

Identifikasi Logam Berat dalam Biji Jagung Manis dan Kedelai pada Transisi Sistem Pertanian Organik

Identifications of Heavy Metalin Sweet Corn and Soybean Seeds on Transition Organic Agriculture System

Sapto Priyadi^{1*}, Soelistijono¹, Setie Harieni¹, Kusriani Prasetyowati²

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Tunas Pembangunan

²Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Tunas Pembangunan
Jl. Balekambang Lor No. 1 Surakarta 57139, Indonesia

*Email: priyadisapto@yahoo.co.id

Tanggal submisi: 3 Mei 2017; Tanggal penerimaan: 9 November 2018

ABSTRAK

Kontaminan logam berat pada lahan pertanian merupakan masalah lingkungan dan dapat mengurangi keamanan pangan, sehingga perlunya penelitian penurunan serapan Pb, Cd, dan Cu oleh tanaman menggunakan pengkhelat organik, yaitu substansi humus (asam humat dan asam fulvat) yang terdapat dalam pupuk kandang. Tujuan penelitian untuk mengetahui kontaminan Pb, Cd, dan Cu dalam biji jagung dan kedelai. Penelitian dilakukan dengan rancangan acak kelompok, di desa Gagaksipat, Ngemplak, Boyolali. Analisis logam berat pada pupuk kandang, lahan dan biji menggunakan *atomic absorption spectrophotometer-flame*. Faktor penelitian meliputi dosis pupuk kandang sapi dengan taraf aplikasi: 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, dan 50 kg per hektar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *enrichment coefficient* (EC) Pb dan Cu dalam biji jagung manis termasuk kategori *low accumulator plants*, sedangkan EC-Pb dalam biji kedelai termasuk kategori *low accumulator plants*, sedangkan EC-Cu dalam biji kedelai termasuk kategori *moderately accumulator plants*, dan EC-Cd pada biji jagung manis dan biji kedelai tidak terdeteksi. Kontaminan Pb dan Cd pada biji jagung manis maupun kedelai tidak terdeteksi, sedangkan Cu pada biji jagung manis dan kedelai masing-masing 2,03 dan 12,39 ppm. Kontaminan Pb, Cd, dan Cu pada lahan setelah jagung manis dipanen masing-masing 30,99 ppm; tidak terdeteksi dan 60,58 ppm. Sedangkan residu Pb, Cd, dan Cu pada lahan setelah kedelai dipanen masing-masing 33,24 ppm; tidak terdeteksi dan 56,26 ppm.

Kata kunci: Plumbum; kadmium; copper; pupuk kandang, kedelai

ABSTRACT

Heavy metal contaminants in land agriculture are environmental problems, and they affect food safety, so there is a need for the research of Pb, Cd and Cu decrease absorption by plants using organic chelating agent, i.e. substance of humus (humic and fulvic acid) in the manure. The research was done with a completely block design, in Gagaksipat, Ngemplak, Boyolali; heavy metal analysis in manure, land and seeds used an atomic absorption spectrophotometer-flame (AAS Jena Contr AA 300, Germany). It was aimed to identify contaminants of Pb, Cd, and Cu in sweet corn and soybean seeds. The research treatments were doses of cow manure: 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 and 50 kg per hectare. The results showed that the enrichment coefficient (EC) of Pb and Cu in sweet corn seeds had low accumulator plants categories; the EC of plumbum in soybean seeds had low accumulator plants categories, whereas the EC of copper soybean seeds had moderate accumulator plants categories; and the EC of cadmium in the sweet corn and soybeans seeds was undetectable. Exposures of Pb and Cd in corn sweet and

DOI: <http://doi.org/10.22146/agritech.24739>

ISSN 0216-0455 (Print), ISSN 2527-3825 (Online)

soybean seeds were undetectable, while exposures of Cu in sweet corn and soybean seeds were 2.03 and 12.39 ppm, respectively. Contamination of Pb, Cd and Cu exposures in land after sweet corn harvested were 30.99; undetectable and 60.58 ppm, respectively. While Pb, Cd and Cu residues in land after soybean harvested were 33.24; undetectable and 56.26 ppm, respectively.

Keywords: Plumbum; cadmium; copper; manure, soybean

PENDAHULUAN

Meningkatnya konsentrasi logam berat di seluruh dunia karena berbagai kegiatan manusia dan peristiwa alam, ekosistem telah dan sedang terkontaminasi logam berat. Kegiatan pertanian penggunaan pupuk, herbisida, insektisida dan fungisida memberikan kontribusi terhadap kontaminasi logam berat pada ekosistem. Kontaminasi logam berat pada lahan pertanian merupakan masalah lingkungan pada umumnya, dan dapat mengurangi keamanan pangan (Zheljazkov dkk., 2006). Pencemaran logam berat apabila tidak dikendalikan dapat menimbulkan dampak perubahan lingkungan biogeofisiknya, proses biogeokimia, perusakan habitat flora, penurunan produktivitas, yang pada gilirannya akan menimbulkan gangguan terhadap kesehatan masyarakat (Susiati dkk., 2008).

Kadar Pb, Cd dan Cu yang tinggi berimplikasi terhadap kesehatan. Plumbum menyebabkan defisiensi hemoglobin, disfungsi ginjal, neuropati dan anemia. Kadmium dapat meningkatkan kerapuhan tulang dan risiko fraktur, memotivasi demineralisasi tulang, anemia dan hipertensi, serta menyebabkan hiperplasia pada testis yang merupakan gejala kanker (Balía dkk., 2005). Efek keracunan Cu antara lain gangguan pada kelenjar pencernaan, sistem ginjal, dan kerapuhan tulang (Susiati, dkk., 2008).

Umumnya masuknya logam berat ke dalam tanah pertanian disebabkan oleh aplikasi pupuk fosfat (Drazic dan Mihailovic, 2005). Apabila pupuk tersebut digunakan secara terus menerus dengan dosis dan intensitas yang tinggi dapat meningkatkan Pb, Cd dan Cu yang tersedia dalam tanah, sehingga meningkatkan serapan Pb, Cd, dan Cu oleh tanaman (Charlena, 2004; Chiroma, dkk., 2007); diangkut melalui pembuluh xylem dan didistribusikan pembuluh phloem hingga mencapai biji dalam bentuk X-S-Cd (Mendoza-Co'zatl dkk., 2011).

Tindakan untuk menurunkan kadar logam berat dalam bahan pangan antara lain dengan metode khelasi menggunakan asam organik yang memiliki gugus fungsional karboksilat dan hidroksil (Priyadi dkk., 2014). Gugus-gugus fenolat dan karboksilat pada substansi humus (asam humat dan asam fulvat) diyakini sebagai adsorpsi logam berat yang paling aktif. Menurut Mema (2006) kandungan asam humat dan asam fulvat pada

pupuk kandang 1–3%, pada kompos 5–25%, sedangkan pada gambut atau lumut 5 – 20%. Kemampuan asam humat bereaksi dengan logam (Varrault dkk., 2000), dimana asam humat sebagai *chelating agent* logam dalam tanah. Terdapat dua kemungkinan yang terjadi pada ikatan logam – asam humat, yaitu: 1) ion logam membentuk kompleks logam-organik, dan 2) kompleks tersebut tidak larut, sehingga tidak tersedia bagi akar tanaman.

Menurut Tan (1998) gaya yang terbentuk dalam proses adsorpsi ion yaitu: gaya fisik (gaya van der Waals), ikatan hidrogen (jembatan dua atom yang elektronegatif), ikatan elektrostatik, dan ikatan koordinasi (ligan menyumbang pasangan elektron pada ion logam). Disosiasi ion H⁺ pada gugus fungsional karboksilat dan hidroksil terjadi selama proses dekomposisi (Prasetiyono 2013). Gugus fungsi negatif inilah yang kemudian mengikat gugus logam berat Pb yang bermuatan positif. Potensi substansi humus untuk membentuk kompleks dan *chelate* dengan logam berat dikarenakan substansi ini mengandung gugus fungsional seperti karboksilat (COOH), hidroksil (OH), dan karbonil (C=O). Herjuna (2011) menyatakan pH yang relatif tinggi akan meningkatkan konsentrasi –COO⁻ yang dapat berfungsi sebagai ligan. Umumnya gugus karboksilat –COOH terdisosiasi pada pH sekitar 4 – 5, sedangkan gugus hidroksil –OH fenolat atau –OH alkohol terdisosiasi pada pH sekitar 8 – 10. Menurut (Li dkk., 2010) menyatakan, gugus fungsional karboksilat –COOH yang terikat pada makro molekuler akan terurai akibat adanya perubahan pH dan membentuk muatan negatif, yang menyebabkan gugus fungsional tersebut akan bersifat pseudo-penukar ion menjadi aktif.

Menurut Pettit (2012), asam fulvat dan asam humat keduanya mempunyai gugus fungsional karboksilat (COOH) dan hidroksil (COH), pada asam fulvat kandungannya lebih banyak dan secara kimia lebih reaktif. Asam organik yang memiliki gugus fungsional –COOH, –OH phenolat maupun –OH alkoholit, mempunyai peluang untuk membentuk kompleks dengan ion logam. Khelasi logam berat menggunakan asam organik akan meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi pengkhelat (Priyadi dkk., 2013). Kołodyńska (2011) gugus asam karboksilat mampu melakukan koordinasi dengan ion logam melalui oksigen (–COO⁻).

Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan informasi ilmiah tentang keberadaan Pb, Cd, dan Cu dalam biji jagung manis dan biji kedelai serta residu logam berat dalam tanah yang menunjukkan peran substansi asam fulvat dan asam humat dalam pupuk kandang sebagai pengkhelat logam berat.

METODE PENELITIAN

Bahan dan alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan utama dan bahan kimia untuk analisis. Bahan utama berupa biji jagung manis dan biji kedelai yang diperoleh dari hasil penelitian teknik budidaya tanpa menggunakan agrokimia pada masa transisi menuju pertanian organik, pupuk kandang sapi, H_2SO_4 , HCl, NaOH, HNO_3 , $HClO_4$, dan larutan standar Pb, Cd, dan Cu. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: magnetic stirrer, erlenmeyer flaks, pH meter, oven, penangas listrik dan Atomic Absorption Spectrophotometer-flame (AAS Jena ContrAA 300, Jerman).

Metode Penelitian

Analisis kontaminan Pb, Cd dan Cu pada biji jagung manis dan biji kedelai yang diperoleh dari penelitian teknik budidaya tanpa menggunakan agrokimia pada masa transisi menuju pertanian organik. Setelah panen dilakukan analisis Pb, Cd dan Cu pada lahan penelitian, untuk mengetahui peran pupuk kandang dalam fungsinya sebagai *organic chelating agent* logam berat.

Persiapan pengujian

Sebelum dilakukan pengujian kontaminan Pb, Cd, dan Cu, sampel uji dilakukan destruksi basah dengan prosedur kerja sebagai berikut: a) sebanyak 5 gram bahan dimasukkan ke dalam erlenmeyer; b) tambahkan 40 mL asam sitrat – perklorat (2:1); c) erlenmeyer diletakkan di atas penangas listrik, suhunya diatur pada suhu rendah (100 °C); setelah larutan dalam erlenmeyer mulai mendidih (asap merah akan hilang); d) pemanasan dilanjutkan sampai air dan asam nitrat hilang; e) setelah reaksi antara sampel dengan asam perklorat sempurna (dapat diidentifikasi dengan hilangnya effervescent), gunakan pemanas yang tinggi (170 °C) sampai jernih dan timbul asap putih. Hindari pemanasan yang membuat sampel hingga mengering, karena akan terjadi letupan; f) turunkan erlenmeyer dari penangas listrik dan biarkan dingin; g) pindahkan sampel yang telah didigesti ke dalam labu takar 25 mL dan tambahkan aquades sampai batas tanda dan h) baca larutan dengan AAS-flame yang telah dikalibrasi

sebelumnya. Pengukuran konsentrasi Pb, Cd dan Cu: a) buat larutan baku Pb, Cd dan Cu (masing-masing 100 µg per mL), pipet 10 mL Pb, Cd atau Cu ke dalam labu ukur 100 mL dan tepatkan tanda tera; c) buat larutan kerja dengan mengencerkan larutan induk Pb, Cd atau Cu (masing-masing 100 µg per mL) hingga diperoleh kadar Pb, Cd, atau Cu 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6, dan 3,2 µg per mL; d) ukur masing-masing larutan kerja yang telah dipersiapkan dengan panjang gelombang untuk Pb = 217 nm, Cd = 228 nm dan Cu = 324 nm; e) buat kurva kalibrasi untuk mendapatkan garis regresi dan f) lanjutkan dengan pengukuran sampel uji yang sudah dipersiapkan. Perhitungan konsentrasi Pb, Cd, atau Cu, yaitu dengan formula sebagai berikut: $C = A \times (25mL/B)$, dimana A = konsentrasi yang didapat dari hasil pengukuran, B = berat sampel dalam gram dan C = konsentrasi Pb, Cd, atau Cu (Anonim (2005); Gonzales and Herrador, 2007).

Rancangan Percobaan

Penelitian ini disusun dalam rancangan acak kelompok lengkap. Faktor penelitian, meliputi pupuk kandang sapi yang berperan sebagai *auto chelating agent* logam berat dengan taraf aplikasi: 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, dan 50 kg/hektar.

Untuk mengetahui tingkat akumulasi logam berat pada jaringan tanaman, maka dihitung *enrichment coefficient* (Yong dkk., 2008 dan Kisis dkk., 2011), dengan Persamaan 1.

$$EC = \frac{\text{Kadar Pb atau Cd atau Cu jaringan tanaman}}{\text{Kadar Pb atau Cd atau Cu media tanam}}$$

Keterangan:

Jika nilai	EC antara > 1 – 10	: <i>high accumulator plants</i>
	EC antara > 0,1 – 1,0	: <i>moderately accumulator plants</i>
	EC antara > 0,01 – 0,1	: <i>low accumulator plants</i>
	EC < 0,01	: <i>non accumulator plan</i>

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kontaminan Logam Berat pada Jaringan Biji

Berdasarkan hasil analisis menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer – flame*) sebagaimana disajikan pada tabel 1 dan 2, diketahui bahwa logam berat Pb pada biji jagung manis dan biji kedelai untuk semua perlakuan tidak terdeteksi (batas deteksi 0,01 ppm), sedangkan Cu pada biji jagung manis rata-rata 2,025 ppm dan pada biji kedelai rata-rata 12,391 ppm. Perbedaan konsentrasi cemaran Pb dan Cu dalam kedua biji tersebut terkait dengan perbedaan energi ionisasi kedua unsur logam berat, semakin besar energi ionisasi suatu ion maka semakin sukar melepaskan elektron. Perbedaan energi ionisasi

tersebut untuk menjelaskan keberadaan polutan Pb dan Cu dalam larutan tanah, yaitu dalam bentuk ion (dapat diserap oleh akar tanaman) atau ion logam tersebut dalam bentuk terkelasi oleh gugus fungsional substansi humus (asam humat dan fulvat) yang terdapat dalam pupuk kandang, sehingga tidak dapat diserap oleh akar tanaman. Burke (2013) menyatakan, ketika logam netral menyerahkan elektron, maka ion logam bermuatan positif karena terjadi kelebihan proton positif dalam inti daripada elektron-elektron negatif di luar inti. Sebaliknya ketika non logam menerima elektron, maka terjadi kelebihan elektron negatif di luar inti daripada proton positif yang terdapat dalam inti. Sarosa (2010) atom logam melepaskan elektron, cara ini dilakukan oleh karena mempunyai energi ionisasi yang relatif kecil. Winter (2012), energi ionisasi Pb 715,6 sedangkan Cu 745,5 kJ/mol. Semakin besar energi ionisasinya, menyebabkan ion tersebut semakin sukar melepaskan elektron atau semakin besar daya tarik elektron.

Data pada Tabel 1 dan 2, diketahui rerata kontaminan Cu pada biji jagung manis 1,91 ppm, sedangkan pada biji kedelai 12,57 ppm, keadaan tersebut masih berada dalam batas aman untuk dikonsumsi. Dirjen Pengawasan Obat dan Makanan (POM) RI telah menetapkan batas maksimum cemaran logam berat Cu pada sayuran segar 50 ppm. Namun demikian, tembaga merupakan konstituen yang harus ada dalam makanan manusia dan dibutuhkan oleh tubuh (*acceptance daily intake* = 0,05 mg/kg berat badan). Pada kadar ini tidak terjadi akumulasi pada tubuh manusia normal (Astawan, 1995).

Keberadaan Cu dalam biji jagung manis dan biji kedelai, tidak bisa terlepas dari keberadaan Cu dalam larutan tanah sebagai media tanam. Kadar logam berat pada bagian jaringan tanaman, tergantung pada kandungan logam berat dalam tanah dan sumber

Tabel 1. Kontaminan logam berat pada biji jagung manis (ppm)

Pupuk kandang sapi*) (kg/ha)	Pb	Cd	Cu (ns)
15	nd	nd	2,71 ± 0,39
20	nd	nd	2,44 ± 0,28
25	nd	nd	2,21 ± 0,25
30	nd	nd	2,02 ± 0,39
35	nd	nd	1,79 ± 0,39
40	nd	nd	1,55 ± 0,19
45	nd	nd	1,41 ± 0,12
50	nd	nd	1,13 ± 0,39

Keterangan:

nd = tidak terdeteksi/di bawah batas deteksi alat, batas deteksi Pb dan Cd = 0,01 ppm

ns = antar perlakuan menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf 5%

*) = substansi humus (asam humat dan asam fulvat) setara 1 – 3% (Mema, 2006).

Tabel 2. Kontaminan logam berat pada biji kedelai (ppm)

Pupuk kandang sapi*) (kg/ha)	Pb	Cd	Cu (ns)
15	nd	nd	11,70 ± 0,50
20	nd	nd	12,59 ± 0,73
25	nd	nd	12,38 ± 1,08
30	nd	nd	12,55 ± 1,08
35	nd	nd	12,43 ± 0,26
40	nd	nd	12,87 ± 1,08
45	nd	nd	12,95 ± 1,08
50	nd	nd	13,12 ± 0,26

Keterangan:

nd = tidak terdeteksi (di bawah batas deteksi alat, batas deteksi Pb dan Cd = 0,01 ppm)

ns = antar perlakuan menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf 5%

*) = substansi humus (asam humat dan asam fulvat) setara 1 – 3% (Mema, 2006).

lain termasuk pupuk anorganik yang digunakan pada musim tanam sebelumnya. Berdasarkan hasil analisis menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer – flame*) sebagaimana disajikan pada Tabel 3, diketahui bahwa keadaan lahan sebelum ditanami terkontaminasi logam berat Pb dan Cu, sedangkan Cd tidak terdeteksi (batas deteksi Cd = 0,01 ppm).

Keberadaan kontaminan tersebut tidak dapat terlepas dari sejarah penggunaan lahan yang sebelumnya dikelola secara konvensional, yaitu dalam budidaya menggunakan agrokimia (pupuk anorganik dan pestisida kimia sintetik). Ansari dkk. (2009) menyatakan bahwa sumber utama cemaran logam berat pada bagian tanaman adalah media pertumbuhan yaitu sebagai larutan hara dalam tanah. Ullah (2007) menyatakan, sumber logam berat dalam tanah antara lain berasal dari agrokimia.

Berdasarkan hasil penelitian pada masa transisi pertanian konvensional ke sistem pertanian organik yang disajikan pada Tabel 4, diketahui bahwa *enrichment coefficient* Pb pada biji jagung manis dan kedelai termasuk dalam kategori *non accumulator plants*. *Enrichment coefficient* Cu pada biji jagung manis termasuk dalam kategori *low accumulator plants*, sedangkan pada biji kedelai termasuk dalam kategori

Tabel 3. Kontaminan logam berat (ppm) pada pupuk kandang dan tanah sebelum tanaman dibudidayakan

Keragaman	Pb	Cd	Cu
Pupuk kandang sapi	33,61 ± 6,15	nd	52,25 ± 0,75
Tanah	15,66 ± 2,70	nd	35,12 ± 0,98

Keterangan:

nd = tidak terdeteksi (di bawah batas deteksi alat, batas deteksi Cd = 0,01 ppm)

Tabel 4. *Enrichment coefficient* Pb, Cd, dan Cu pada biji jagung manis dan biji kedelai

Logam berat	Media tanam	Jaringan tanaman	<i>Enrichment coefficient</i>			
	(ppm) Tanah	(ppm) Pupuk kandang	Biji jagung manis	Biji kedelai	Jagung manis	Kedelai
Pb	15,66 ± 2,70	33,61 ± 6,15	nd	nd	0,0002	0,0002
Cd	nd	nd	nd	nd	-	-
Cu	35,12 ± 0,98	52,25 ± 0,75	1,89 ± 0,30	12,57 ± 0,76	0,0218	0,1439

Keterangan:

nd = tidak terdeteksi (di bawah batas deteksi alat, batas deteksi Cd = 0,01 ppm).

moderately accumulator plants. Keadaan tersebut menunjukkan bahwa biji jagung manis dan kedelai yang dihasilkan pada masa transisi pertanian konvensional ke sistem pertanian organik, aman untuk dikonsumsi berdasarkan batas maksimum yang direkomendasikan oleh FAO/WHO (2001), yaitu Cd 0,20 dan Pb 0,30 ppm. Menurut FAO/WHO, konsumsi Cd per minggu yang ditoleransikan bagi manusia adalah 7 mg/kg berat badan, sedangkan untuk Pb 50 mg/kg berat badan untuk dewasa dan 25 mg/kg berat badan untuk bayi dan anak-anak.

Enrichment coefficient suatu jaringan tanaman tergantung pada ketersediaan logam berat di dalam tanah bagi akar tanaman. Logam berat dalam bentuk ion Pb^{2+} , Cu^{2+} merupakan bentuk tersedia bagi akar tanaman, sehingga dapat masuk ke jaringan akar dan terdistribusi ke seluruh jaringan tanaman. Penyerapan logam berat yang terdapat dalam tanah oleh akar tanaman melalui: aliran massa, difusi dan intersepsi akar. Saat akar tanaman menyerap ion logam berat dalam bentuk kation (+), maka akar akan mengeluarkan kation H^+ dalam jumlah yang setara.

Enrichment coefficient menurut Yong dkk. (2008) dan Kistic dkk. (2011) = *bioaccumulation factors* menurut Oti (2015) = *transfer factor* menurut Jolly dkk. (2013) dan Duressa dan Leta (2015) menyatakan bahwa *Enrichment coefficient* atau *transfer factor* Cu buah tomat 0,096 (*low accumulator plants*); sedangkan pada buah terung dan umbi wortel masing-masing 0,127 dan 0,101 termasuk dalam kategori *moderately accumulator plants*. *Transfer factor* untuk Pb pada buah tomat 0,008 (*non accumulator plants*); sedangkan pada buah terung dan umbi wortel masing-masing 0,055 dan 0,048 termasuk dalam kategori *low accumulator plants* (Jolly dkk., 2013). Menurut Duressa dan Leta (2015), *transfer factor* Pb pada umbi bawang putih, bawang merah, buah cabai, dan tomat berturut-turut 0,027; 0,016; 0,030; dan 0,026 termasuk dalam kategori *low accumulator plants*. Menurut Oti (2015), *bioaccumulation factors* Pb dan Cd untuk buah tomat, cabai, dan daun

slada masing-masing 0,00 (*non accumulator plants*), sedangkan untuk Cu pada buah tomat, cabai, dan daun slada masing-masing 0,09; 0,06; dan 0,03 termasuk dalam kategori *low accumulator plants*.

Logam Berat Pada Lahan Setelah Panen

Berdasarkan hasil analisis menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer – flame*) sebagaimana disajikan pada Tabel 5, diketahui bahwa keadaan lahan setelah panen terkontaminasi logam berat Pb dan Cu, sedangkan Cd tidak terdeteksi (batas deteksi Cd = 0,01 ppm). Keberadaan kontaminan Pb dan Cu pada tanah tersebut diyakini mencerminkan peran pupuk kandang dalam hal ini substansi humus (asam humat dan asam fulvat) sebagai *chelating agent* logam berat, sehingga Pb dan Cu dalam tanah berupa kompleks stabil yang disebut ligan. Menurut Mema (2006), substansi humus (asam humat dan asam fulvat) pada pupuk kandang setara 1 – 3%.

Prasetiyono (2013), semakin tinggi asam humat dan asam fulvat akan menyebabkan semakin banyak logam berat yang terserap oleh substansi kompos. Asam humat 3,84% dan asam fulvat 6,45% dari kompos daun gamal pada dosis 5, 9 dan 13 gr per liter masing-masing

Tabel 5. Kontaminan logam berat pada tanah (ppm) setelah jagung manis dipanen

Pupuk kandang sapi*) kg/ha	Pb	Cd	Cu
15	28,49 ± 1,12 a	nd	66,62 ± 1,63 c
20	30,07 ± 5,32 b	nd	62,95 ± 0,57 bc
25	30,07 ± 2,65 b	nd	61,31 ± 1,50 bc
30	30,07 ± 0,00 b	nd	60,54 ± 1,97 bc
35	30,07 ± 0,00 b	nd	58,62 ± 1,97 b
40	30,07 ± 0,00 b	nd	57,38 ± 0,57 b
45	35,39 ± 0,00 c	nd	55,09 ± 0,57 a
50	36,39 ± 1,68 c	nd	52,85 ± 1,97 a

Keterangan:

nd = tidak terdeteksi (di bawah batas deteksi alat, batas deteksi Cd = 0,01 ppm)

*) = substansi humus (asam humat dan asam fulvat) setara 1 – 3 % (Mema, 2006).

dapat menurunkan konsentrasi Pb dalam media hingga 92,03; 96,94 dan 96,77 %. Sedangkan asam humat 1,55% dan asam fulvat 2,82% dari kompos daun api-api pada dosis 5, 9 dan 13 g per liter masing-masing dapat menurunkan konsentrasi Pb dalam media hingga 86,89; 86,89 dan 87,26%.

Menurut Miretzky dkk. (2006), mekanisme pengikatan ion logam oleh gugus fungsi dari komponen organik adalah karena adanya satu gugus karboksilat dan satu gugus hidroksil fenolik atau dua gugus karboksilat yang berdekatan bereaksi dengan ion logam. Jika suatu ion logam telah dikhelat maka akan terbentuk suatu kompleks stabil logam-pengkelat. Ullah (2007), ion logam dapat membentuk kompleks polydentate dengan melibatkan dua gugus karboksilat dan gugus hidroksil. Amer (2012) menyatakan, khelasi oleh sejumlah gugus karboksilat $-COOH$ asam sitrat dan ion logam dapat terjadi dengan memasuki sistem air yang mengarah ke spesies *mononuclear bidentate* atau *mononuclear tridentate*. Ligan bidentat, karena memiliki dua atom donor oksigen dari gugus karboksilat $-OOC^-$ yang memungkinkan mereka untuk mengikat ke pusat ion logam atau mengikat ion logam di dua titik. Ligan tridentat memiliki tiga atom donor yaitu dua oksigen dari gugus karboksilat $-OOC^-$ dan satu oksigen dari gugus hidroksil $-CO^-$ yang memungkinkan mereka untuk mengikat ke pusat ion logam atau mengikat ion logam di tiga titik.

KESIMPULAN

Pada masa transisi menuju sistem pertanian organik, kontaminan Pb pada biji jagung manis dan biji kedelai tidak terdeteksi (batas deteksi 0,01 ppm), sedangkan rata-rata Cu pada biji jagung manis dan pada biji kedelai secara berturut-turut 1,908 ppm dan 12,571 ppm. Keberadaan Pb dan Cu dalam biji jagung manis dan biji kedelai, tidak bisa terlepas dari keberadaan Pb dan Cu dalam larutan tanah sebagai media tanam, yang berasal dari residu penggunaan agrokimia pada sejarah penggunaan lahan sebelumnya dan berasal dari pupuk kandang sebagai *treatment research*. Kontaminan Pb dan Cu pada lahan setelah panen, mencerminkan peran pupuk kandang yaitu substansi humus (asam humat dan asam fulvat) sebagai *organic chelating agent* logam berat, sehingga Pb dan Cu dalam tanah dalam bentuk kompleks stabil yang disebut ligan dan tidak tersedia (tidak dapat diserap) oleh akar tanaman. Dalam rangka meningkatkan keamanan pangan dari aspek cemaran logam berat, dan mengacu pada hasil penelitian ini, maka perlunya penelitian lanjutan tentang: khelasi logam berat Cu pada biji jagung manis

dan biji kedelai menggunakan *chelating agent* asam humat dan asam fulvat *food grade* sebelum diproses lebih lanjut sebagai pangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat – Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi atas pendanaan yang diberikan kepada kami melalui selama Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi tahun anggaran 2016.

DAFTAR PUSTAKA

- Amer, S. (2012). As many scientist and engineer have discovered in recent years, the treatment of citrate-chelated metals may not be as complicated as some researchers original believed. www.pollutionengineering.com [Diunduh 28 Maret 2014].
- Anonim (2005). Official methode of analysis of the association of official analytical chemist. Association of Analytical Chemist 17th edition Washington, D.C.
- Ansari, A, R., Kazi A, T.G., Jamali A, M.K., Arain A, M.B., Wagan B, M.D., Nusrat Jalbani C, Afridi A, H.I. dan Abdul Qadir Shah A., A.Q. (2009). Variation in accumulation of heavy metals in different verities of sunflower seed oil with the aid of multivariate technique. *Food Chemistry* 115: 318–323.
- Balia, R.L., Harlia, E., Denny dan Suryanto (2007). Keamanan pangan hasil ternak ditinjau dari cemaran logam berat. Fakultas Peternakan Universitas Padjadjaran. blogs.unpad.ac.id/roostitabalia/wp-content/. [30 Januari 2010].
- Burke, R. A. (2013). Hazardous Materials Chemistry for Emergency Responders. 3th edition. CRC press Taylor and Francis Group, LLC. *Books.Google. co.id*. [diunduh 3 Mei 2014].
- Charlena (2004). Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) Pada Sayur-Sayuran. Falsafah Sain, Program Pascasarjana/S3/Institut Pertanian Bogor. <http://www.scribd.com/doc/>. [30 Januari 2010].
- Chiroma, T. M., Abdulkarim, B. I and Kefas, H. M. (2007). The impact of pesticide application on heavy metal (Cd, Pb and Cu) levels in spinach. Leonardo. *Electronic Journal of Practices and Technologies* 11: 117-122.
- Drazic, G. and Mihailovic, N. (2005). Modification of cadmium toxicity in soybean seedlings by salicylic acid. *Plant Science* 168: 511-517.
- Duressa, T.F. and Leta, S. (2015). Determination of levels of As, Cd, Cr, Hg and Pb in soils and some vegetables taken from river moja water irrigated farmland at Koka Village, Oromia State, East Ethiopia. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 21 (2): 352-372.

- Gonzales, A.G. and Horrador, M.A. (2007). A Practical guide to analytical method validation, including measurement uncertainty and accuracy profiles. *Trend in Analytical Chemistry* 26: 227-238.
- Hou, J., Lu, R., Sun, M., Baig, S.A., Tang, T., Cheng, L. and Xu, X. (2012). Effect of heavy metals on the stabilization of mercury (II) by DTCR in desulfurization solutions. *Journal of Hazardous Materials* 217-218: 224-230.
- Jolly, Y.N., Islam, A., and Akbar, S. (2013). Transfer of metals from soil to vegetables and possible health risk assessment. *Springer Plus*, 2:385.
- Kisic, I., Jurisic, A., Mesic, H. and Mesic, S. (2011). Heavy metals uptake by aerial biomass and grain of soybean. Dalam *Soybean - Biochemistry, Chemistry and Physiology*. InTech, www.intechopen.com/ books/ advances. 642p. [diunduh 11 September 2013].
- Kołodzyńska, D. (2011). Chelating agent of a new generation as an alternative to conventional chelators for heavy metal ions removal from different waste waters. Dalam Ning, R.Y., Expanding Issues in Desalination. InTech, www.intechopen.com/books/ advances. 412p. [diunduh 11 September 2013].
- Li, Q., Chai, L., Wang, Q., Yang, Z., Yan, H. dan Wang Y. (2010). Fast esterifikasi of spent grain for enhanced heavy metal ions adsorption. *Bioresource Technology*101: 3796-3799.
- Mema, V. "V". (2006). Identification of extraction methods for the production of humic acids from black liquor. Department of Process Engineering at the University of Stellenbosch. <https://scholar.sun.ac.za> [11 November 2015].
- Mendoza-Co'zatl, D.G., Jobe, T.O., Hauser, F. dan Schroeder, J.I. (2011). Long-distance transport, vacuolar sequestration, tolerance, and transcriptional responses induced by cadmium and arsenic. *Plant Biology* 14: 554-562.
- Miretzky, P., Saralegui, A. and Cirelli, A. F. (2006). Simultaneous heavy metal removal mechanism by dead macrophytes. *Chemosphere* 62: 247-254.
- Oti, W.O. (2015). Bioaccumulation factors and pollution indices of heavy metals in selected fruits and vegetables from a derelict mine and their associated health implications. *International Journal of Environment and Sustainability*, 4 (1): 15-23
- Pettit, R.E. (2012). Organic matter, humus, humate, humic acid, fulvic acid and humin: Their importance in soil fertility and plant health. Emeritus Associate Professor Texas A&M University, www.humates.com [22 April 2012].
- Prasetyono, E. (2013). Studi perbandingan kompos dari daun tumbuhan dengan C/N rasio berbeda terhadap adsorpsi logam berat timah hitam (Pb) pada media budidaya ikan. *Akuatik Jurnal Sumberdaya Perairan* 7 (2).
- Priyadi, S., Darmaji, P., Santoso, U., dan Hastuti, P. (2013). Khelasi plumbum (Pb) dan cadmium (Cd) menggunakan asam sitrat pada biji kedelai. *Jurnal Agritech* 33 (4).
- Priyadi, S., Darmaji, P., Santoso, U., dan Hastuti, P.(2014). Distribusi plumbum, cadmium pada biji kedelai dan deprotonasi gugus fungsional karboksil asam sitrat dalam khelasi. *Jurnal Agritech* 34 (4).
- Sarosa, W. J. (2010). Super kimia. Kawah Media Jakarta Selatan. Books.google.co.id. [diunduh 23 Maret 2014].
- Schnitzer, M., Khan, S.U. (1978). Soil Organic Matter. New York: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Susiati, H., S.B.S. Yarianto, Arman L.A. dan Menri, Y. (2008). Kandungan logam berat (Cu, Cr, Zn, dan Fe) pada terumbukarang di perairan Pulau Panjang, Jepara. *Jurnal Batan.go.id*. Pusat Pengembangan Energi Nuklir – BATAN [diunduh 2 Juli 2016].
- Ullah, S. (2007). *Chemically Enhanced Phytoextraction of Lead from Contaminated Soil*. Institute of Soil and Environment Sciences University of Agriculture, Faisalabad Pakistan.
- Varrault, G., Camel, V., and Bermond, A. (2000). Adsorption of trace metal ion onto humic acid, p. 587-588, in: Proceedings 10th International Meeting of the International-Humic Substances Society.
- Winter, M. (2012). WebElement: The periodic table on the web. The University of Sheffield England and WebElement Ltd, UK. Books.google.co.id. [diunduh 22 Mei 2014].
- Yong, Z., Bo-Han, L., Qing-Ru, Z., Min, Z., and Ming, L. (2008). Surfactant linear alkylbenzene sulfonate effect on soil Cd fractions and Cd distribution in soybean plant in pot experiment. *Pedosphere* 18 (2): 242-247.
- Zheljazkov,V.D., Craker, L.E dan Xing, B. (2006). Effects of Cd, Pb, and Cu on growth and essential oil contents in dill, peppermint, and basil. *Environmental and Experimental Botany* 58: 9 -16.