

Adsorpsi Logam Cr(VI) dan Cu(II) pada Tanah dan Pengaruh Penambahan Pupuk Organik

Aris Wijayanti^{1✉}, Eko Budi Susatyo¹, Cepi Kurniawan¹, dan Sukarjo²

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

²Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (Balangan) Jl. Raya Jakenan-Jaken Km 5 Kota Jaken Pati 59182

Info Artikel

Diterima Juli 2018

Disetujui September 2018

Dipublikasikan November 2018

Keywords:

adsorpsi
kromium
tembaga
langmuir
freundlich

Abstrak

Penyerapan ion logam Cu(II) dan Cr(VI) pada 3 jenis tanah yang berbeda yaitu jenis tanah Andisol yang berasal dari Magelang, tanah Inseptisol berasal dari Pati, dan jenis Tanah Grumosol berasal dari Demak. Masing-masing 2 g sampel tanah ditambah dengan aquades, CaCl₂ 0,01 M dan larutan logam Cu(II) dan Cr(VI) dari konsentrasi 20 ppm hingga 200 ppm. Isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich digunakan untuk menganalisis model isoterm adsorpsi yang sesuai. Data adsorpsi ion logam Cu(II) dan Cr(VI) pada ketiga jenis tanah lebih sesuai dengan model isoterm *Freundlich* dibandingkan dengan isoterm *Langmuir*. Dari ketiga jenis tanah tersebut persamaan *Freundlich* lebih sesuai untuk menggambarkan proses adsorpsinya, baik pada ion logam Cu(II) maupun Cr(VI). Persamaan isoterm *Freundlich* yang dihasilkan dapat digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi. Kapasitas adsorpsi tanah untuk ion logam Cu(II) dan Cr(VI) meningkat seiring dengan meningkatnya pH, kapasitas tukar kation dan jumlah fraksi liat dalam tanah. Kapasitas adsorpsi ion logam Cu(II) dan Cr(VI) tertinggi yaitu pada jenis tanah Grumosol kemudian Inseptisol dan terendah pada jenis tanah Andisol. Adsorpsi ion logam Cu(II) dan Cr(VI) pada tanah Andisol yang telah ditambahkan pupuk organik lebih mengikuti model persamaan *Langmuir*. Penambahan pupuk kandang dapat mempengaruhi kapasitas adsorpsi, dengan penambahan pupuk kandang kapasitas adsorpsi ion logam Cu(II) dan Cr(VI) pada tanah Andisol meningkat.

Abstract

absorption of heavy metal ion Cu (II) and Cr (VI) in 3 different soil types is Andisol soil derived from Magelang, Inseptisol from Pati, and Grumosol type is derived from Demak. Each 2 g of soil sample plus aquades, CaCl₂ 0.01 M and Cu (II) and Cr (VI) metal solutions from a concentration of 20 ppm to 200 ppm. *Langmuir* isotherms and *Freundlich* isotherms were used to analyze the corresponding adsorption isotherm model. The adsorption data of Cu (II) and Cr (VI) metal ions on the three soil types corresponded to the *Freundlich* isotherm model compared to the *Langmuir* isotherm. From the *Freundlich* isotherm equations generated can be used to calculate the adsorption capacity. The soil adsorption capacity for heavy metal ion Cu (II) and Cr (VI) increases with increasing pH, cation exchange capacity and the amount of clay fraction in soil. The adsorption of Cu (II) and Cr (VI) metal ions on Andisol soil which has been added organic fertilizer also follows the *Langmuir* equation model. The addition of manure can affect the adsorption capacity, with the addition of manure fertilizers of Cu (II) and Cr (VI) metal ions on Andisol soil increases.

© 2018 Universitas Negeri Semarang

Pendahuluan

Salah satu komponen penting dalam pertumbuhan tanaman adalah media untuk pertumbuhannya, yaitu tanah. Tanah bagi suatu tanaman merupakan suatu tempat kandungan senyawa-senyawa kimia yang diperlukan untuk proses pertumbuhannya. Tanah mengandung senyawa kimia sebagai hasil rangkaian reaksi kimia di alam yang sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor disekelilingnya, faktor-faktor tersebut akan sangat mempengaruhi kualitas kandungan senyawa di dalam tanah tersebut. Cr, Mn, Zn, Mo, Cu, Fe merupakan unsur hara mikro (mikronutrien), unsur yang dibutuhkan dalam jumlah kecil di dalam tanah atau tanaman yaitu $< 50 \text{ ppm}$ (Napitupulu, 2008). Jika unsur hara mikro terlalu banyak terdapat di dalam tanah maka bisa jadi tanah tersebut telah tercemar dan akan berakibat pada tanaman. Sumber pencemaran pada lahan pertanian dapat digolongkan ke dalam kegiatan non pertanian dan pertanian. Untuk kegiatan non pertanian termasuk industri, kegiatan penambangan serta rumah tangga.

Pencemaran umumnya berasal dari limbah industri, penambangan, rumah tangga. Sedangkan dari kegiatan pertanian berupa penggunaan pupuk, seperti pestisida. Sumber bahan yang mencemari dan terkontaminasi dalam tanah berasal dari: pestisida, pupuk anorganik, air limbah pabrik, sisa/limbah pertambangan, dan udara buangan industri termasuk debu dan emisi (Erfandi & Ishak, 2014).

Selain dipengaruhi oleh kapasitas tukar kation, bahan organik dan pH tanah, adsorpsi logam dalam tanah juga dipengaruhi oleh tekstur tanah. Keberadaan bahan organik dalam tanah selain dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber energinya, juga dapat bereaksi dengan logam berat membentuk senyawa kompleks (*organo metallic complex*) sehingga dapat mengurangi sifat racun logam berat. Pupuk organik mengandung bahan organik berupa senyawa organik kompleks yang disebut asam humat (Hayati, 2010). Dalam penelitian ini dilakukan analisis kapasitas adsorpsi tanah yang berasal dari Magelang, Demak, dan Pati terhadap ion logam Cu(II) dan Cr(VI), serta pengaruh penambahan bahan organik berupa pupuk kandang. Metode analisis yang akan digunakan adalah metode spektrofotometri serapan atom serta dengan pendekatan persamaan *Langmuir* dan *Freundlich*.

Metode

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah kertas saring whatman AE 20, spektrofotometer serapan atom AA 240 FS *Varian*, neraca Ohaus, pipet mikro 100 – 1000 μl merk *Nesco Dragon Lab*, pipet mikro 1000 – 5000 μl merk *Dragon Med*, shaker, vortex, dan bahan yang digunakan adalah pupuk kandang, tanah Andisol, Inseptisol, dan Grumosol, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan *grade pro analyst* buatan *Merck*, aquademin.

Metode yang digunakan adalah masing-masing sampel tanah yang telah dikeringkan dimasukkan kedalam botol kocok sebanyak 2 g dan ditambah aquades, CaCl_2 0,01 M dan larutan logam Cu(II) dan Cr(VI) dari konsentrasi 20, 40, 60, 80, 100, 125, 150, 175, dan 200 ppm kemudian diinkubasi selama 6 hari dan dikocok 2 kali sehari, masing-masing selama 30 menit pagi dan sore. Setelah inkubasi larutan disaring dan ekstrak jernih digunakan untuk pengukuran Cu dan Cr dengan menggunakan AAS. Jenis tanah yang digunakan untuk adsorpsi ion logam Cu(II) dan Cr(VI) dengan penambahan pupuk organik sama yaitu tanah Andisol, Inseptisol, dan Grumosol. Variasi Pupuk organik yang digunakan yaitu 0,5 dan 1 g. Pupuk organik yang digunakan berasal dari kotoran sapi, sampel tanah dan kotoran sapi yang telah diayak dicampur secara merata dengan perbandingan, sampel tanah : kotoran sapi yaitu 1,5 : 0,5 dan 1 : 1, selanjutnya metode yang dilakukan sama dengan adsorpsi ion logam Cu dan Cr pada tanah tanpa penambahan pupuk organik. Hasil pengukuran dari AAS kemudian dianalisis lebih lanjut berdasarkan rumus empiris dari persamaan *Langmuir* dan *Freundlich*.

Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian yang telah dilakukan pada bulan Januari 2017 pada tanah Magelang, Pati dan Demak di Laboratorium Terpadu Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (BALINGTAN) Pati, diperoleh hasil tentang kandungan pasir, debu, liat, pH, KTK dan C-organik dalam ketiga tanah tersebut. Metode yang dilakukan untuk analisis tekstur yaitu metode pipet, untuk pengukuran pH yaitu metode H_2O sedangkan untuk menentukan C-organik menggunakan *Walkey and Black*. Kandungan pasir, debu, liat, pH, C-organik dan kapasitas tukar kation disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji kandungan pasir, debu, liat (*clay*), nilai pH, C-organik dan kapasitas tukar kation

Sifat-sifat Tanah	Metode	Nilai		
		Andisol (Magelang)	Inseptisol (Pati)	Grumosol (Demak)
Tekstur	Pipet			
Pasir (%)		39	38	13
Debu (%)		58	40	30
Liat (%)		3	14	57
pH	H ₂ O	6.50	6.69	7.95
C-organik (%)	Walkey and Black	3.00	1.09	1.14
KTK(cmol/kg)	NH ₄ OAc 1 N pH 7	14.94	18.67	23.57

Sumber : Balai Penelitian Lingkungan Pertanian Pati, 2017.

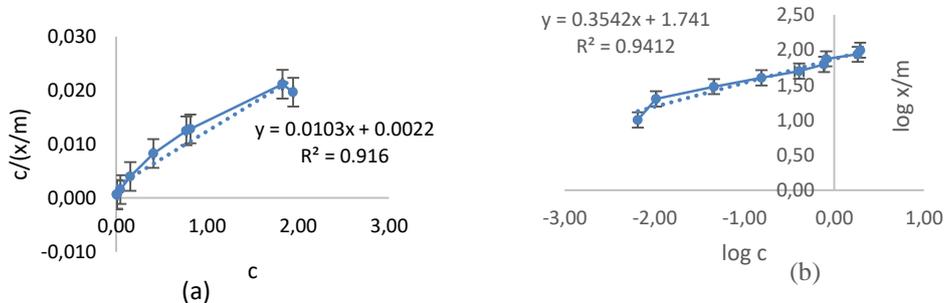
Proses penyerapan atau adsorpsi oleh suatu adsorben dipengaruhi banyak faktor dan juga memiliki pola isoterm adsorpsi tertentu yang spesifik. Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam proses adsorpsi antara lain yaitu jenis adsorben, jenis zat yang diserap, luas permukaan adsorben, konsentrasi zat yang diadsorpsi dan suhu. Oleh karena faktor-faktor tersebut maka setiap adsorben yang menyerap suatu zat satu dengan zat lain tidak akan mempunyai pola isoterm adsorpsi yang sama. Diketahui bahwa terdapat dua jenis persamaan pola isoterm adsorpsi yang sering digunakan pada proses adsorpsi dalam larutan yaitu persamaan adsorpsi *Langmuir* dan *Freundlich*.

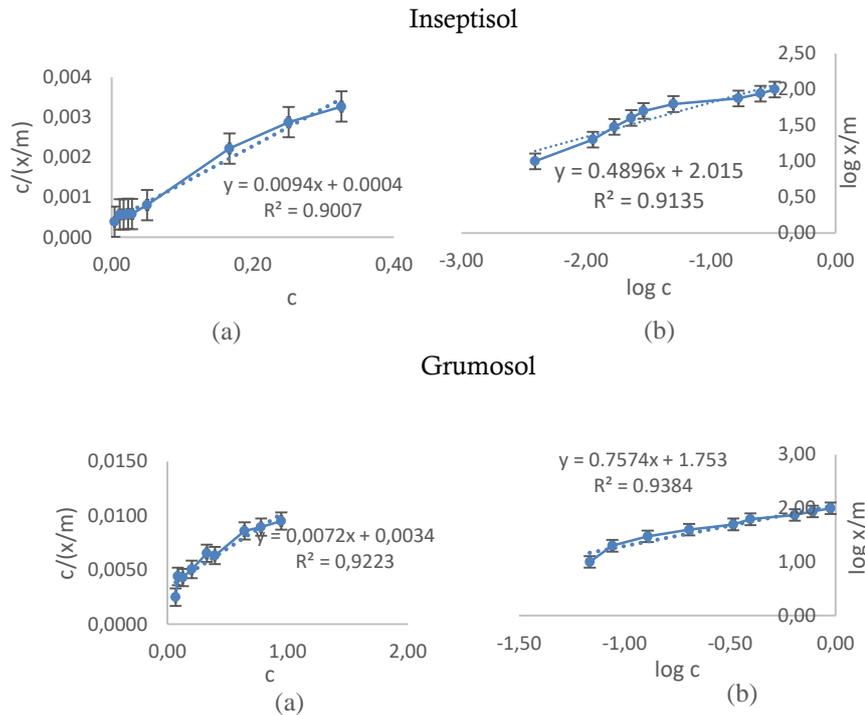
Tipe isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi. Adsorpsi fase padat-cair pada umumnya menganut tipe isoterm *Freundlich* dan *Langmuir*. Ikatan yang terjadi antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben dapat terjadi secara fisisorpsi kimisorpsi. Nilai *k* menunjukkan kapasitas dari adsorpsi ion logam Cu(II) dan Cr(VI) oleh tanah. Semakin besar nilai *k* pada persamaan *Langmuir* dan *Freundlich* menunjukkan kapasitas maksimum makin besar pula, untuk menentukan persamaan isoterm *Langmuir* dan *Freundlich* maka dihitung harga x/m , $c/(x/m)$, $\log x/m$ dan c , dari data tersebut maka dilakukan pemetaan grafik dengan memplotkan harga $c/(x/m)$ versus c untuk mendapatkan persamaan *Langmuir* dan memplotkan $\log (x/m)$ versus $\log c$ untuk mendapatkan persamaan *Freundlich*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persamaan isoterm adsorpsi *Langmuir* dan *Freundlich* pada proses penyerapan ion logam Cr(VI) dan Cu(II) oleh Tanah. Metode yang digunakan untuk mengukur proses adsorpsi adalah metode Spektroskopi Serapan Atom (AAS). Hasil pengukuran dari AAS kemudian dianalisis lebih lanjut berdasarkan rumus empiris dari persamaan *Langmuir* dan *Freundlich*.

Penentuan tipe isoterm adsorpsi ion logam Cu(II) dan Cr(VI) pada tanah Andisol, Inseptisol dan Grumosol dilakukan uji secara regresi linear sederhana dengan menggunakan persamaan *Langmuir* dan *Freundlich*. Untuk melihat persamaan isoterm yang sesuai untuk penelitian ini maka dapat dibuktikan melalui koefisien korelasi (R^2) yang ditunjukkan pada grafik linear masing-masing persamaan dimana nilai koefisien korelasi yang mendekati satu maka dapat dikatakan jenis isoterm adsorpsi mengikuti persamaan isoterm tersebut.

Andisol

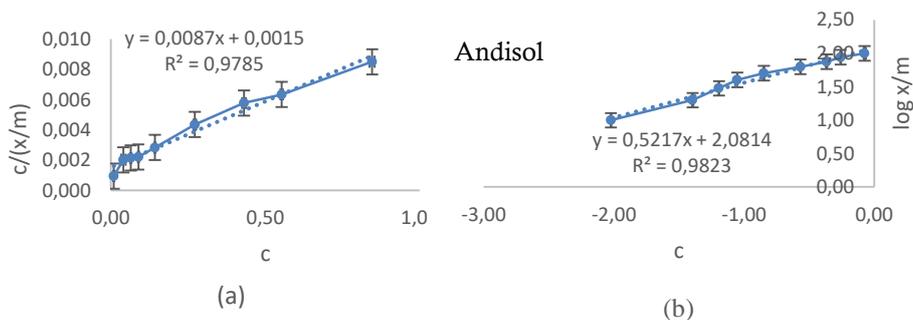


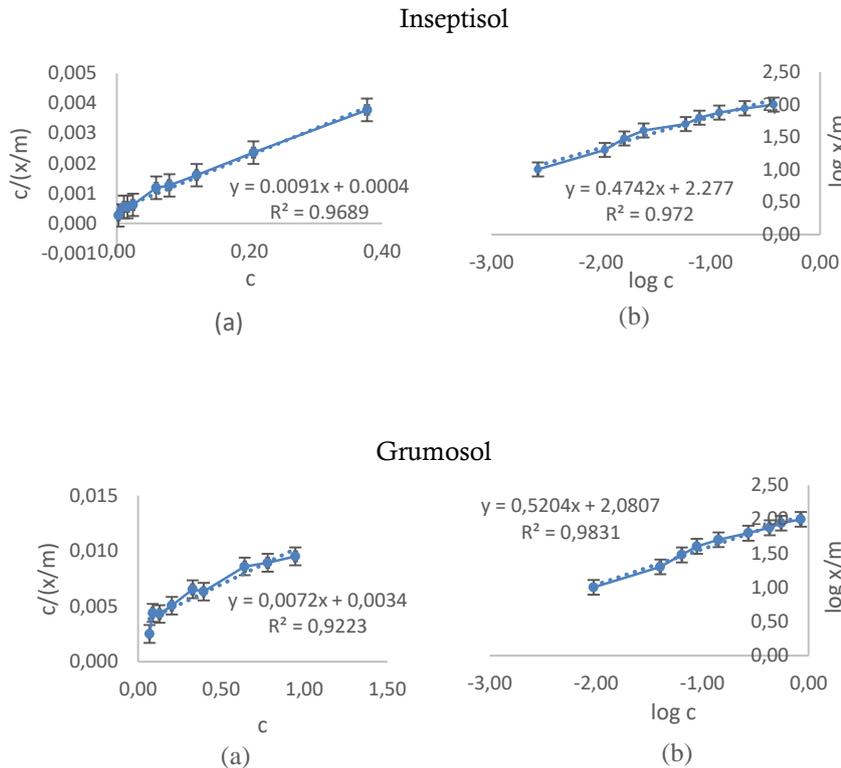


Gambar 1. Isoterm adsorpsi *Langmuir* dan *Freundlich* Cu(II) pada berbagai jenis tanah

Penentuan tipe isoterm adsorpsi ion logam Cu(II) pada tanah Andisol yang berasal dari Magelang dilakukan uji secara regresi sederhana dengan menggunakan persamaan *Langmuir* dan *Freundlich*. Untuk melihat persamaan isoterm yang sesuai untuk penelitian ini maka dapat dibuktikan melalui koefisien korelasi yang ditunjukkan pada grafik masing-masing persamaan dimana nilai koefisien korelasi yang mendekati satu maka dapat dikatakan jenis isoterm adsorpsi mengikuti persamaan isoterm *Freundlich*.

Jenis tanah Andisol yang memiliki tekstur lempung berdebu dengan kandungan liat sebesar 3,00%, dan kandungan C-organik sebesar 3,00% dengan nilai keasaman (pH) 6,50 menunjukkan bahwa tipe *Freundlich* memiliki nilai koefisien korelasi yang lebih tinggi, yaitu 0,941 dibandingkan dengan isoterm *Langmuir* yaitu 0,916. Adsorpsi ion logam Cu oleh tanah Magelang dianggap mengikuti tipe isoterm *Freundlich*. Tanah Inseptisol yang berasal dari Pati memiliki sifat fisik kimia tanah yaitu memiliki kandungan C-organik sebesar 1,09, nilai keasaman (pH) 6,69, kapasitas tukar kation 18,67 cmol/kg dengan tekstur lempung berliat memberikan nilai R^2 untuk isoterm *Langmuir* sebesar 0,9007 dan isoterm *Freundlich* sebesar 0,9135. Adsorpsi ion logam Cu(II) pada tanah Magelang mengikuti tipe isoterm *Freundlich*. Tanah Grumosol yang diambil dari daerah Magelang memiliki tekstur liat dengan kandungan 57%, dengan nilai keasaman 7,95 kapasitas tukar kation 23,57 dan C-organik 1,14 menunjukkan tipe isoterm adsorpsi *Freundlich* lebih baik. Hal ini menunjukkan bahwa persamaan *Freundlich* dapat diterapkan pada proses adsorpsi ion logam Cu(II) oleh tanah Andisol, Inseptisol, dan Grumosol. Kapasitas maksimum ion logam Cu(II) oleh tanah Andisol, Inseptisol dan Grumosol yang dihasilkan dari persamaan isoterm *Freundlich* adalah untuk tanah Andisol 55,080 mg/g, Inseptisol 103,514 mg/g dan 163,681 mg/g untuk tanah Grumosol





Gambar 2. Isoterm adsorpsi *Langmuir* dan *Freundlich* Cr(VI) pada berbagai jenis tanah

Pengujian persamaan adsorpsi *Langmuir* dan juga persamaan adsorpsi *Freundlich* dibuktikan dengan grafik linierisasi yang baik dan mempunyai harga koefisien determinasi $R^2 \geq 0,9$ (mendekati angka 1). Pengujian pola isoterm adsorpsi yang sesuai untuk proses penyerapan ion logam Cr(VI) dan Cu(II) oleh tanah Andisol, Inseptisol, dan Grumosol dilakukan dengan perhitungan menggunakan persamaan *Langmuir* dan *Freundlich*. Jika tipe isoterm yang sesuai adalah isoterm *Langmuir*, maka adsorpsi berlangsung secara kimisorpsi. Jika isoterm yang sesuai adalah isoterm *Freundlich* maka adsorpsi yang terjadi adalah fisisorpsi. Kedua adsorpsi untuk ion logam Cu(II) dan Cr(VI) oleh tanah Andisol, Inseptisol dan Grumosol menunjukkan linieritas yang lebih baik untuk isoterm *Freundlich*, sehingga tipe isoterm *Freundlich* lebih tepat digunakan untuk mencirikan mekanisme adsorpsi ion logam Cu(II) dan Cr(VI). Firmansyah (2015) menyatakan bahwa koefisien adsorpsi k secara kasar dapat digunakan sebagai indikator kapasitas adsorpsi dan $1/n$ adalah intensitas adsorpsi. Secara umum, semakin tinggi nilai k , semakin tinggi juga kapasitas adsorpsi. Sementara itu, nilai eksponen $1/n$ memberikan indikasi yang mendukung adsorpsi, nilai $n > 1$ merupakan adsorpsi yang disukai. Nilai kapasitas maksimum yang dihasilkan pada adsorpsi logam Cr(VI) tidak jauh berbeda yaitu 56,623 mg/g untuk tanah Andisol, 120,420 mg/g untuk tanah Inseptisol dan 189,234 mg/g untuk tanah Grumosol.

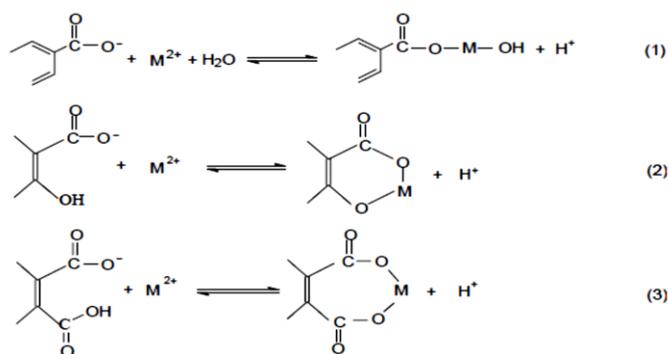
Nilai kapasitas maksimum tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan liat dalam tanah maka kapasitas adsorpsi terhadap ion logam Cu(II) dan Cr(VI) akan semakin tinggi pula. Tanah andisol memiliki kandungan liat terendah yaitu sebesar 3% sedangkan pada tanah Inseptisol memiliki kandungan liat sebesar 14%, dan untuk tanah Grumosol 57%. Hasil tersebut diperkuat dengan Penelitian yang dilakukan oleh Pratiwi (2012) yang menyatakan bahwa dalam fraksi tanah terdapat 2 fraksi besar yaitu fraksi organik dan fraksi mineral liat. Lapisan organik berasal dari pemupukan dan pelapukan dan bangkai bangkai makhluk hidup yang telah mati. Fraksi mineral liat terdiri atas silikat dan hidroksa-hidroksa logam. Permukaan tanah lempung atau liat (*clay*) dapat dianggap sebagai suatu media yang memiliki muatan negatif. Koloid tanah (mineral liat dan humus) bermuatan negatif sehingga dapat menyerap kation-kation ion logam, semakin banyak kandungan liat maka akan semakin banyak mengikat kation ion logam.

Penambahan bahan organik berupa pupuk kandang pada tanah Andisol juga mempengaruhi kapasitas adsorpsinya, variasi dosis pupuk yang digunakan sebanyak 0,5 dan 1 g dengan massa tanah

sebanyak 2 g, volume larutan 20 mL dan variasi konsentrasi ion logam Cu(II) dan Cr(VI) 50, 75, 100, 125, 150 dan 200 mg/L. Tanah Andisol yang berasal dari Magelang jika ditambahkan dengan pupuk organik menghasilkan nilai koefisien determinan lebih besar pada persamaan *Langmuir* dan memiliki nilai kapasitas adsorpsi lebih tinggi dibanding dengan tanah Andisol tanpa penambahan pupuk organik, hal tersebut dapat terjadi karena pada bahan organik dapat bereaksi dengan logam berat membentuk senyawa kompleks (*organo metallic complex*) sehingga dapat mengurangi sifat racun dari logam berat. Tanah Andisol dengan penambahan dosis pupuk organik sebanyak 0,5 g memiliki nilai kapasitas sebesar 66,600 mg/g untuk ion logam Cu(II) dan 76,923 untuk logam Cr(VI), sedangkan penambahan dosis pupuk sebanyak 1 g memiliki nilai kapasitas sebesar 76,923 mg/g untuk logam Cu(II) dan 83,300 mg/g untuk ion logam Cr(VI).

Tingginya akumulasi ion logam berat dalam tanah dengan penambahan bahan organik, menunjukkan bahwa pupuk kandang sebagai bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah secara positif dapat mencegah pergerakan ion logam berat bergerak masuk ke dalam sistem jaringan tanaman, dibandingkan dengan tanah tanpa bahan organik. Hal ini menunjukkan keberadaan bahan organik secara nyata mampu menghentikan serapan ion logam berat oleh tanaman. Sistem larutan organik dalam tanah secara baik dapat menahan laju pergerakan adsorpsi dan absorpsi ion logam ke jaringan akar tanaman, sehingga residu dalam tanah menjadi tinggi (Hayati, 2010).

Pupuk organik mengandung bahan organik berupa senyawa organik kompleks yang disebut asam humat (Hayati, 2010). Asam humat merupakan bahan makro molekul polielektrolit yang memiliki gugus fungsional seperti -COOH, -OH fenolat maupun -OH alkoholat, sehingga asam humat memiliki peluang untuk berikatan dengan ion logam karena gugus ini dapat mengalami deprotonasi. Deprotonasi gugus-gugus fungsional asam humat akan menurunkan kemampuan pembentukan ikatan hidrogen, baik antar molekul maupun sesama molekul dan meningkatkan jumlah muatan negatif gugus fungsional asam humat, sehingga akan meningkatkan gaya tolak menolak antar gugus dalam molekul asam humat. Pengaruh tersebut akan menyebabkan permukaan partikel-partikel koloid asam humat bermuatan negatif dan menjadi lebih terbuka. Asam humat merupakan makromolekul organik yang berperan dalam transport, bioavailabilitas, dan dapat mengikat beberapa logam berat (Setyowati & Ita, 2007).



Gambar 3. Model interaksi ion logam dengan asam humat (Schnitzr, 1986 dalam Rahmawati, 2011)

Menurut reaksi (1), salah satu gugus -COOH bereaksi dengan ion logam membentuk suatu garam anorganik atau kompleks monodentat. Persamaan reaksi (2) menggambarkan suatu reaksi dimana gugus -COOH dan satu gugus -OH bereaksi secara simultan dengan ion logam membentuk kompleks bidentat atau khelat. Pada persamaan reaksi (3) dua gugus -COOH terdekat bereaksi secara simultan dengan ion logam untuk membentuk khelat bidentat (Rahmawati, 2011).

Hayati (2010) juga menjelaskan bahwa penambahan pupuk organik dalam tanah walaupun menyebabkan semakin tingginya jerapan ion logam dalam tanah tetapi bahan organik tersebut berfungsi sebagai imobil, yaitu mencegah ion logam berat bergerak masuk ke dalam sistem jaringan tanaman, sedangkan pemberian pupuk anorganik ternyata dapat mempercepat pergerakan ion logam berat dari tanah ke jaringan akar, sebelum sampai ke jaringan daun tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan pupuk anorganik sama sekali tidak dapat menghalangi laju ion logam berat dari sistem larutan tanah ke jaringan tanaman, karena sifat pupuk anorganik yang tidak memiliki senyawa organik kompleks seperti yang dimiliki pupuk organik yaitu asam humat atau asam humat. Sistem pertukaran ion dalam kondisi kaya asam organik berlangsung sangat kompleks.

Simpulan

Penentuan kapasitas adsorpsi tanah Andisol, Inseptisol, dan Grumosol serta penambahan pupuk organik pada tanah andisol terhadap ion logam Cu(II) dan Cr(VI) lebih sesuai dengan persamaan isotherm adsorpsi *Freundlich* dibandingkan *Langmuir*, nilai R^2 untuk kurva *Freundlich* lebih mendekati 1. Persamaan yang dihasilkan dari kurva isotherm *Freundlich* digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi, Pada jenis tanah Andisol memiliki kapasitas adsorpsi paling rendah dibandingkan Inseptisol dan Grumosol, hal tersebut terjadi karena pengaruh sifat fisik dan kimia tanah dan penambahan dosis bahan organik berupa pupuk kandang sebanyak 0,5 g dan 1 g pada tanah Andisol, dapat mempengaruhi kapasitas adsorpsi maksimum tanah terhadap logam berat Cu(II) dan Cr(VI). Semakin banyak dosis pupuk yang ditambahkan maka akan meningkatkan kapasitas maksimum adsorpsinya.

Daftar Pustaka

- Erfindi, D. & I. Juarsah. 2014. *Teknologi Pengendalian Pencemaran Logam Berat pada Lahan Pertanian*. Balai Penelitian Tanah
- Hayati, E. 2010. Pengaruh Pupuk Organik dan Anorganik terhadap Kandungan Logam Berat dalam Tanah dan Jaringan Tanaman Selada. *Jurnal Florateks*, 6(2): 113-123
- Rahmawati, A. 2011. Pengaruh Derajat Keasaman terhadap Adsorpsi Logam Kadmium(II) dan Timbal(II) pada Asam Humat. *Jurnal Penelitian Sains dan Teknologi*, 12(1): 66-72
- Rakhmawaty, D., S. Wyantuti, D. Kurnia. 2001. Analisis Pengaruh Urea terhadap Kestabilan Kompleks Humat Besi pada Lahan Tanah. *Jurnal Bionatura*, 3(1): 1-9
- Napitupulu, M. 2008. Analisis Logam Berat Seng, Kadmium dan Tembaga pada Berbagai Tingkat Kemiringan Tanah Hutan Tanaman Industri *PT. Toba Pulp Lestari* dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom. *Tesis*. Sumatra: FMIPA Universitas Sumatra Utara
- Olaofe, O., S.A. Olagboye, P.S. Akanji, E.Y. Adamolugbe, O.T. Fowowe, A.A. Olonayi. 2015. Kinetic Studies of Adsorption of Heavy Metals on Clay. *International Journal of Chemistry*, 7(1): 48-54
- Setyowati, D. & I. Ulfin. 2007. Optimasi Kondisi Penyerapan Ion Aluminium oleh Asam Humat. *Jurnal Akta Kimindo*, 2(2): 85-92
- Pratiwi, H. 2012. Studi Bioavailabilitas Logam Berat (Cd Dan Pb) dalam Tanah dan Penyerapannya pada Sawi Hijau. *Skripsi*. Depok: Fakultas MIPA Universitas Indonesia