dan pemberian asam humat dan silikat dapat menurunkan jerapan P tersebut sebesar 0,01 % pada konsentrasi pemberian 50 mM  $Na(H_2PO_4)$  pH 4 pada alofan TKL sampai 1,24 % pada konsentrasi pemberian 10 mM  $Na(H_2PO_4)$  pH 6 pada alofan CS.

Tingginya jerapan P oleh alofan yang merupakan komponen mineral amorf dari Andisol disebabkan oleh tingginya kandungan Fe dan Al amorf dari alofan (Bohn *et al.*, 1979), permukaan spesifik yang luas (Uehara dan Gillman, 1981) dan pH. Masduqi (2004) mengemukakan bahwa pH asam menyebabkan tanah bermuatan positif akibat masuknya ion  $H^+$  pada lapis oktahedral  $Al(OH)_3$  dan membentuk ikatan hidrogen sehingga permukaan partikel alofan menjadi bermuatan positif dan dapat mengikat ion fosfat yang bermuatan negatif. Fenomena ini dapat dituliskan dalam bentuk persamaan reaksi berikut :



Pada pH 6, kemungkinan terjadinya jerapan adalah melalui pertukaran anion dengan mengikuti reaksi berikut :



Data-data hasil penelitian pada tabel 1 memperlihatkan bahwa persentase jerapan meningkat dengan meningkatnya konsentrasi pemberian P pada semua lokasi, baik yang diberi asam humat maupun asam silikat dengan persentase jerapan yang sangat tinggi yaitu > 98 %. Rupanya pemberian  $100\text{ mg.l}^{-1}$  masing-masing asam humat dan  $Na_2SiO_3$  belum bisa memblok P dengan baik dengan hasil yang nyata, sehingga untuk menentukan jenis alofan terbaik dalam memblok P agak sulit dilakukan. Hal tersebut menunjukkan tingginya retensi P dari Andisol.

Tabel 1. Pengaruh pemberian asam humat dan asam silikat terhadap persentase P dijerap pada alofan dari 8 lokasi yang diatur pada pH 4 dan pH 6.

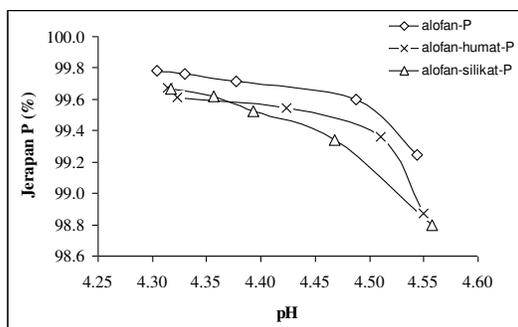
Lokasi	Konsentrasi P (mM)	P-terjerap (%)					
		Alofan-P		Alofan-humat		Alofan-silikat	
		pH 4	pH 6	pH 4	pH 6	pH 4	pH 6
HD	10	98,86	98,88	98,75	98,75	98,67	98,63
	20	99,39	99,40	99,36	99,29	99,26	99,23
	30	99,57	99,59	99,55	99,46	99,46	99,45
	40	99,65	99,68	99,57	99,57	99,57	99,65
	50	99,71	99,71	99,65	99,65	99,63	99,61
GM	10	99,48	98,93	98,81	98,85	98,69	98,48
	20	99,71	99,44	99,33	99,27	99,33	99,16
	30	99,79	99,61	99,50	99,53	99,51	99,43
	40	99,83	99,70	99,60	99,61	99,57	99,56
	50	99,84	99,75	99,61	99,66	99,64	99,61
JIG	10	99,48	98,94	98,76	99,44	98,84	98,81
	20	99,71	99,46	99,30	99,39	99,36	99,34
	30	99,80	99,61	99,51	99,54	99,55	99,53
	40	99,83	99,70	99,61	99,63	99,64	99,62
	50	99,85	99,74	99,68	99,68	99,68	99,69
XL	10	98,96	99,43	98,87	98,92	98,83	98,85
	20	99,46	99,70	99,40	99,42	99,5	99,38
	30	99,62	99,76	99,57	99,58	99,54	99,55
	40	99,71	99,80	99,65	99,66	99,64	99,63
	50	99,69	99,80	99,70	99,69	99,68	99,69
TKL	10	99,41	98,79	99,39	98,84	98,89	98,82
	20	99,68	99,36	99,63	99,37	99,42	99,35
	30	99,76	99,54	99,73	99,55	99,54	99,53
	40	99,79	99,61	99,77	99,64	99,65	99,62
	50	99,80	99,67	99,79	99,69	99,69	99,68
GNK	10	98,87	99,42	99,41	98,88	98,81	98,77
	20	99,42	99,71	99,48	99,31	99,37	99,36
	30	99,59	99,79	99,64	99,43	99,54	99,54
	40	99,69	99,81	99,67	99,56	99,63	99,63
	50	99,74	99,83	99,77	99,64	99,68	99,69
CS	10	99,47	99,44	98,41	98,20	98,81	98,82
	20	99,71	99,67	99,16	99,01	99,35	99,36
	30	99,79	99,76	99,40	99,25	99,54	99,54
	40	99,81	99,79	99,49	99,48	99,62	99,63
	50	99,78	99,82	99,58	99,55	99,68	99,68
MT	10	99,45	99,50	98,58	98,43	98,81	98,81
	20	99,70	99,74	99,22	99,14	99,31	99,36
	30	99,78	99,81	99,46	99,35	99,53	99,53
	40	99,82	99,84	99,56	99,48	99,62	99,63
	50	99,85	99,87	99,61	99,54	99,68	99,68

### 3.2. Pengaruh pH terhadap Jerapan P

Hasil penelitian pada Tabel 1 menunjukkan bahwa persentase P yang dijerap oleh alofan dipengaruhi oleh pH. Pada umumnya jerapan P menurun dengan meningkatnya pH pada semua konsentrasi pemberian P untuk semua lokasi. Hal ini disebabkan karena dengan meningkatnya pH, muatan positif alofan sebagai sumber pertukaran anion menjadi berkurang dan mengakibatkan berkurangnya loka pertukaran pada permukaan alofan.

Dengan demikian jumlah P yang dapat dijerap menjadi turun. Jerapan P pada pH 4 umumnya menurun dengan meningkatnya pH pada alofan, alofan yang diberi asam humat maupun alofan yang diberi asam silikat. Sedangkan pada pH 6, jerapan P cukup berfluktuasi namun tetap menunjukkan adanya penurunan jerapan dengan meningkatnya pH. Hal ini disebabkan karena pada pH 6, daya sangga alofan pada umumnya lebih kuat sehingga tidak mudah dipengaruhi faktor lain dan

berakibat pada kemampuan penurunan jerapan P yang tidak terlalu stabil dengan meningkatnya pH sebagaimana penurunan jerapan P dengan meningkatnya pH pada pH 4. Pengaruh pH terhadap jerapan P secara umum dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh pH terhadap jerapan P alofan, alofan yang diberi asam humat dan alofan yang diberi asam silikat yang diatur pada pH 4.

### 3.3. Kurva Isoterm Jerapan

#### 3.3.1. Isoterm Langmuir

Persamaan isoterm jerapan menurut Langmuir untuk kompleks alofan humat dan alofan-silikat menunjukkan pada semua konsentrasi pemberian P (0 – 50 mM) memiliki kemiringan cenderung menurun dan menghasilkan persamaan regresi yang bernilai negatif, sehingga adsorpsi tidak dapat digambarkan secara matematis. Oleh karena itu persamaan Langmuir tidak dapat digunakan untuk mempelajari pola jerapan P tanah Andisol dengan pemberian asam humat maupun silikat dan  $\text{Na}(\text{H}_2\text{PO}_4)$  konsentrasi  $50 \text{ mM.l}^{-1}$  dalam penelitian ini. Hal ini kemungkinan besar disebabkan karena tingginya jerapan P yang menunjukkan energi ikatan (intensitas) dari adsorpsi menyebabkan permukaan alofan dijenuhi oleh P, sehingga makin tinggi konsentrasi P yang diberikan makin kecil kemampuan alofan menyerapnya. Dengan demikian makin banyak yang tersisa dalam larutan kesetimbangan.

#### 3.3.2. Isoterm Freunlich

Persamaan isoterm jerapan P pada alofan, kompleks alofan-humat dan alofan-silikat menunjukkan hubungan P larut dan P yang terjerap berkorelasi dengan baik menurut Freunlich dengan koefisien korelasi

dan persamaan regresi seperti terlihat pada kurva isoterm Freunlich dalam gambar 2. Dari persamaan-persamaan regresi tersebut dapat diketahui nilai  $1/n$  (slope) dengan n yang menunjukkan afinitas atau kekuatan ikatan (intensitas) dalam jerapan serta nilai k yang menunjukkan kapasitas jerapan (Radjaguguk, 1975). Afinitas dan kapasitas adalah parameter yang dapat menggambarkan adsorpsi P pada alofan, alofan yang diberi asam humat maupun alofan yang diberi asam silikat.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorpsi P pada alofan memiliki wilayah jerapan yang cukup kuat dengan nilai  $1/n$  (kemiringan) antara 1,98 pada XL dan 1,97 pada CS sampai 6,51 pada GNK. Nilai  $n < 1$  pada semua lokasi menunjukkan bahwa adsorpsi memiliki afinitas atau energi ikatan yang tinggi (Radjaguguk, 1975) sehingga jerapan P oleh alofan yang mencapai 98,86 % - 99,85 % pada pH 4 dan 98,88 % - 99,87 % pada pH 6 seperti terlihat pada tabel 1 disebabkan oleh ikatan P pada permukaan alofan yang kuat, semakin kecil nilai n maka makin tinggi energi ikatan dalam adsorpsi.

Pemberian asam humat dan asam silikat pada adsorpsi P dapat dilihat pada kurva dalam gambar 2 yang memperlihatkan grafik linier dengan kemiringan yang kecil untuk semua lokasi, baik adsorpsi P pada alofan yang diberi asam humat maupun asam silikat. Berdasarkan kurva tersebut terlihat bahwa terdapat wilayah jerapan yang lemah untuk semua lokasi dengan nilai n antara 2,2 pada GNK sampai 5,5 pada XL yang diberi asam humat pH 4 dan 1,9 pada GNK sampai 4,6 pada CS yang diberi asam humat pH 6. Hal ini mengindikasikan rendahnya afinitas atau kekuatan ikatan antara permukaan alofan dengan P, sehingga dapat diprediksi bahwa kehadiran asam humat dan asam silikat menurunkan afinitas jerapan P pada alofan akibat terjadinya kompetisi antara P dan kedua asam tersebut. Dengan kata lain, kehadiran asam humat dan asam silikat dapat mendesak sebagian kedudukan P pada permukaan alofan sehingga menurunkan kekuatan ikatan keduanya dan berakibat pada terlepasnya P kedalam larutan kesetimbangan. Dengan demikian P yang

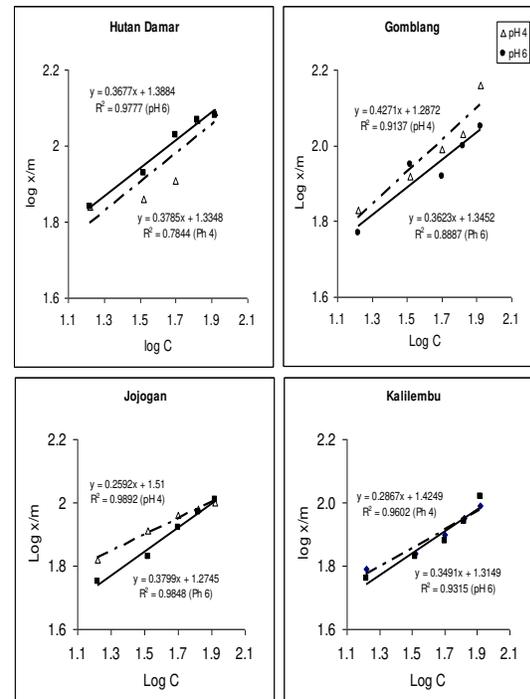
terjerap menjadi berkurang atau menurun, hal ini dapat dilihat dari perubahan kurva dari kuat (kemiringan besar) pada jerapan P oleh alofan menjadi lemah (kemiringan kecil) pada jerapan P oleh alofan yang diberi asam humat dan asam silikat sebagaimana terlihat pada gambar 4.

Untuk mengetahui pengaruh pemberian asam humat dan asam silikat terhadap jerapan P pada alofan secara umum, maka dilakukan perhitungan rata-rata jerapan P pada semua lokasi yang diberi asam humat dan asam silikat.

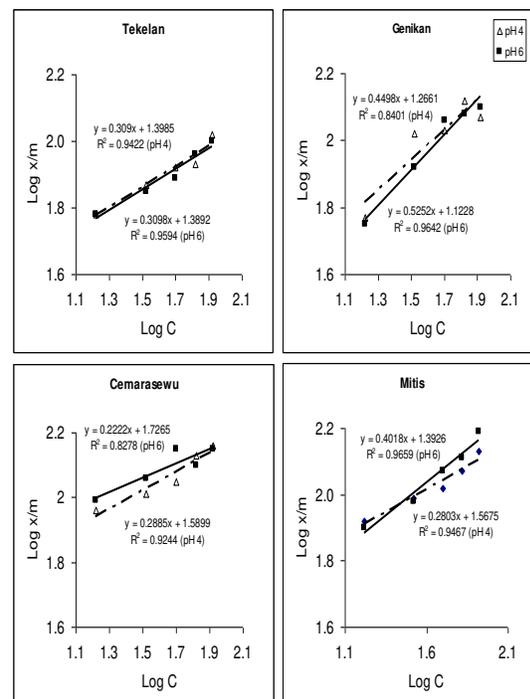
Rata-rata P terjerap pada alofan tanpa humat dan silikat cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan pemberian kedua asam tersebut akibat terjadinya kompetisi antara P dengan keduanya sehingga afinitas anion P pada permukaan alofan menjadi menurun, akibatnya molekul asam humat maupun silikat menjadi terjerap dan menghambat sebagian permukaan serta menurunkan permukaan untuk jerapan P. Persentase rata-rata jerapan P dari 8 jenis alofan pada 5 konsentrasi pemberian P baik pada pH 4 maupun pH 6 ditampilkan dalam gambar 3.

Dalam gambar tersebut terlihat bahwa jerapan P meningkat dengan meningkatnya konsentrasi P, persentase jerapan P menurun dengan adanya pemberian asam humat dan asam silikat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum, pemberian asam humat dan asam silikat menurunkan jerapan P dengan persentase yang hampir sama baik pada pH 4 maupun pH 6. Pada pH 4, Jerapan P alofan dengan asam silikat terlihat lebih rendah dibandingkan dengan alofan dengan asam humat. Hal ini disebabkan karena pHnya lebih rendah sehingga muatan positif sebagai sumber pertukaran anion yang dalam hal ini adalah P lebih besar, sebagaimana telah disebutkan sebelumnya bahwa Silikat ( $\text{SiO}_4^{4-}$ ) merupakan anion dengan afinitas yang sangat besar yang tidak mampu didesak oleh anion lain dari tapak jerapan yang telah mengikatnya. Peningkatan P dalam larutan ini karena anion silikat ( $\text{SiO}_4^{4-}$ ) memiliki kekuatan untuk menggantikan kedudukan fosfat (Tan, 1992). Selain itu silikat dapat mendesak anion-anion seperti;

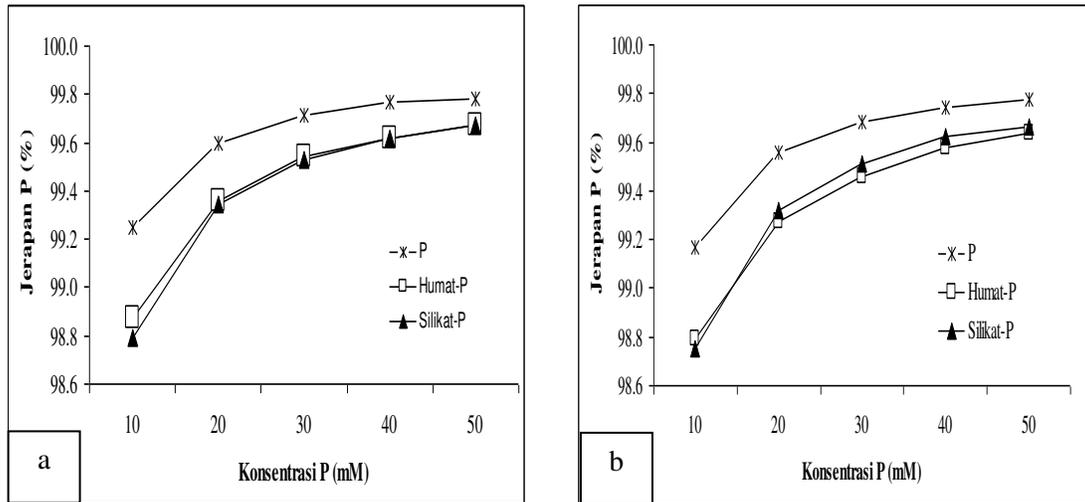
fosfat, sulfat dan halida yang telah terjerap pada jerapan (Bolt, dalam Tan, 1993).



Gambar 2a. Jerapan P pada alofan HD, GM, JJJ dan XL yang diberi asam humat serta dibuffer pada pH 4 dan pH 6 dengan persamaan Freundlich.



Gambar 2b. Jerapan P pada alofan TKL, GNK, CS dan MT yang diberi asam humat serta dibuffer pada pH 4 dan pH 6 dengan persamaan Freundlich.



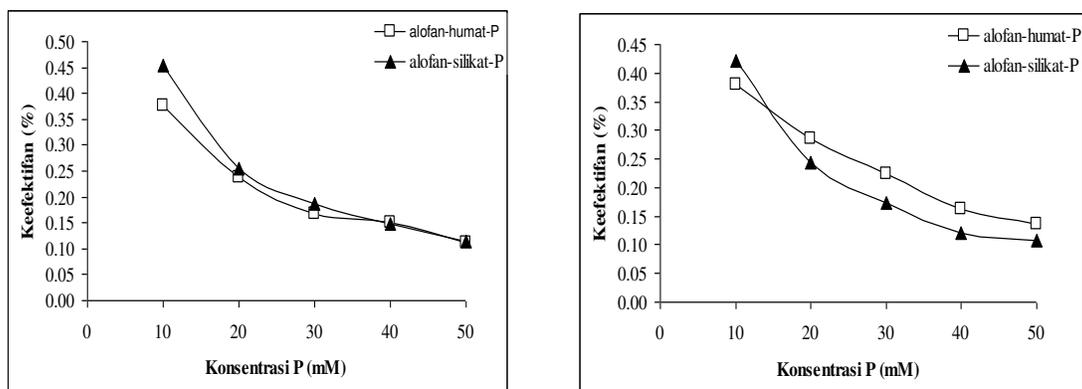
Gambar 3. Persentase rata-rata jerapan P alofan HD, GM, JIG, XL, TKL, GNK, CS dan MT pada 5 konsentrasi pemberian P untuk adsorpsi alofan-P, alofan-humat-P dan alofan-silikat-P pada pH 4 (a) dan pH 6 (b).

### 1. Keefektifan asam humat dan asam silikat.

Telah disebutkan sebelumnya bahwa pemberian asam humat dan asam silikat menurunkan jerapan P pada alofan dengan persentase yang hampir sama seperti terlihat dalam gambar 3. Peranan kedua asam tersebut dalam menurunkan jerapan P pada alofan dihitung berdasarkan persentase jerapan P setelah pemberian asam humat dan asam silikat. Pemberian asam humat memiliki nilai efektifitas yang lebih tinggi pada pH 6, sebaliknya pemberian asam silikat pada pH 4, dengan demikian asam humat lebih efektif menurunkan jerapan P pada pH 6, sedangkan asam silikat pada pH 4. Hal ini disebabkan karena disosiasi gugus fungsional asam humat meningkat dengan

meningkatnya pH, dengan demikian pada pH yang lebih tinggi, ion  $H^+$  yang bereaksi dengan permukaan alofan dengan melepaskan Al/Si akan mengurangi loka pertukaran anion. Sedangkan pada pH rendah, Si cenderung terjerap (Havlin *et al.*, 2005) sehingga mengurangi jerapan P oleh permukaan alofan.

Perbandingan antara efektifitas asam humat dan asam silikat dalam menurunkan jerapan P pada alofan dari 8 lokasi dapat digambarkan secara umum seperti terlihat dalam gambar 4, hasil penelitian menunjukkan bahwa efektifitas asam humat dan asam silikat menurun dengan meningkatnya konsentrasi pemberian P, hal ini disebabkan karena jerapan P meningkat dengan meningkatnya konsentrasi P yang diberikan.



Gambar 4. Nilai efektifitas pemberian asam humat dan asam silikat pada 5 konsentrasi pemberian P pada pH 4 (a) dan pH 6 (b).

#### IV. KESIMPULAN

1. Asam humat dan asam silikat dapat mengisi tapak jerapan alofan sehingga mampu menurunkan jerapan P dengan persentase jerapan yang hampir sama.
2. Jerapan P meningkat dengan meningkatnya pemberian konsentrasi  $\text{Na}(\text{H}_2\text{PO}_4)$  dengan pola jerapan yang dapat digambarkan dengan persamaan freundlich.
3. Tingginya adsorpsi/jerapan P oleh alofan, baik yang diberi asam humat maupun asam silikat disebabkan oleh kapasitas jerapan dalam adsorpsi yang tinggi sehingga luas permukaan alofan yang dapat menyerap anion P menjadi besar.
4. Asam humat efektif menurunkan jerapan P pada pH 6, sedangkan asam silikat pada pH 4.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bohn, H.L., B. L. Mc. Neal, and G.A O'Connor. 1979. Soil Chemistry. John Willey & Sons. New York.
- Havlin, L.J., Beaton, D.J., Tisdale, L.S., and Nelson, L.W. 2005. Soil Fertility and Fertilizers, *An Introduction To nutrient Management*. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- Masduqi, A. 2004. Penurunan Senyawa Fospat Dalam Air Limbah Buatan Dengan Proses Jerapan Menggunakan Tanah Haloisit. FTSP ITS. Surabaya.
- Munir, M.S. 1996. Tanah-Tanah Utama Indonesia. Karakteristik; Klasifikasi dan Pemanfatannya. PT. Dunia Pustaka Jaya. Jakarta.
- Nuryani S., Handayani, S., dan Maas, S. 2000. Meningkatkan Efisiensi Pemupukan P dengan Bahan Organik Pada Andisol. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. Vol (2) No 2 : 7-12
- Radjagukguk, B. 1975. Zinc Availability In and Adsorption On Darling Downs Black Earths. Being a Thesis Submitted to The University Of Queensland in Partial Fulfilment of The Requirements for The Degree of Master of Agricultural Science
- Stevenson, F. J. 1994. Humus Chemistry : Genesis, Composition and Reactions. Department Of Agronomy University Of Illinois. Amerika.
- Tan, K. H. 1998. Dasar-dasar Ilmu Tanah. Gajah Mada University Press. Yogyakarta
- Uehara, G dan Gilman G. 1982. The Mineralogy, Chemistry, and Physics Of Tropical Soil With Variable Charge Clays. Westview Press/Boulder. Colorado.