



Aplikasi kleinano dari tuf volkan Gunung Salak Indonesia sebagai adsorben alami kontaminan anionik: Fosfat perairan

Application of nanoclays from volcanic tuff of Salak Mountain, Indonesia as a natural adsorbent of anionic contaminants: Phosphate in water environment

Untung Sudadi^a, Rendy Anggriawan^b, Syaiful Anwar^a

^aDepartemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia

^bProgram Studi Magister Ilmu Tanah, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia

Article Info:

Received: 05 - 02 - 2018

Accepted: 23 - 12 - 2019

Keywords:

Adsorption maxima, equilibration time, isothermal adsorption, nanoclays extraction

Corresponding Author:

Untung Sudadi

Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor

Email:

untungsudadi@yahoo.com

Abstract: *Indonesia is rich with volcanic tuff-derived Andisols that contain variable charged minerals. This research was aimed at to extract nanoclays (diameter <200 nm) from volcanic tuffs, and to evaluate their potential as natural adsorbent of phosphate as contaminant in waters. Volcanic tuffs were taken from the 3rd (tv₃) and 4th (tv₄) layers of an Andisol profile at the foot slope of Salak Mountain Indonesia using dispersion-ultrasonication-centrifugation-dialysis separation procedure. By dispersing the materials in an acid condition (pH 4.0) followed with ultrasonication, it could be separated positively-charged nanoclays (nc₃ and nc₄) from the negative ones. The separated nanoclays were then purified using centrifugation and membrane dialysis techniques. Potential of the extracted nanoclays as natural phosphate adsorbent was evaluated by characterizing their adsorption maxima (b values) according to the Langmuir isothermal adsorption model. It could be extracted 2.82 mg nc₃/g tv₃ and 4.29 mg nc₄/g tv₄. The b values of nc₃ at 12, 24, and 48 hours equilibration time (76.48, 92.10, and 117.54 mg P/g nc₃) were higher than those of nc₄ (50.17, 59.52, and 71.99 mg P/g nc₄). The most effective equilibration-time was 48 hours. The extracted nanoclays were considered prospective as natural adsorbent for removal phosphate contaminant in waters.*

How to cite (CSE Style 8th Edition):

Sudadi U, Anggriawan R, Anwar S. 2019. Aplikasi kleinano dari tuf volkan Gunung Salak Indonesia sebagai adsorben alami kontaminan anionik: Fosfat perairan. JPSL 9(4): 1032-1040. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.9.4.1032-1040>.

PENDAHULUAN

Peningkatan kadar kontaminan anionik yang bersumber dari aktivitas pertanian, industri, dan domestik ke ekosistem perairan dapat menyebabkan degradasi kualitas air hingga terjadinya eutrofikasi (Carpenter *et al.* 1998). Fosfat merupakan anion kontaminan utama penyebab eutrofikasi. Pengendalian kontaminasi ekosistem perairan dan pengelolaan air bersih memerlukan teknologi yang efektif, efisien dan ramah lingkungan. Dalam proses pengelolaan air dan air limbah terkontaminasi fosfat, pemanfaatan material nano alami sebagai flokulan dinilai lebih efektif, murah dan ramah lingkungan daripada bahan kimia sintetik (Yuan dan 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 sangat prospektif untuk dilakukan. Tanah merupakan sumber potensial penyedia material nano alami (Theng dan Yuan 2008).

Fraksi klei tanah merujuk pada partikel dengan ukuran diameter kurang dari 2 *micrometer* (μm), sehingga di dalamnya juga terkandung partikel nano yang didefinisikan salah satu dimensinya berukuran kurang dari 100 nanometer (nm) (Calabi-Floody *et al.* 2009). Indonesia kaya akan Andisols, tanah berbahan induk tuf 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 per satuan massa, 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 kontaminan anionik perairan dan air limbah seperti fosfat, fluorat, dan arsenat (Kaufold *et al.* 2010; Shukla *et al.* 2013).

Penelitian ini bertujuan mengekstraksi fraksi berdiameter kurang dari 200 nm (fraksi kleinano) dari bahan tuf vulkan Indonesia, mengkarakterisasi kapasitas jerapannya terhadap fosfat, dan mengevaluasi potensinya sebagai adsorben alami kontaminan fosfat di lingkungan perairan.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

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

Metode Pengumpulan Data

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 dan 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-1 000 ml. Tahapan ini dilakukan 8 kali (menggunakan masing-masing 84.41 g BKU tv_3 dan tv_4) hingga diperoleh masing-masing sekitar 1 600 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 160 ml suspensi hasil flokulasi.

Hasil flokulasi diredispersi pada pH 4.0. Selanjutnya masing-masing 4 x 40 ml larutan teredispersi dimasukkan ke dalam 4 tabung sentrifus polietilen-50 ml. Volume larutan atau tinggi permukaan larutan dalam keempat tabung sentrifus disamakan dengan penambahan aquadest. Suspensi disentrifusi pada kecepatan 3 500 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 pada kedua ujungnya menggunakan benang, dan selanjutnya direndam dengan posisi melayang dalam aquadest di gelas piala-1 000 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 terekstrak. 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 percobaan 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 terekstrak per satuan BKM tuf vulkan tv_3 dan tv_4 .

Uji jerapan fosfat

Uji jerapan fosfat dilakukan menurut metode Isothermal Langmuir. Selanjutnya, ditambahkan 5 ml deret larutan fosfat dengan kadar 0, 2.5, 5, 10, 20, 40, 80, 160, 320, dan 640 mg P/L serta aquadest hingga bervolume total 50 mL ke dalam tabung polietilen-50 ml yang berisi 5 mL suspensi fraksi kleinano dan 5 mL 0.01 M CaCl_2 sebagai *background electrolyte*. Kemudian dikocok dengan waktu ekuilibrasi 12, 24, dan 48 jam. Pada jam ke- 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, dan 48, suspensi dikocok selama 30 menit. Kadar P kesetimbangan diukur secara kolorimetri menurut metode Muphy dan Riley (1962) menggunakan spektrofotometer pada λ 660 nm. Pereaksi pewarna P (100 ml) dibuat dari 50 ml 2.5 M H_2SO_4 , 15 ml 0.02 M ammonium molibdat, 30 ml 0.1 M asam askorbat, dan 5 ml 0.1 M antimoni kalium tartrat.

Analisis 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 kurva diperoleh nilai jerapan maksimum fosfat (nilai $b = 1/q$). Energi ikatan (nilai $1/kb = p$) dihitung berdasarkan nilai b yang diperoleh dan nilai intersep (perpotongan kurva dengan sumbu Y atau C/x/m atau p).

Analisis spektra FTIR

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

Metode Analisis Data

Persamaan kurva 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) dan energi ikatan (k) 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

Tanah yang berkembang dari abu vulkan di Jawa Barat bersifat masam (Andesitic-Tuffaceous Ash). Menurut Tan (1965), bahan induk tanah-tanah di Pulau Jawa dari arah timur ke barat berubah dari tipe basa ke masam. Mineral yang paling melimpah pada abu vulkan adalah gelas vulkan. Jenis-jenis gelas vulkan berkembang menjadi gelas vulkan berwarna (*colored volcanic glass*) termasuk tepra basaltik dan non-warna (*non-colored volcanic glass*) yaitu ryolitik, dasitik, dan tepra andesitik. Lebih lanjut, Van Ranst *et al.* (2002) melaporkan bahwa sifat fisiko kimia tanah Andisol dalam hal pH dan kadar Ca dapat ditukar, menurun dari arah Timur ke Barat Pulau Jawa, sedangkan Si, Al, dan Fe terekstrak amonium oksalat meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi iklim dan lingkungan pencucian yang semakin intensif ke arah Jawa Barat mendukung pembentukan dan perkembangan mineral-mineral aluminosilikat sehingga dari bahan tuf vulkan dari 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 kurang dari 200 nm yang antara lain mengandung mineral aluminosilikat alofan dan imogolite 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 64.537 g BKM tuf vulkan *tv3* dapat diekstraksi fraksi kleinano (berdiameter kurang dari 200 nm) *kn3* sejumlah 0.182 g BKM atau setara dengan 2.82 mg *kn3/g tv3*. Dari 61.455 g BKM tuf vulkan *tv4* dapat diekstraksi 0.264 g BKM *kn4* atau setara dengan 4.29 mg *kn4/g tv4*.

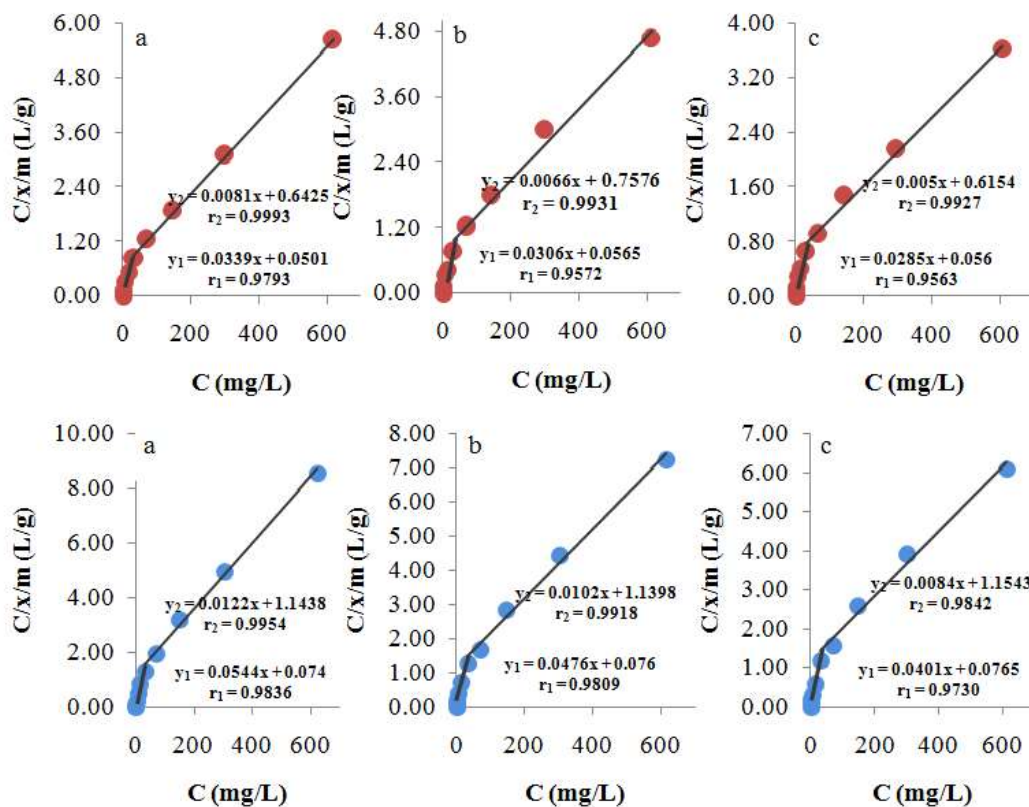
Tabel 1 Karakteristik dan hasil ekstraksi fraksi kleinanodari tuf vulkan Gunung Salak.

Lapisan	Kedalaman (cm)	pH NaF (1:5)	Tuf Vulkan (<i>tv</i>)			Kleinano (<i>kn</i>)	
			KA (%)	BKU (g)	BKM (g)	BKM (g)	mg <i>kn/g tv</i>
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 terekstrak lebih tinggi daripada kn_3 . Hal ini berkaitan dengan nilai pH NaF bahan dasar tuf vulkan. Sebagai fraksi yang mengandung mineral aluminosilikat, kleinano terekstrak memiliki terminal OH- pada setiap permukaan reaktif silanol (Si-OH), aluminol (Al-OH), dan ferolnya (Fe-OH). Ion F- dari NaF menggantikan ion OH- pada permukaan-permukaan reaktif tersebut untuk dilepaskan ke larutan, sehingga pH larutan yang terukur meningkat. Dengan demikian, nilai pH NaF yang terukur semakin tinggi menunjukkan semakin tinggi pula kadar fraksi kleinano (mengandung alofan dan imogolit) yang terbentuk pada bahan tuf vulkan, sehingga kleinano yang terekstrak dari tv_4 lebih banyak daripada tv_3 . Nilai pH NaF merupakan salah satu indikator untuk menentukan keberadaan alofan pada Andisol. Nilai pH lebih dari 9.4 dalam 1 M NaF merupakan indikasi adanya kompleks pertukaran yang didominasi oleh mineral aluminosilikat alofan (Leamy *et al.* 1990).

Karakteristik Jerapan Fosfat

Data hasil percobaan jerapan fosfat disimulasikan menurut persamaan linier Langmuir ($C/x/m = 1/kb + 1/b C$) seperti disajikan pada Gambar 1. Nilai b (jerapan maksimum) menunjukkan kapasitas fraksi kleinano untuk menyerap fosfat dan nilai k (energi ikatan) menunjukkan energi yang dibutuhkan 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 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 kontaminan 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 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 fraksi Kleinano yang dihasilkan (Tan 1965; Sudadi dan 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 .

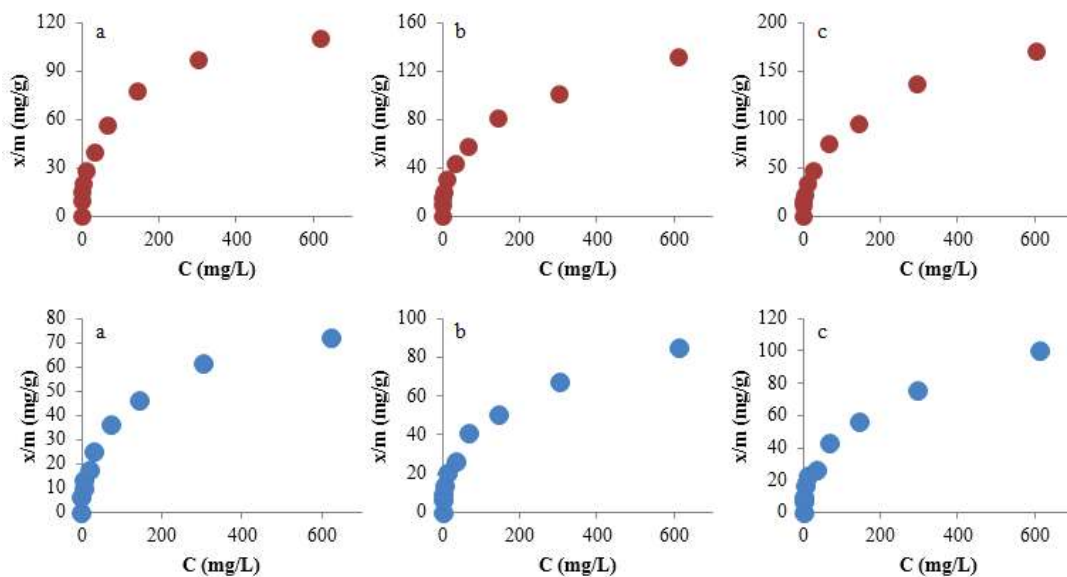
Tabel 2 menunjukkan bahwa berdasarkan hasil uji-t, jerapan maksimum fosfat dari kn_3 maupun kn_4 pada waktu ekuilibrasi 48 jam nyata lebih tinggi dari pada 12 dan 24 jam (Tabel 2). Dengan demikian, waktu ekuilibrasi terefektif untuk aplikasi fraksi Kleinano terekstrak dalam penjerapan fosfat adalah 48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

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

Kleinano	Jerapan maksimum (b)* (mg/g) pada waktu ekuilibrasi (jam)			Energi Ikatan (k) (L/g) pada waktu ekuilibrasi (jam)		
	12	24	48	12	24	48
	Kn_3	76.48 ^{a**}	92.10 ^{ab}	117.54 ^c	0.34 ^l	0.28 ^j
Kn_4	50.17 ^e	59.52 ^{fg}	71.99 ^h	0.37 ^q	0.32 ^p	0.27 ^o

* Nilai $b = (b_1 + b_2)/2$ pada persamaan linier Langmuir Gambar 1.

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



Gambar 2 Kurva hubungan antara fosfat terukur dan fosfat terjerap fraksi Kleinano kn_3 (atas) dan kn_4 (bawah) pada waktu ekuilibrasi 12 (a), 24 (b), dan 48 jam (c).

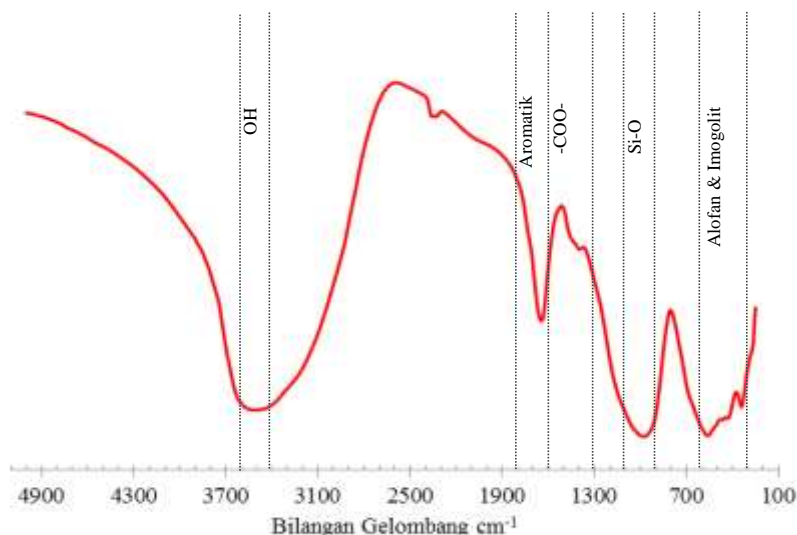
Yuan dan Wu (2007) menggunakan Kleinano alami untuk menjerap fosfat dalam air limbah dan memperoleh penurunan kadar fosfat dari 0.96 menjadi 0.55 mg P/L dalam waktu ekuilibrasi 24 jam dan dinyatakan lebih efektif dibandingkan penggunaan adsorben sintetik Phoslock. Hubungan antara fosfat terukur dan fosfat terjerap fraksi Kleinano pada masing-masing waktu ekuilibrasi disajikan pada Gambar 2. Waktu ekuilibrasi yang semakin lama memungkinkan reaksi jerapan berlangsung dengan lebih baik untuk mencapai kondisi kesetimbangan. Peningkatan waktu ekuilibrasi dari 12 ke 24 dan 48 jam dengan intensitas agitasi setiap 6 jam selama 30 menit meningkatkan peluang kontak antara Kleinano dengan ion fosfat, sehingga terjadi peningkatan jerapan. Semakin tinggi jerapan maksimum suatu bahan, maka semakin tinggi prospeknya untuk digunakan sebagai adsorben.

Jerapan isothermal Langmuir mendasarkan pada tiga asumsi, yaitu: 1) energi ikatan dianggap konstan pada seluruh permukaan jerapan, 2) jerapan terjadi pada tapak-tapak jerapan tertentu dan tidak terjadi interaksi antar molekul yang terjerap, 3) jerapan maksimum terjadi jika seluruh permukaan bahan penyerap telah jenuh (Bohn *et al.* 1979).

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. Pada permukaan reaktif adsorben terdapat beberapa tapak jerapan dengan daya ikatan berbeda. Tapak pertama merupakan bagian paling reaktif. Tapak kedua memiliki daya ikatan yang lebih lemah dari tapak pertama dan seterusnya sebagai akibat dari gerakan fasa padatan fosfat baru pada permukaan struktur penyerap (Anwar dan Sudadi 2013).

Spektra FTIR

Spektra FTIR sampel kleinano kn_3 (Gambar 3) berada pada area serapan 5 000 sampai dengan 200 cm^{-1} . Spektra pada panjang gelombang mendekati 3 432 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 1 600 sampai dengan 1 500 cm^{-1} .



Gambar 3 Spektra FTIR fraksi kleinano kn_3 .

Puncak serapan mendekati 1 390 cm^{-1} berkaitan dengan karboksilat sebagai *stretching-ions*. Panjang gelombang 1 090 sampai dengan 940 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). Panjang gelombang pada kisaran 670 sampai dengan 430 cm^{-1} menunjukkan keberadaan alofan, sedangkan keberadaan imogolit ditunjukkan pada puncak serapan 500, 420, dan 350 cm^{-1} (Abidin *et al.* 2007; Calabi-Floody *et al.* 2011; Wada *et al.* 1988). Alofan pada kleinano terekstraksi dari tuf gunung Salak menunjukkan puncak serapan pada 561 cm^{-1} , sedangkan imogolit pada puncak serapan 341 cm^{-1} . Berdasarkan spektra FTIR, hasil ekstraksi fraksi kleinano dari tuf gunung Salak pada penelitian ini terbukti mengandung material aluminosilikat nanokristalin alofan dan imogolit.

Kebutuhan Fraksi Kleinano untuk Pengelolaan Sumber Air Baku dari Perairan Eutrofik

Baku mutu fosfat perairan untuk kelas I atau II menurut PP No. 82 tahun 2001 adalah 0.2 mg P/L atau 0.613 mg PO₄³⁻/L. Asumsi kadar fosfat perairan eutrofik yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada kategori untuk terjadinya HAB (*Harmful Algal Bloom*), yaitu 15 mg PO₄³⁻/L atau 4.895 mg P/L (CEES 2015).

Perhitungan bobot fraksi kleinano yang dibutuhkan untuk menurunkan kadar fosfat sumber air baku dari perairan eutrofik yang diasumsikan 4.895 mg P/L hingga mencapai baku mutu 0.2 mg P/L ditentukan berdasarkan data percobaan 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 *kn₃* 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 *kn₄* diperoleh persamaan linier $C = 1.2408 m_{kn_4}$.

Pada aplikasi *kn₃*, dengan memasukkan nilai C = 4.895 mg/L diperoleh nilai m = 3.241 g dan dengan memasukkan nilai C = 0.2 mg/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 $3.241 - 0.132 = 3.109$ *kn₃* mg/L. Pada aplikasi *kn₄*, dengan memasukkan nilai C = 4.894 mg/L diperoleh nilai m = 3.945 g dan dengan memasukkan nilai C = 0.2 mg/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 *kn₄* sejumlah 3.784 mg/L.

SIMPULAN

Jerapan maksimum *kn₃* terhadap fosfat pada waktu ekuilibrase 12, 24, dan 48 jam (76.48, 92.10 dan 117.54 mg P/g) lebih tinggi daripada *kn₄* (50.17, 59.52, dan 71.99 mg P/g). Jerapan maksimum fosfat pada waktu ekuilibrase 48 jam nyata lebih tinggi dari pada 12 dan 24 jam. Waktu ekuilibrase terefektif adalah 48 jam. Untuk menurunkan kadar fosfat perairan eutrofik sebagai sumber air baku 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 3.109 *kn₃* mg/L atau 3.784 mg *kn₄*/L.

Hasil penelitian ini disarankan untuk diuji-cobakan terhadap kontaminan anionik yang lain seperti nitrat, sulfat, arsenat, fluorat, dan lain-lain dengan sumber kontaminan inorganik maupun organik.

DAFTAR PUSTAKA

- [CEES] Center for Earth and Environmental Science. 2015. *Harmful Algal Bloom*. Discovering the Science of the Environment. [diunduh 2018 Januari 3]. Tersedia pada: Indianapolis: <https://cees.iupui.edu/algae-bloom>.
- Abidin Z, Matsue N, Henmi T. 2005. Molecular orbital analysis on the dissolution of nano-ball allophane under alkaline condition. *Clay Sci.* 13:1-6.
- Abidin Z, Matsue N, Henmi T. 2007. Nanometer-scale chemical modification of nanoball allophane. *Clays Clay Miner.* 55:443-449.
- Anwar S, Sudadi U. 2013. *Kimia Tanah*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Bohn HL, McNeal BL, O'Connor GA. 1979. *Soil Chemistry*. New York: John Wiley and Sons.
- Calabi-floody M, Bendall JS, Jara AA, Welland ME, Theng BKG, Rumpel C, Mora ML. 2011. Nanoclays from an Andisol: Extraction, properties and carbon stabilization. *Geoderma.* 161:159-167.
- Calabi-floody M, Theng BKG, Preyes P, Mora ML. 2009. Natural nanoclays: applications and future trends – a Chilean perspective. *Clay Minerals.* 44:161-176.
- Carpenter SR, Caraco NF, Correle DL, Howarth RW, Sharpley AN, Smith VH. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications.* 8(3):559-568.

- Ghoneim A, Matsue N, Henmi T. 2006. Effect of copper adsorption on some charge characteristics of nano-ball allophane. *Intern J Soil Sci.* 1(3):243-250.
- He H, Barr TL, Klinowski J. 1995. ESCA and solid-state NMR studies of allophane. *Clay Minerals.* 30:201-209.
- Henmi T, Wada K. 1976. Morphology and composition of allophane. *American Mineralogist.* 61:379-390.
- Kaufold SD, Abidin Z, Henmi T, Matsue N, Eichinger L, Kaufold A, Jahn R. 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.* 50:25-33.
- Leamy ML, Kinloch DI, Parfitt RL. 1990. International Committee on Andisols: Final Report. Technical Monograph No. 20. Soil Management Support Services, Washington DC.
- Murphy J, Riley JP. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta.* 27:31-36.
- Padilla GN, Matsue N, Henmi T. 2002. Adsorption of sulfate and nitrate on nano-ball allophane. *Clay Sci.* 11:575-584.
- Shukla EA, Johan E, Abidin ZA, Henmi T, Matsue N. 2013. A comparative study of arsenate and phosphate adsorption on nano-ball allophane. *Clay Sci.* 17:83-91.
- Sudadi U, Wijaya H. 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.
- Tan KH. 1965. The andosol in Indonesia. *Soil Sci.* 375-378.
- Theng BKG, Yuan G. 2008. Nanoparticles in the soil environment. *Elements.* 4:295-399.
- Van Ranst E, Utami SR, Shamshuddin J. 2002. Andisols on volcanic ash from Java Island, Indonesia: Physico-chemical properties and classification. *Soil Sci.* 167(1):68-79.
- Wada K, Wilson M, Kakuto Y, Wada SI, 1988. Synthesis and characterization of a hollow spherical form of monolayer aluminosilicate. *Clays Clay Miner.* 36:11-18.
- Wada K. 1967. A structural scheme of soil allophane. *Amer Mineralogist.* 52:690-708.
- Yuan G, Wu L. 2007. Allophane nanoclay for the removal of phosphorus in water and wastewater. *Sci Tech Adv Material.* 8:60-62.