

## REMEDIASI PERAIRAN EUTROFIK MENGUNAKAN KLEINANO SEBAGAI ADSORBEN ALAMI FOSFAT

## REMEDIATION OF EUTROPHIC WATERS USING NANOCCLAYS AS NATURAL ADSORBENT OF PHOSPHATE

Untung Sudadi<sup>1\*</sup>), Syaiful Anwar<sup>1</sup>, Rendy Anggriawan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

<sup>2</sup>Program Studi Magister Ilmu Tanah, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

<sup>\*</sup>)Penulis Korespondensi: E-mail: u\_sudadi@ipb.ac.id

### ABSTRACT

Indonesia is rich with volcanic tuff materials that contain variable-charged minerals. This research was aimed at to extract nanoclays (sized <200 nm) from volcanic tuff materials, and to evaluate their potential as natural adsorbent of phosphate contaminant in eutrophic waters. Volcanic tuffs tv<sub>3</sub> and tv<sub>4</sub> were separated using dispersion-ultrasonication-centrifugation-dialysis procedures. By dispersing in acid condition (pH 4.0) followed with ultrasonication, it could be separated positive-charged nanoclays nc<sub>3</sub> and nc<sub>4</sub> from the negative-charged ones. Potential of the extracted nanoclays as adsorbent was evaluated by characterizing their phosphate adsorption maxima (b values) according to the Langmuir isothermal adsorption model. It could be extracted 2.82 mg nc<sub>3</sub>/g tv<sub>3</sub> and 4.29 mg nc<sub>4</sub>/g tv<sub>4</sub>. The b values of nc<sub>3</sub> after 48 h equilibration time were higher than those of nc<sub>4</sub>. The extracted nanolays were considered prospective as natural adsorbent for removal phosphate contaminant in eutrophic waters.

*Keywords: equilibration time, isothermal adsorption, phosphate adsorption maxima, nanoclays extraction*

### ABSTRAK

Indonesia kaya bahan tuf vulkan yang mengandung mineral-mineral bermuatan variabel. Penelitian ini ditujukan untuk mengekstrak klei nano (ukuran < 200 nm) dari bahan tuf vulkan, dan untuk mengevaluasi potensinya sebagai penyerap alami kontaminan fosfat pada perairan eutropik. Klei nano dari dua tuf vulkan (tv<sub>3</sub> dan tv<sub>4</sub>) dipisahkan menggunakan prosedur dispersi-ultrasonifikasi-sentrifugasi-dialisis. Melalui dispersi pada kondisi masam (pH 4.0) diikuti ultrasonifikasi, dapat dipisahkan klei nano bermuatan positif (nc<sub>3</sub> dan nc<sub>4</sub>) dari yang bermuatan negatif. Potensi klei nano terekstrak sebagai penyerap dievaluasi dengan mengkarakterisasi erapan maksimum (nilai b) sesuai model erapan isothermal Langmuir. Dari dua tuf vulkan, dapat diekstrak masing-masing 2.82 mg nc<sub>3</sub>/g tv<sub>3</sub> and 4.29 mg nc<sub>4</sub>/g tv<sub>4</sub>. Nilai b nc<sub>3</sub> pada setelah 48 jam waktu



ekuilibrasi lebih tinggi dari  $nc_4$ . Klei nano terekstrak prospektif sebagai pengerap alami untuk mengurangi kontaminan fosfat dalam perairan eutropik.

**Kata Kunci:** waktu ekuilibrasi, erapan isotermal, erapan fosfat maksimum, ekstraksi klei nano

## PENDAHULUAN

Peningkatan kadar pencemar anionik dari berbagai sumber, utamanya dari aktivitas pertanian, industri, dan domestik ke ekosistem perairan dapat menyebabkan degradasi mutu air hingga terjadinya eutrofikasi (Carpenter *et al.*, 1998). Fosfat merupakan pencemar utama penyebab eutrofikasi. Pengelolaan ekosistem perairan dan air bersih memerlukan teknologi yang efektif, efisien dan ramah lingkungan. Dalam proses pengelolaan air dan air limbah tercemar fosfat, pemanfaatan material nano alami sebagai adsorben atau flokulan lebih efektif, murah dan ramah lingkungan daripada bahan kimia sintetik (Yuan & Wu 2007).

Material dalam skala nano (<100 nm) memiliki sifat fisik dan kimia unik yang tidak terekspresikan jika berada dalam bentuk ruah (*bulk*). Efek paling nyata terkait berkurangnya ukuran suatu materi ke skala nano adalah peningkatan signifikan luas permukaan spesifiknya. Saat ini, sintesis material nano masih memerlukan biaya yang sangat mahal, sehingga eksplorasi material nano alami, salah satunya untuk dimanfaatkan sebagai adsorben sangat prospektif untuk dilakukan.

Tanah merupakan sumber potensial penyedia material nano alami (Theng & Yuan 2008). Fraksi klei tanah merujuk pada partikel dengan ukuran <2  $\mu\text{m}$ , sehingga di dalamnya juga terkandung fraksi nano yang didefinisikan salah satu dimensinya berukuran <100 nm (Calabi-Floody *et al.* 2009). Indonesia kaya akan Andisols, tanah berbahan induk material vulkan yang banyak mengandung mineral aluminosilikat seperti alofan dan imogolit dengan karakteristik kimia yang spesifik, yaitu muatannya bersifat bergantung-pH dengan reaktivitas kimia, luas permukaan spesifik, dan kapasitas jerapan yang tinggi terhadap anion atau kation (Ghoneim *et al.* 2006; Padilla *et al.* 2002). Kedua mineral aluminosilikat ini kini diketahui memiliki struktur kimia yang pasti sebagai nanokristalin yang berbentuk bola-berongga untuk alofan (*nano-ball allophane*, berdimensi 3-5 nm) dan tabung untuk imogolit (*nano-tube imogolite*, 2 nm), sehingga keduanya tergolong material nano alami (Abidin *et al.* 2005). Tingginya jerapan fosfat pada Andisols terkait alofan dan imogolit merupakan salah satu penyebab utama rendahnya efisiensi pemupukan P. Namun, di sisi lain merupakan petunjuk keberadaan yang melimpah dari sumber alami adsorben pencemar anionik perairan dan air limbah seperti fosfat, fluorat, dan arsenat (Kaufold *et al.* 2010; Shukla *et al.* 2013).

Penelitian ini bertujuan mengekstraksi fraksi berdiameter <200 nm (fraksi kleinano) dari bahan tuf vulkan Indonesia, mengarakterisasi kapasitas jerapannya



terhadap fosfat, dan mengevaluasi potensinya sebagai adsorben alami fosfat sebagai pencemar di lingkungan perairan.

## METODOLOGI

### Waktu dan Tempat Penelitian

Sampel tuf vulkan diambil dari profil Andisol di Desa Sukajadi, Kecamatan Tamansari, Kabupaten Bogor yang berada pada elevasi 670 m dpl dengan koordinat geografis 6°39'28" LS dan 106°43'52.2" BT pada Maret 2017 di lapisan ke-3 (kedalaman 87-135 cm,  $tv_3$ ) dan lapisan ke-4 (kedalaman >135 cm,  $tv_4$ ). Lapisan pertama dan kedua adalah solum tanah dan tidak digunakan dalam penelitian ini untuk meminimalkan pengaruh bahan organik dalam proses ekstraksi fraksi kleinano. Analisis karakterisasi bahan tuf vulkan dan fraksi kleinano terekstraksi serta uji jerapan fosfat dilakukan di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, IPB.

### Bahan dan Alat

Bahan penelitian meliputi sampel tuf vulkan, serta bahan kimia untuk separasi dan ekstraksi fraksi kleinano dari bahan tuf vulkan, uji jerapan fosfat pada fraksi kleinano terekstraksi, dan analisis spektra FTIR untuk menganalisis keberadaan alofan dan imogolit dalam fraksi kleinano terekstraksi. Peralatan yang digunakan meliputi *glasware sets*, neraca analitik, ultrasonik, sentrifus, oven, DHL-meter, UV-Vis spektrofotometer, dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) spektrofotometer.

### Prosedur Penelitian

#### a. Preparasi dan Ekstraksi Fraksi Kleinano

Sampel tuf vulkan ( $tv_3$  dan  $tv_4$ ) dikering-udarkan, disaring lolos saringan 250 mesh dan ditetapkan kadar airnya secara gravimetrik. Analisis sifat kimia  $tv_3$  dan  $tv_4$  dilakukan terhadap pH NaF.

Ekstraksi fraksi kleinano dilakukan menurut metode Henmi & Wada (1976) yang dimodifikasi dalam hal penggunaan teknik ultrasonikasi. Bahan  $tv_3$  dan  $tv_4$  ditimbang tepat masing-masing 10 g BKU, dimasukkan ke dalam silinder-1 L dan ditambahkan aquadest hingga tanda tera, dikondisikan pada pH 4.0 dengan penambahan 4.5 ml 0.21 N HCl, diultrasonik pada gelombang sonik 20 kHz selama 15 menit, dan disedimentasikan selama 20 jam. Selanjutnya, larutan terdispersi pada posisi 10 cm teratas (sekitar 200 ml) yang mengandung fraksi kleinano bermuatan positif dipindahkan ke gelas piala 1000-ml. Tahapan ini dilakukan 8 kali (menggunakan masing-masing 84.41 g BKU  $tv_3$  dan  $tv_4$ ) hingga di-peroleh masing-masing sekitar 1600 ml larutan. Larutan kemudian diflokulasikan dengan penambahan 100 ml N NaCl dan diredimentasikan selama 20 jam. Larutan bening di bagian atas didekantasi dan diperoleh masing-masing sekitar 160 ml suspensi flokulat.



Flokulat diredispersi pada pH 4.0. Selanjutnya masing-masing 4 x 40 ml larutan teredispersi dimasukkan ke dalam 4 tabung sentrifus polietilen-50 ml. Volume atau tinggi permukaan larutan dalam keempat tabung sentrifus disamakan dengan penambahan aquadest. Suspensi disentrifusi pada kecepatan 3500 rpm selama 4 x 30 menit hingga diperoleh larutan bening di bagian atas. Larutan bening 1 cm teratas yang merupakan kelebihan NaCl dari tahapan flokulasi didekantasi, sedangkan suspensi dan endapan yang merupakan fraksi kleinano terseparasi ditampung dan diakumulasikan dalam gelas piala-500 ml. Suspensi langsung dipindahkan ke gelas piala, sedangkan endapan diencerkan terlebih dulu dengan aquadest menggunakan botol semprot. Selanjutnya suspensi dipurifikasi lebih lanjut dari kelebihan NaCl menggunakan teknik membran dialisis.

Pada tahapan dialisis, sejumlah suspensi kleinano dimasukkan ke dalam membran dialisis sepanjang sekitar 4 cm dan diikat pada posisi 1 cm di kedua ujungnya menggunakan benang, dan selanjutnya direndam dengan posisi melayang dalam aquadest di gelas piala-1000 ml. Tahapan dialisis ini dilakukan hingga tercapai kondisi kesetimbangan, yaitu kadar ion di dalam membran sama dengan kadar ion dalam aquadest di luar membran atau nilai DHL aquadest dalam gelas piala mendekati nilai DHL aquadest murni (0.5–0.8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), yang menunjukkan bahwa suspensi sudah terbebas dari kelebihan NaCl dan oleh karenanya diasumsikan hanya mengandung fraksi kleinano reaktif bermuatan positif. Pengukuran DHL dilakukan menggunakan DHL-meter.

Tahapan selanjutnya adalah penetapan kadar fraksi kleinano terekstraksi. Suspensi fraksi kleinano  $kn_3$  dan  $kn_4$  dipindahkan dari membran dialisis dan diakumulasikan masing-masing ke labu takar-500 ml dan ditera dengan aquadest. Sampai tahap ini telah diperoleh fraksi kleinano  $kn_3$  dan  $kn_4$  untuk bahan uji jerapan fosfat. Kadar fraksi kleinano dalam 500 ml suspensi di labu takar ditetapkan secara gravimetrik dengan cara memipet masing-masing 3 x 10 ml suspensi kleinano  $kn_3$  dan  $kn_4$  ke cawan oven dan dioven 105 °C sampai bobotnya konstan. Selanjutnya dihitung persentase BKM fraksi kleinano  $kn_3$  dan  $kn_4$  terekstraksi per satuan BKM tuf volkan  $tv_3$  dan  $tv_4$ .

#### **b. Uji Jerapan Fosfat**

Uji jerapan fosfat dilakukan menurut metode Isothermal Langmuir. Ke dalam tabung polietilen-50 ml yang berisi 5 ml suspensi fraksi kleinano dan 5 cc 0.01 M  $\text{CaCl}_2$  sebagai *background electrolyte* ditambahkan 5 ml deret larutan fosfat dengan kadar 0, 2.5, 5, 10, 20, 40, 80, 160, 320, dan 640 mg P/L dan aquadest hingga bervolume total 50 ml. Selanjutnya dilakukan pengocokan dengan waktu ekuilibrasi 12, 24, dan 48 jam. Pada jam ke- 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, dan 48, larutan dikocok selama 30 menit. Kadar P kesetimbangan diukur secara kolorimetri menurut metode Muphy & Riley menggunakan UV-Vis spektrofotometer pada  $\lambda$  660 nm.



### c. Analisis Data Uji Jerapan Isothermal Langmuir

Persamaan umum model jerapan Langmuir adalah:  $x/m = kbC / 1 + kC$ . Persamaan ini dapat dibuat linier ( $Y = p + qX$ ), sehingga menjadi  $C/x/m = 1/kb + 1/b C$ . Data hasil percobaan disimulasikan menggunakan model persamaan linier Langmuir tersebut untuk memperoleh nilai  $b$  (jerapan maksimum; mg/g) dan nilai  $k$  (energi ikatan; L/g). Nilai  $x/m$  adalah fosfat terjerap per satuan bobot fraksi kleinano (mg/g), yaitu selisih antara kadar fosfat yang ditambahkan dengan kadar fosfat yang terukur dalam kondisi kesetimbangan ( $C$ ; mg/L). Dari nilai  $q$  atau gradien garis linier diperoleh nilai jerapan maksimum fosfat (nilai  $b = 1/q$ ). Energi ikatan (nilai  $k$ ) dihitung berdasarkan nilai  $1/kb = p$ , nilai  $p$  adalah intersep atau perpotongan garis linier dengan sumbu Y atau  $C/x/m$ .

### d. Analisis Spektra FTIR

Analisis spektra FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsional yang terkandung dalam sampel fraksi kleinano yang menunjukkan keberadaan mineral-mineral bermuatan, antara lain nanokristalin alofan dan imogolit. Sampel padat pelet KBr dipersiapkan dengan mencampurkan 100 mg serbuk halus KBr dengan 1.00 mg sampel kering fraksi kleinano (1% dari berat KBr) dalam *mortal agate*. Campuran dimasukkan ke cetakan pelet pada *sample base* dan *tablet frame* yang telah dicuci dengan kloroform. Pompa vakum dioperasikan 5 menit untuk meminimalkan kadar air. Selanjutnya, cetakan dipres menggunakan pompa hidrolis. Cakram pelet KBr yang terbentuk dilepaskan dan ditempatkan pada *tablet holder* untuk selanjutnya dilakukan pengukuran menggunakan instrumen FTIR spektrofotometer.

### e. Analisis Data

Persamaan garis linier  $C/x/m = 1/kb + 1/b C$  ditetapkan dengan bantuan perangkat lunak *Microsoft Excell v.2010*. Analisis signifikansi perbedaan nilai jerapan maksimum ( $b$ ) antar waktu ekuilibrasi 12, 24, dan 48 jam dilakukan menurut uji-t menggunakan perangkat lunak *Minitab v.16*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Ekstraksi Fraksi Kleinano

Kondisi iklim dan lingkungan pencucian yang sangat intensif di Jawa Barat mendukung pembentukan dan perkembangan mineral-mineral aluminosilikat sehingga dari bahan tuf vulkan Gunung Salak dapat diperoleh fraksi kleinano bermuatan positif yang lebih banyak dengan tingkat kristalisasi yang lebih sempurna daripada yang bermuatan negatif.

Hasil pelapukan bahan induk tuf vulkan membentuk fraksi kleinano dengan ukuran <200 nm yang antara lain mengandung mineral aluminosilikat alofan dan imogolit yang bersifat nanokristalin dengan sifat muatan bergantung pH. Pada kondisi pH masam bermuatan positif, sedangkan pada kondisi pH basa bermuatan negatif. Muatan positif berasal dari protonisasi gugus hidroksil pada permukaan reaktif silanol (Si-OH), aluminol (Al-OH) atau ferol (Fe-OH), sehingga anion



dapat terikat. Sebaliknya, muatan negatif berasal dari deprotonisasi gugus hidroksil, sehingga kation dapat terikat (Anwar & Sudadi, 2013).

Tabel 1 menunjukkan bahwa dari 64.54 g BKM tuf vulkan  $tv_3$  dapat diekstraksi fraksi kleinano  $kn_3$  sejumlah 0.18 g BKM setara dengan 2.82 mg  $kn_3/g$   $tv_3$ . Dari 61.46 g BKM tuf vulkan  $tv_4$  dapat diekstraksi 0.26 g BKM  $kn_4$  setara dengan 4.29 mg  $kn_4/g$   $tv_4$ .

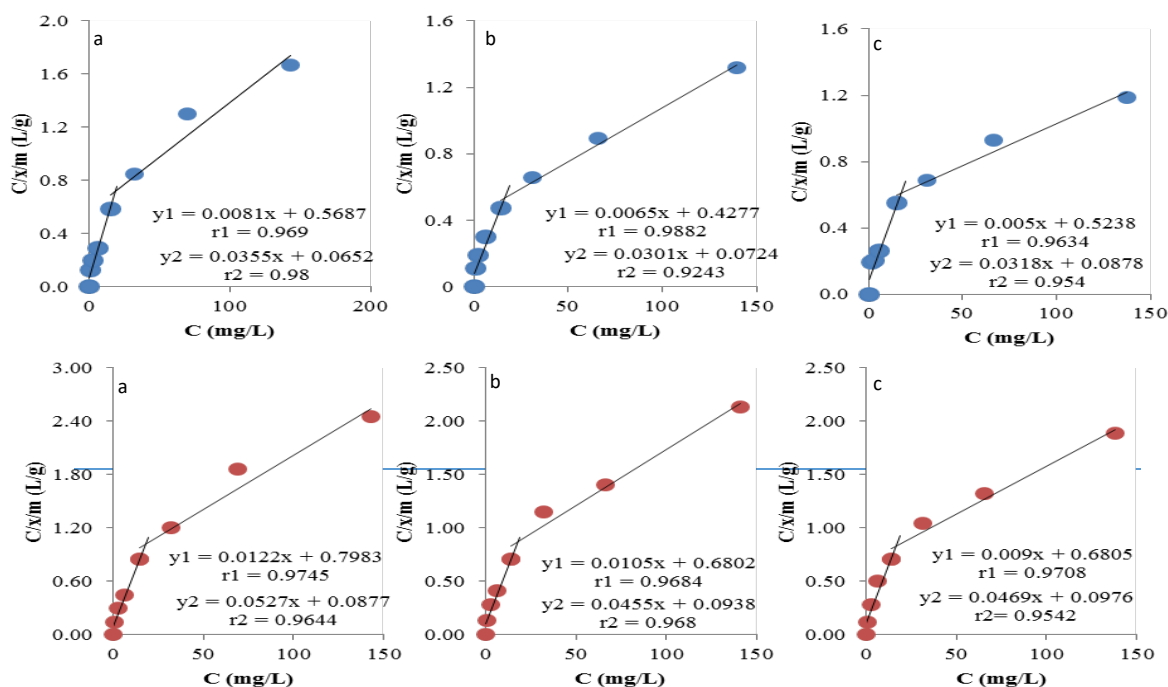
Tabel 1. Karakteristik dan hasil ekstraksi fraksi kleinano dari tuf vulkan Gunung Salak

Lapisan	Kedalaman (cm)	pH NaF (1:5)	Tuf Vulkan ( $tv$ )			Fraksi Kleinano ( $kn$ )	
			KA (%)	BKU (g)	BKM (g)	BKM (g)	mg $kn/g$ $tv$
3	85-135	11.08	30.80	84.414	64.537	0.182	2.82
4	+135	11.35	37.36	84.414	61.455	0.264	4.29

Kadar fraksi kleinano  $kn_4$  terekstraksi lebih tinggi daripada  $kn_3$ . Hal ini berkaitan dengan nilai pH NaF bahan dasar tuf vulkan. Sebagai fraksi yang mengandung mineral aluminosilikat, kleinano terekstraksi memiliki terminal OH<sup>-</sup> pada setiap permukaan reaktif silanol (Si-OH), aluminol (Al-OH), dan ferolnya (Fe-OH). Ion F<sup>-</sup> dari NaF menggantikan ion OH<sup>-</sup> pada permukaan-permukaan reaktif tersebut untuk dilepaskan ke larutan, sehingga pH larutan yang terukur meningkat. Dengan demikian, nilai pH NaF yang semakin tinggi menunjukkan peningkatan kadar fraksi kleinano (mengandung alofan dan imogolit) yang terbentuk pada bahan tuf vulkan (Leamy *et al.* 1990). Oleh karenanya, fraksi kleinano yang terekstraksi dari  $tv_4$  lebih banyak daripada  $tv_3$ .

### Karakteristik Jerapan Fosfat Fraksi Kleinano Terekstraksi

Hasil simulasi data hasil uji jerapan fosfat menurut persamaan linier Langmuir ( $C/x/m = 1/kb + 1/b C$ ) disajikan pada Gambar 1. Nilai b menunjukkan kapasitas atau jerapan maksimum fraksi kleinano untuk menyerap fosfat dan nilai k (energi ikatan) menunjukkan energi yang dibutuhkan fraksi kleinano untuk menyerap fosfat (Tabel 2).



Gambar 1 Kurva dan persamaan linier Langmuir yang menunjukkan karakteristik jerapan fosfat pada fraksi Kleinano  $kn_3$  (atas) dan  $kn_4$  (bawah) pada waktu ekuilibrasi 12 (a), 24 (b), dan 48 jam (c).

Tabel 2. Jerapan maksimum dan energi ikatan fosfat pada fraksi Kleinano terekstraksi dari bahan tuf vulkan

Kleinano	waktu ekuilibrasi (jam)			waktu ekuilibrasi (jam)		
	12	24	48	12	24	48
	Jerapan maksimum (b)* (mg/g)			Energi Ikatan (k) (L/g)		
$Kn_3$	151.63a**	187.07ab	231.45c	0.56d	0.43e	0.37f
$Kn_4$	100.94j	117.22jk	132.43l	0.62p	0.50pq	0.49q

\* Nilai  $b = b_1 + b_2$  pada persamaan linier Langmuir Gambar 2

\*\* Nilai b atau k yang diikuti huruf berbeda pada baris yang sama menunjukkan berbeda nyata pada taraf  $\alpha = 5\%$  menurut uji-t.

Tabel 2 menunjukkan bahwa jerapan maksimum fosfat pada  $kn_3$  lebih tinggi daripada  $kn_4$  pada ketiga waktu ekuilibrasi yang diuji (12, 24, dan 48 jam). Dengan demikian,  $kn_3$  lebih prospektif daripada  $kn_4$  untuk dimanfaatkan sebagai adsorben pencemar anionik seperti fosfat.

Jerapan maksimum suatu adsorben dipengaruhi oleh jenis dan ukurannya. Hal ini mengindikasikan adanya perbedaan ukuran antara fraksi Kleinano  $kn_3$  dengan  $kn_4$ . Posisi lapisan  $tv_4$  sebagai bahan dasar  $kn_3$  lebih dekat ke lapisan batuan induk daripada  $tv_3$  sebagai bahan dasar  $kn_4$ . Semakin jauh posisinya dari batuan induk, semakin tinggi tingkat pelapukan dan kristalisasi mineral yang dihasilkan, sehingga semakin kecil ukuran dan semakin tinggi luas permukaan spesifik serta reaktivitas kimia dari fraksi Kleinano yang dihasilkan (Tan 1965; Sudadi & Wijaya 2012). Sebaliknya, energi ikatan pada  $kn_3$  lebih rendah daripada  $kn_4$ . Hal ini menunjukkan bahwa energi yang dibutuhkan  $kn_3$  untuk menjerap fosfat lebih rendah daripada  $kn_4$ , sehingga jerapan maksimum fosfat dari  $kn_3$  lebih tinggi daripada  $kn_4$ .

Tabel 2 juga menunjukkan bahwa berdasarkan hasil uji-t, jerapan maksimum fosfat dari  $kn_3$  maupun  $kn_4$  pada waktu ekuilibrasi 48 jam nyata lebih tinggi dari pada 12 dan 24 jam (Tabel 2). Dengan demikian, waktu ekuilibrasi terefektif untuk aplikasi fraksi Kleinano terekstraksi dalam penjerapan fosfat adalah 48 jam.

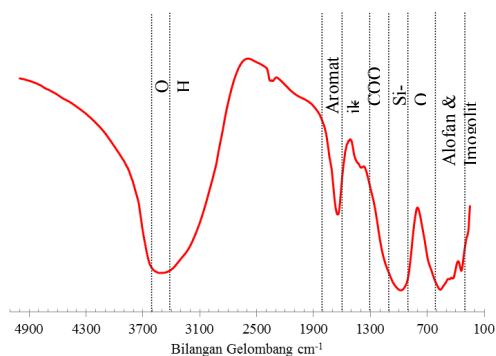
Yuan dan Wu (2007) menggunakan Kleinano alami untuk menjerap fosfat dalam air limbah dan memperoleh penurunan kadar fosfat dari 0.96 menjadi 0.55 mg P/L dalam waktu ekuilibrasi 24 jam dan dinyatakan lebih efektif dibandingkan penggunaan adsorben sintetik. Waktu ekuilibrasi yang semakin lama memungkinkan reaksi jerapan berlangsung dengan lebih baik untuk mencapai kondisi kesetimbangan. Peningkatan waktu ekuilibrasi dari 12 ke 24 dan ke 48 jam dengan intensitas agitasi setiap 6 jam selama 30 menit meningkatkan peluang kontak antara fraksi Kleinano dengan ion fosfat, sehingga terjadi peningkatan jerapan. Semakin tinggi jerapan maksimum suatu bahan, maka semakin tinggi prospeknya untuk digunakan sebagai adsorben.



Pada permukaan reaktif adsorben farsksi kleinano teridentifikasi dua tapak jerapan. Tapak pertama lebih reaktif daripada tapak kedua sehingga daya ikatan tapak kedua terhadap fosfat lebih lemah daripada tapak pertama dan seterusnya sebagai akibat dari gerakan fasa padatan fosfat baru pada permukaan adsorben (Anwar & Sudadi 2013). Pada tahap awal, jerapan adsorbat dengan kadar rendah pada adsorben berafinitas tinggi. Apabila tapak-tapak jerapan telah mendekati jenuh, maka molekul adsorbat semakin sulit untuk menduduki tapak jerapan yang masih tersedia dan akan mulai mendudukitapak kedua dan seterusnya.

### Spektra FTIR

Spektra FTIR sampel kleinano  $kn_3$  (Gambar 2) berada pada area serapan 5000–200  $\text{cm}^{-1}$ . Spektra pada panjang gelombang mendekati 3432  $\text{cm}^{-1}$  berhubungan dengan vibrasi dari gugus OH pada struktur alofan dan imogolit (Wada, 1967). Gugus *stretching*-OH pada panjang gelombang tersebut berasal dari air yang diserap sebagai ciri umum nanomineral alofan. Struktur aromatik pada sampel kleinano  $kn_3$  berada pada panjang gelombang 1600–1500  $\text{cm}^{-1}$ . Puncak serapan mendekati 1390  $\text{cm}^{-1}$  berkaitan dengan karboksilat sebagai *stretching-ions*. Panjang gelombang 1090–940  $\text{cm}^{-1}$  mengindikasikan vibrasi Si-O dari anion ortosilikat dan grup Si-O-Al (Abidin *et al.* 2007; He *et al.* 1995; Wada *et al.* 1988).



Gambar 2 Spektra FTIR fraksi kleinano  $kn_3$ .

Panjang gelombang pada kisaran 670–430  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan keberadaan alofan, sedangkan keberadaan imogolit ditunjukkan pada puncak serapan 500, 420, dan 350  $\text{cm}^{-1}$  (Abidin *et al.* 2007; Calabi-Floody *et al.* 2011; Wada *et al.* 1988). Berdasarkan spektra FTIR, maka hasil ekstraksi fraksi kleinano dari tuf gunung Salak pada penelitian ini terbukti mengandung material aluminosilikat nanokristalin alofan dan imogolit.

### Kebutuhan Fraksi Kleinano untuk Pengelolaan Perairan Eutrofik





Baku mutu fosfat untuk perairan kelas I atau II menurut PP No. 82 tahun 2001 adalah 0.2 mg P/L. Asumsi kadar fosfat perairan eutrofik yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada kategori terjadinya HAB (*harmful algal bloom*), yaitu 15 mg  $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$  atau 4.895 mg P/L (CEES 2015).

Perhitungan bobot fraksi kleinano yang dibutuhkan untuk menurunkan kadar fosfat perairan eutrofik yang diasumsikan 4.895 mg P/L hingga mencapai baku mutu 0.2 mg P/L ditentukan berdasarkan data uji jerapan fosfat melalui simulasi hubungan linier antara kadar fosfat terukur ( $C$ ; mg/L) sebagai sumbu Y dan bobot fraksi kleinano ( $m$ ; g) sebagai sumbu X. Simulasi dilakukan pada kondisi  $m = 0$  mg dan  $m = 9.525$  mg dengan seri penambahan fosfat 0 mg P/L. Larutan blanko merupakan kondisi  $m = 0$  mg. Nilai  $C$  dan  $m$  pada kondisi larutan blanko dihubungkan dengan nilai  $C$  dan  $m$  pada kondisi penambahan 5 ml atau 9.525 mg suspensi  $kn_3$  tanpa penambahan larutan fosfat (0 mg P/L), sehingga diperoleh persamaan linier  $C = 1.5101 m kn_3$ . Dengan cara yang sama untuk aplikasi 5 ml atau 14.491 mg suspensi  $kn_4$  diperoleh persamaan linier  $C = 1.2408 m kn_4$ .

Pada aplikasi  $kn_3$ , dengan memasukkan nilai  $C = 4.895$  mg/L diperoleh nilai  $m = 3.242$  g dan dengan memasukkan nilai  $C = 0.2$  mg P/L diperoleh nilai  $m = 0.132$  g. Dengan demikian, untuk menurunkan kadar fosfat perairan eutrofik dari 4.895 mg P/L ke 0.2 mg P/L diperlukan  $3.242 - 0.132 = 3.11 kn_3$  g/L. Pada aplikasi  $kn_4$ , dengan memasukkan nilai  $C = 4.894$  mg/L diperoleh nilai  $m = 3.944$  g dan dengan memasukkan nilai  $C = 0.2$  mg P/L diperoleh nilai  $m = 0.161$  g. Dengan cara yang sama, untuk menurunkan kadar fosfat perairan eutrofik dari 4.895 mg P/L ke 0.2 mg P/L diperlukan  $kn_4$  sejumlah 3.783 g/L.

## KESIMPULAN

Dari bahan tuf vulkan  $tv_3$  dan  $tv_4$  masing-masing dapat diekstraksi 2.82 mg fraksi kleinano  $kn_3/g tv_3$  dan 4.29 mg  $kn_4/g tv_4$ . Pada waktu ekulibrasi terefektif 48 jam, jerapan maksimum fraksi kleinano  $kn_3$  terhadap fosfat perairan (231.35 mg P/g) lebih tinggi daripada  $kn_4$  (132.43 mg P/g). Untuk menurunkan kadar fosfat perairan eutrofik dari 4.895 mg P/L menjadi 0.2 mg P/L sehingga sesuai baku mutu perairan kelas I atau II menurut PP No. 82 tahun 2001 diperlukan 3.11  $kn_3$  g/L atau 3.783 g  $kn_4/L$ . Pemanfaatan fraksi kleinano yang diekstraksi dari bahan tuf vulkan G. Salak, Indonesia sebagai adsorben alami pencemar fosfat perairan eutrofik prospektif untuk dikembangkan sebagai alternatif teknologi konservasi sumberdaya air berbasis alam.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin Z, N Matsue, T Henmi. 2005. Molecular orbital analysis on the dissolution of nanoball allophane under alkaline condition. *Clay Sci*, 12 (4): 213-222.
- Abidin Z, N Matsue, T Henmi. 2007. Nanometer-scale chemical modification of nanoball allophane. *Clays Clay Miner*, 55(4): 443-449.
- Anwar S, U Sudadi. 2013. *Kimia Tanah*. Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 207p.



- Carpenter SR, NF Caraco, DL Correle, RW Howarth, AN Sharpley, VH Smith. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecol. Appl*, 8 (3): 559-568.
- Calabi-Floody M, BKG Theng, P Preyes, ML Mora. 2009. Natural nanoclays: Applications and future trends – a Chilean perspective. *Clay Miner*, 44 (2): 161-176.
- Calabi-Floody M, JS Bendall, AA Jara, ME Welland, BKG Theng, C Rumpel, MdIL Mora. 2011. Nanoclays from an Andisol: Extraction, properties and carbon stabilization. *Geoderma*, 161: 159-167.
- [CEES] Center for Earth and Environmental Science. 2015. *Harmful Algal Bloom. Discovering the Science of the Environment*. Indianapolis: <https://cees.iupui.edu/algal-bloom> [3 Januari 2018].
- Ghoneim A, N Matsue, T Henmi. 2006. Effect of copper adsorption on some charge characteristics of nano-ball allophane. *Intern. J. Soil Sci*, 1 (3): 243-250.
- He H, TL Barr, J Klinowski. 1995. ESCA and solid-state NMR studies of allophane. *Clay Minerals*, 30, 201–209.
- Henmi T, K Wada. 1976. Morphology and composition of allophane. *Am. Mineralogist*, 61: 379-390.
- Kaufold SD, Z Abidin, T Henmi, N Matsue, L Eichinger, A Kaufold, R Jahn. 2010. Allophane compared with other sorbent minerals for the removal of fluoride from water with particular focus on a mineable Ecuadorian allophane. *Appl. Clay Sci*, 50 (1): 25-33.
- Leamy ML, DI Kinloch, RL Parfitt. 1990. *International Committee on Andisols: Final Report*. Technical Monograph No. 20. Soil Management Support Services, Washington DC.
- Padilla GN, N Matsue, T Henmi. 2002. Adsorption of sulfate and nitrate on nano-ball allophane. *Clay Sci*, 11: 575-584.
- Sudadi U, H Wijaya. 2012. Water-phosphorus sorption on nano-fraction extracted from volcanic tuff of Mt. Salak, West Java, Indonesia. Paper presented at the Regional Workshop on Water, Land, and Southeast Asia Food Sovereignty. Department of Soil Science and Land Resource, Faculty of Agriculture, Bogor Agricultural University in collaboration with Exceed, DAAD, and Federal Ministry for Economic Cooperation and Development, Germany. 18-19 September 2012. IPB International Convention Center, Bogor, Indonesia.
- Shukla EA, E Johan, ZA Abidin, T Henmi, N Matsue. 2013. A comparative study of arsenate and phosphate adsorption on nano-ball allophane. *Clay Sci*, 17: 83-91.
- Theng BKG, G Yuan. 2008. Nanoparticles in the soil environment. *Elements*. 4:295-399.
- Wada K. 1967. A structural scheme of soil allophane. *Am. Mineralogist*, 52: 690-708.
- Wada K, M Wilson, Y Kakuto, SI Wada. 1988. Synthesis and characterization of a hollow spherical form of monolayer aluminosilicate. *Clays Clay Miner*, 36: 11–18.
- Yuan G, L Wu. 2007. Allophane nanoclay for the removal of phosphorus in water and wastewater. *Sci. Tech. Adv. Material*, 8: 60-62.

