

**BIOAVAILABILITAS LOGAM Fe DAN Ca DALAM TANAH PERTANIAN SERTA
KANDUNGAN LOGAMNYA DALAM TANAMAN BAYAM
DENGAN PEMBERIAN PUPUK KANDANG SAPI**

I M. Siaka*, P. A. Rupadewi dan P. Suarya

*Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana
Jalan Kampus Unud-Jimbaran, Jimbaran-Bali, Indonesia*

**Email:made_siaka@unud.ac.id*

ABSTRAK

Penggunaan pupuk kandang sapi pada tanah pertanian dapat memperbaiki kondisi tanah tersebut, terutama meningkatkan kesuburannya. Disamping sebagai penyubur tanah, pupuk kandang tersebut dapat sebagai pengikat logam berat dan menurunkan bioavailabilitas logam berat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pupuk kandang terhadap bioavailabilitas Fe dan Ca serta kandungannya dalam tanaman bayam. Metode ekstraksi bertahap dan digesti basah digunakan untuk mengekstraksi logam tersebut dari tanah dan tanaman bayam. Instrumen AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) digunakan untuk mengukur konsentrasi logam yang terekstraksi tersebut. Pada penelitian ini, diperoleh bahwa pola penyebaran spesies logam Fe dan Ca sebelum penanaman dan saat panen sama. Logam Fe didominasi oleh spesies resistant sedangkan logam Ca didominasi oleh spesies *bioavailable*. Kandungan logam dalam tanaman bayam yang tanpa dan penambahan pupuk kandang sapi berturut turut $2.844,627 \pm 28,139$ mg/kg dan $2.469,281 \pm 16,779$ mg/kg untuk Fe sedangkan, $31.657,305 \pm 699,147$ mg/kg dan $41.515,559 \pm 754,808$ mg/kg untuk Ca. Penambahan pupuk kandang sapi pada tanah pertanian mampu meningkatkan kandungan logam Fe dan Ca dalam tanaman bayam, dan juga meningkatkan logam Fe dan Ca yang *bioavailable*.

Kata Kunci: bioavailabilitas, Ca, Fe, logam, pupuk kandang sapi

ABSTRACT

The use of cow manure on agricultural soil can improve the condition of the soil, especially increasing its fertility. Apart from being a soil fertilizer, manure can act as a heavy metals binder and reduce their bioavailabilities. This study aimed to determine the effect of manure on the bioavailability of Fe and Ca and their contents in spinach plants. The sequential extraction and wet digestion methods were used to extract the metals from the soil and spinach plants. An AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) instrument was applied to measure the concentration of the extracted metals. In this study, it was found that the distribution patterns of Fe and Ca metals species before planting and at harvesting were the same. Fe metal was dominated by resistant species, while Ca metal was dominated by *bioavailable* species. The content of those metals in spinach plants without and the addition of cow manure were $2,844.627 \pm 28.139$ mg/kg and $2,469.281 \pm 16.779$ mg/kg for Fe while, $31,657.305 \pm 699.147$ mg/kg and $41,515.559 \pm 754.808$ mg/kg for Ca, respectively. The addition of cow manure to the agricultural soils could increase the contents of Fe and Ca metals in spinach plants, and also increased the *bioavailable* of those metals

Keywords: bioavailability, Ca, cow manure, Fe, metals

PENDAHULUAN

Pupuk anorganik dalam budidaya tanaman dianggap hal yang wajib diberikan oleh para petani. Bahkan tidak jarang petani memberikan pupuk anorganik dalam jumlah

yang melebihi dosis anjuran karena menganggap dengan begitu hasil panen akan semakin tinggi. Kenyataannya justru berbeda, karena semakin banyak input anorganik yang diberikan pada tanah akan menyebabkan kesuburan tanah akan semakin berkurang. Hal ini terjadi karena bahan

anorganik yang diberikan berlebih dan dalam kurun waktu yang lama akan menyebabkan tanah menjadi asam, padat dan aktivitas mikroorganisme tanah menurun. Semakin lama pemberian pupuk anorganik, semakin menurun kesuburan tanah bahkan kurang efektif sehingga akibatnya tidak meningkatkan produksi. Untuk dapat mengatasi dampak negatif dari penggunaan pupuk anorganik tersebut dapat digantikan dengan bahan organik pada tanah. Salah satu sumber bahan organik yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik yaitu pupuk kandang seperti kotoran sapi (Andayani, 2013).

Penggunaan pupuk kandang kotoran sapi pada tanah yang ditanami sayur-sayuran seperti tanaman bayam dapat menggantikan penggunaan pupuk anorganik. Akan tetapi, belum diketahui pengaruh penggunaan pupuk tersebut terhadap kandungan nutrisi yang terkandung dalam bayam setelah di panen. Tanaman bayam (*Amaranthus sp.*) merupakan salah satu sayuran yang dibutuhkan tubuh dalam menunjang pola hidup sehat. Bayam mempunyai banyak kandungan zat gizi alami dan kaya akan vitamin, mineral, dan antioksidan. Bayam termasuk salah satu jenis sayuran yang mengandung kalsium dan zat besi yang paling tinggi dibandingkan dengan sayuran lain seperti, kacang panjang, kemangi, sawi, kangkung dll. Kadar kalsium dan zat besi dalam tiap 100 gram bayam hijau adalah 81 mg dan 3,0 mg (Purwono dan Purnawati, 2007). Untuk mengetahui pengaruh penambahan pupuk kandang dalam tanah terhadap kandungan unsur hara seperti Fe dan Ca yang terdapat dalam tanaman bayam, maka perlu diketahui sifat bioavailabilitas kedua logam tersebut dalam tanah.

Bioavailabilitas adalah ketersediaan suatu zat atau senyawa yang diserap oleh organisme hidup sehingga dapat menyebabkan terjadinya respon fisiologis maupun toksikologi yang merugikan. Oleh karena logam dapat berinteraksi dengan makhluk hidup di lingkungan, maka bioavailabilitas logam dapat diartikan sebagai ketersediaan logam atau senyawa logam yang diserap oleh makhluk hidup dari lingkungan. Bioavailabilitas logam tidak sama dengan konsentrasi atau akumulasi logam total. Bioavailabilitas logam terhadap makhluk hidup sangat bergantung pada kondisi lingkungan dan variasi logam yang tersedia. Bioavailabilitas logam juga berhubungan

dengan jumlah logam yang dapat terserap oleh makhluk hidup. Tingginya kandungan logam dalam tanah dapat menyebabkan makhluk hidup di sekitarnya terutama tanaman tercemar logam terutama logam berat (Widaningrum *et al.*, 2007). Perpindahan logam dari tanah ke dalam tanaman dipengaruhi oleh mobilitas logam tersebut. Mobilitas logam semakin tinggi pada tanah dengan pH yang semakin asam. Dengan demikian, mobilitas berpengaruh juga terhadap tingkat bioavailabilitasnya. Semakin meningkat bioavailabilitas logam seperti logam berat dalam tanah, semakin besar akumulasi logam tersebut dalam tanaman yang tumbuh pada tanah tersebut (Kachenko dan Singh, 2007). Tingkat bioavailabilitas logam berat dapat diturunkan dengan aplikasi asam humat atau asam fulvat yang umumnya terkandung dalam pupuk organik.

Pupuk kandang, salah satunya adalah pupuk kandang kotoran sapi adalah salah satu pupuk organik dengan kandungan asam humat dan fulvat. Dengan demikian, pupuk kandang dapat menurunkan bioavailabilitas logam berat. Pupuk kandang kotoran sapi memiliki kandungan asam humat 3,42%, sehingga berdasarkan penelitian tersebut penambahan pupuk kandang kotoran sapi pada tanah memungkinkan untuk mengurangi ketersediaan logam berat pada tanah terhadap tanaman (Mowidu, 2015).

Berdasarkan uraian di atas, perlu dilakukan penelitian terhadap pengaruh penambahan pupuk kandang kotoran sapi pada tanah tempat tumbuh sayur bayam terhadap kandungan Fe dan Ca, serta bioavailabilitasnya pada tanah tempat tumbuhnya sayur bayam. Hal ini dilakukan dengan cara membuat model penelitian pertanian pada plastik polybag sebagai tempat tumbuh bayam yang diberi perlakuan penambahan dan tanpa penambahan pupuk kandang kotoran sapi pada tanah yang ditanami bayam, sehingga dapat diketahui pengaruh penambahan pupuk kandang kotoran sapi terhadap bioavailabilitas Fe dan Ca dalam tanah pertanian dan akumulasi logam total pada sayur bayam yang ditanam pada tanah tersebut.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel tanah pertanian, pupuk kandang kotoran sapi, sampel tanaman bayam, HNO_3 , $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, HCl , $\text{CH}_3\text{COONH}_4$,

CH₃COOH, NH₂OH.HCl, H₂O₂ kertas saring dan aquades.

Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca analitik, botol polietilen, sendok polietilen, labu ukur, tabung ekstraksi, gelas beaker, labu ukur, tabung ekstraksi, pipet volume, pipet mikro, labu Erlenmeyer, kaca arloji, thermometer, pH meter, corong, botol semprot, pipet tetes, mortar, ultrasonic bath, pemanas (*hotplate*), *shaker* (penggojog), oven, blender, ayakan polietilen 63 µm, sentrifuse, AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) Shimadzu AA-7000.

Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Penelitian Kimia Universitas Udayana dan Laboratorium Bersama Fakultas MIPA Universitas Udayana.

Cara Kerja

Preparasi Sampel

Sampel tanah dipisahkan dari batu-batuannya yang agak besar kemudian di oven pada suhu 60°C sampai massa sampel konstan. Setelah itu digerus dengan mortar hingga halus, lalu diayak dengan ayakan 63 µm. Sampel tanah ditempatkan pada botol polietilen untuk analisis lebih lanjut (Siaka, 2016).

Sampel tanaman bayam dipisahkan bagian akar, batang dan daunnya kemudian dicuci dengan aquades kemudian dipotong kecil-kecil. Selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C sampai massa sampel konstan. Sampel kering dihancurkan dengan blender hingga halus, selanjutnya diayak dengan ayakan 63 µm. Sampel halus dimasukkan ke dalam kantong plastik polietilen untuk dilakukan analisis lebih lanjut (Siaka, 2016).

Penentuan Konsentrasi Logam Total Fe dan Ca pada Tanaman Bayam

Sebanyak 0,5 gram sampel serbuk tanaman bayam ditimbang lalu dimasukkan ke tabung digesti, kemudian ditambahkan 5 mL larutan HNO₃ pekat. Blanko dibuat dengan cara yang sama tanpa penambahan sampel. Sampel dan blanko dipanaskan pada *hotplate* selama 2 jam dengan suhu 80 – 90°C dan suhunya dinaikkan menjadi 150°C sampai mendidih. Selanjutnya dengan hati-hati ditambahkan HNO₃ pekat dan H₂O₂ 30% masing-masing sebanyak 3-5 mL lalu digesti dilanjutkan hingga

diperoleh larutan jernih. Larutan hasil digesti didiamkan hingga dingin, kemudian masing-masing larutan disaring dan filtratnya ditampung dalam labu ukur 25 mL. Filtrat diencerkan dengan aquades hingga tanda batas. Larutan ini diukur dengan AAS pada panjang gelombang 422,7 nm untuk logam Ca dan panjang gelombang 248,3 nm untuk logam Fe.

Ekstraksi Bertahap

a. Ekstraksi Fraksi 1

Sampel tanah ditimbang teliti 1 gram kemudian ditambahkan 40 mL CH₃COOH 0,1M. Larutan digojog selama 2 jam selanjutnya disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 10 menit. Sentrifugat didekantasi dan dimasukkan ke labu ukur 50 mL, kemudian diencerkan sampai tanda batas dengan HNO₃ 0,01 M. Larutan ini diukur dengan AAS pada panjang gelombang 422,7 nm untuk logam Ca dan panjang gelombang 248,3 nm untuk logam Fe Residu yang didapat digunakan untuk ekstraksi tahap selanjutnya.

b. Ekstraksi Fraksi 2

Residu yang didapat pada fraksi I ditambahkan 40 mL NH₂OH.HCl 0,1 M, kemudian ditambahkan HNO₃ sampai pH larutan 2. Campuran larutan digojog selama 2 jam selanjutnya disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 10 menit. Filtrat didekantasi dan dimasukkan ke labu ukur 50 mL, kemudian diencerkan sampai tanda batas dengan HNO₃ 0,01 M. Larutan ini diukur dengan AAS pada panjang gelombang 422,7 nm untuk logam Ca dan panjang gelombang 248,3 nm untuk logam Fe Residu yang didapat digunakan untuk ekstraksi tahap selanjutnya.

c. Ekstraksi Fraksi 3

Residu fraksi II ditambahkan 10 mL larutan H₂O₂ 8,8 M kemudian campuran ditutup dengan kaca arloji. Campuran didiamkan selama 1 jam pada suhu ruang dan sesekali dikocok. Campuran selanjutnya dipanaskan pada suhu 85°C selama 1 jam, lalu ditambahkan 10 mL larutan H₂O₂ 8,8 M dan dipanaskan kembali. Campuran kemudian didinginkan pada suhu ruang dan setelah dingin ditambahkan 20 mL CH₃COONH₄ 1M. Larutan ditambahkan HNO₃ sampai pH larutan 2. Campuran tersebut digojog selama 2 jam selanjutnya disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 10 menit. Sentrifugat kemudian didekantasi dan dimasukkan ke labu ukur 50 mL. Setelah itu

diencerkan sampai tanda batas dengan HNO₃ 0,01 M. Larutan ini diukur dengan AAS pada panjang gelombang 422,7 nm untuk logam Ca dan panjang gelombang 248,3 nm untuk logam Fe. Residu yang didapat digunakan untuk ekstraksi tahap selanjutnya.

d. Ekstraksi Fraksi 4

Residu fraksi III dicuci dengan 10 mL aquades dan ditambahkan 10 mL *reverse aquaregia*. Campuran didigesti pada suhu 60°C selama 45 menit dan dipanaskan pada suhu 140°C selama 45 menit (Siaka *et al.*, 1998). Campuran selanjutnya disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 10 menit. Sentrifugat didekantasi dan dimasukkan ke labu ukur 50 mL. Setelah itu diencerkan sampai tanda batas dengan aquades. Larutan ini diukur dengan AAS pada panjang gelombang 422,7 nm untuk logam Ca dan panjang gelombang 248,3 nm untuk logam Fe.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Fe dan Ca Total dalam Sampel Tanah

Konsentrasi Fe dan Ca total yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Konsentrasi Logam Fe Total dalam Sampel Tanah

Perlakuan	Konsentrasi Fe (mg/kg)	
	A	B
T0	30.673,49 ± 9,042	30.789,04 ± 38,129
T1	23.749,87 ± 142,701	23.794,82 ± 86,969
T2	28.113,91 ± 97,519	28.007,74 ± 117,744
T3	27.315,49 ± 124,950	27.168,64 ± 344,042
PUPUK	498,662 ± 9,235	

Keterangan :

A = Sebelum Penanaman Bayam

B = Setelah Panen Bayam

T0 = Tanah tanpa pupuk

T2 = Tanah ditanami bayam

T1 = Tanah ditambah pupuk

T3 = Tanah ditambah pupuk dan ditanami bayam

Tabel 1 menunjukkan konsentrasi logam Fe total dalam tanah sebelum penanaman bayam dan setelah panen bayam pada masing – masing perlakuan. Konsentrasi logam Fe dalam tanah sebelum penanaman berkisar antara 23.607,169

mg/kg hingga 30.682,532 mg/kg sedangkan 23.707,851 mg/kg hingga 30.827,169 mg/kg pada sampel tanah setelah panen bayam. Pada perlakuan T0 dan T1 tanpa ditanami bayam memiliki konsentrasi Fe total yang meningkat dari sampel sebelum masa penanaman bayam dibandingkan saat masa setelah panen bayam. Berbeda terjadi pada tanah dengan perlakuan T2 dan T3 yang ditanami bayam, pada perlakuan tersebut terjadi penurunan jumlah logam total pada masa panen bayam dibandingkan saat sebelum penanaman bayam. Penurunan logam Fe dari sebelum penanaman ke setelah masa panen pada perlakuan T2 dan T3 adalah akibat terjadinya akumulasi logam Fe dari tanah ke dalam tanaman. Hal ini merupakan salah satu faktor yang dapat menyebabkan terjadinya peningkatan atau penurunan logam Fe pada tanah pertanian (Arora *et al.*, 2008).

Adanya peningkatan logam Fe total pada tanah dengan perlakuan T0 dan T1 diakibatkan karena di tanah tersebut tidak ada tanaman bayam yang menyerap logam Fe yang berasal dari pupuk kandang. Pada tanah perlakuan tersebut, tidak ditumbuhi tanaman bayam sehingga tidak terjadi perpindahan atau terserapnya sejumlah logam dari dalam tanah ke tanaman bayam. Akan tetapi, penurunan jumlah logam Fe pada perlakuan T2 dan T3 adalah akibat adanya sejumlah logam Fe yang diserap oleh tanaman bayam pada tanah perlakuan tersebut, dan selanjutnya terdistribusi dalam tanaman selama proses pertumbuhan pada tanaman bayam tersebut. Akibatnya, logam Fe yang terserap ke tanaman akan terakumulasi pada bagian tertentu dari tanaman tersebut (Siaka, 2016).

Hasil yang ditunjukkan pada Tabel 2 terlihat bahwa kandungan logam Ca pada perlakuan T0 dan T1 baik di awal maupun di akhir masa produksi bayam cenderung tidak mengalami perubahan. Berbeda yang terjadi pada tanah dengan perlakuan T2 dan T3 yang mengalami penurunan kandungan Ca total setelah proses produksi tanaman bayam. Penurunan kandungan logam tersebut diakibatkan oleh adanya tanaman bayam yang tumbuh pada tanah tersebut, sehingga sejumlah tertentu logam Ca menjadi berkurang selama proses pertumbuhan bayam, karena terserap oleh tanaman tersebut. Terserapnya sejumlah

Tabel 2. Konsentrasi Logam Ca Total dalam Sampel Tanah

Perlakuan	Konsentrasi Ca (mg/kg)	
	A	B
T0	6.890,971 ± 10,413	7.057,011 ± 136,89
T1	6.024,577 ± 33,431	6.051,332 ± 51,285
T2	6.092,827 ± 191,027	5.606,963 ± 33,291
T3	7.119,371 ± 114,634	6.372,546 ± 77,468
PUPUK	1486,719 ± 29,742	

Keterangan :

A = Sebelum Penanaman Bayam

B = Setelah Panen Bayam

T0 = Tanah tanpa pupuk

T2 = Tanah ditanami bayam

T1 = Tanah ditambah pupuk

T3 = Tanah ditambah pupuk dan ditanami bayam

logam dari tanah ke dalam bagian tanaman bayam mengakibatkan penurunan kandungan logam Ca total pada perlakuan tersebut.

Spesiasi dan Bioavailabilitas Logam Fe dan Ca dalam Tanah

Bioavailabilitas logam Fe dan Ca dalam penelitian ini ditentukan dengan metode ekstraksi bertahap menggunakan AAS sehingga didapatkan 4 fraksi logam berat dalam berbagai bentuk/spesies. Dengan mengetahui fraksi dari logam berat maka dapat ditentukan bioavailabilitas logam berat tersebut. Fraksi 1 (F1) merupakan fraksi EFLE (*Easily, Freely, Leachable and Exchangeable*) yang dapat dengan mudah terekstraksi oleh air, larutan asam asetat, sehingga logam pada fraksi 1 bersifat *bioavailable* atau tersedia bagi makhluk hidup. Fraksi 2 merupakan logam yang terikat pada Fe/Mn oksida dapat direduksi oleh asam biasanya menggunakan *hydroxylamine hidro klorida*. Fraksi ini dipengaruhi oleh perubahan pH dan redoks, sehingga fraksi 2 termasuk fraksi non resisten dan lebih stabil dari fraksi 1. Fraksi ini bersifat berpotensi *bioavailable*. Fraksi 3 merupakan fraksi yang logamnya terikat bahan organik seperti senyawa humat. Senyawa logam yang terekstrak pada fraksi 3 juga bersifat non resisten dan lebih stabil dari fraksi 1 dan 2. Logam pada fraksi ini juga berpotensi *bioavailable*. Fraksi 4 merupakan fraksi resisten,

dimana logam-logam yang terekstraksi pada fraksi 4 sebagian besar berbentuk silikat, semen, dan oksida terpasifkan. Logam berada dalam fase inert dan tidak mungkin menjadi ion sehingga bersifat non *bioavailable* (Gasparatos *et al.*, 2005). Kandungan logam Fe dan Ca yang terekstraksi dari proses ekstraksi bertahap terhadap semua perlakuan pada sampel tanah sebelum penanaman dan setelah panen bayam ditunjukkan pada Tabel 3.

Pada Tabel 3 menunjukkan fraksi I pada tanah perlakuan T0 mengalami penurunan konsentrasi logam Fe sebesar ± 21 mg/kg dari tanah sebelum penanaman hingga setelah panen bayam. Akan tetapi, pada fraksi II dan fraksi III mengalami peningkatan sebesar ± 48 mg/kg dan ± 97 mg/kg. Ini menunjukkan bahwa, tanah tersebut sebelum diberi perlakuan sudah mengandung Fe/Mn oksida dan bahan organik yang memiliki situs-situs negatif seperti OH⁻ dan/atau COO⁻ sehingga mampu mengikat ion Fe atau spesies Fe yang labil.

Berbeda pada perlakuan T2 logam Fe pada fraksi I dan fraksi II mengalami penurunan kadar berkisar ± 23,7 mg/kg dan ± 69,71 mg/kg. Ini menunjukkan bahwa hanya tanaman bayam yang menyebabkan terjadinya penurunan kadar Fe tersebut pada fraksi I dan fraksi II, karena pada fraksi III tidak terlihat terjadi perubahan kadar Fe pada tanah baik sebelum penanaman maupun setelah panen.

Pada sampel tanah dengan perlakuan T3 mengalami penurunan pada fraksi I, namun mengalami peningkatan cukup besar ± 42,63 mg/kg pada fraksi II. Berbeda dengan perlakuan T3 logam Fe pada fraksi I mengalami penurunan, namun mengalami peningkatan pada fraksi II dan III yang peningkatannya sangat jauh lebih besar dari penurunan yang terjadi pada fraksi I.

Spesiasi logam Ca pada tanah perlakuan T0 menunjukkan bahwa logam pada fraksi I mengalami penurunan sekitar 39,74 mg/kg antara sebelum penanaman dan setelah panen bayam, serta terjadi peningkatan kandungan logam Ca pada fraksi II dan fraksi III yaitu sekitar ± 184,62 mg/kg dan ± 7,979 mg/kg. Keadaan ini menunjukkan bahwa Ca punya kecenderungan terikat atau berasosiasi lebih kuat dengan Fe/Mn oksida/hidroksida jika di dalam tanah banyak mengandung senyawa oksida/hidroksida tersebut. (Ani Susilawati dan Arifin Fahmi, 2013).

Tabel 3. Spesiasi Logam Fe dan Ca Dalam Tanah

Perlakuan	Fraksi	Tanah Sebelum Penanaman		Tanah Saat Panen	
		Fe (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ca (mg/kg)
T0	I (EFLE)	548,021 ± 3,964	4.548,571 ± 46,648	527,1 ± 11,083	4.508,833 ± 162,346
	II (Fe/Mn Oksida)	1.880,458 ± 10,811	2.052,601 ± 51,437	1.928,548 ± 23,133	2.237,229 ± 41,268
	III (Organik/sulfida)	240,191 ± 8,049	129,655 ± 2,281	336,971 ± 6,397	137,634 ± 15,019
	IV (Resistent)	28.004,818 ± 12,601	160,134 ± 17,919	27.996,42 ± 17,752	173,313 ± 6,070
T1	I (EFLE)	529,976 ± 20,580	3.546,981 ± 19,094	527,1 ± 11,083	3.419,891 ± 64,560
	II (Fe/Mn Oksida)	1.871,65 ± 52,227	2.268,484 ± 39,483	1.866,891 ± 15,516	2.243,759 ± 11,891
	III (Organik/sulfida)	238,442 ± 6,710	79,410 ± 18,159	316,43 ± 5,433	257,978 ± 7,873
	IV (Resistent)	21.109,82 ± 105,743	129,702 ± 12,747	21.101,37 ± 103,908	129,703 ± 9,985
T2	I (EFLE)	530,926 ± 16,404	3.587,687 ± 176,073	507,23 ± 14,031	3.308,098 ± 34,311
	II (Fe/Mn Oksida)	1.994,68 ± 9,145	2.191,501 ± 16,329	1.924,97 ± 8,307	1.985,385 ± 9,579
	III (Organik/sulfida)	237,954 ± 14,766	103,224 ± 6,899	237,834 ± 14,720	103,172 ± 3,999
	IV (Resistent)	25.350,35 ± 120,974	210,415 ± 6,864	25.337,71 ± 129,444	210,308 ± 10,429
T3	I (EFLE)	524,86 ± 9,845	4.481,55 ± 116,412	505,98 ± 5,814	3.935,71 ± 20,011
	II (Fe/Mn Oksida)	1.957,64 ± 12,666	2.234,15 ± 20,197	2.000,27 ± 24,399	2.012,18 ± 68,861
	III (Organik/sulfida)	263,882 ± 11,524	206,38 ± 14,285	454,32 ± 5,162	206,38 ± 10,497
	IV (Resistent)	24.593,99 ± 149,074	218,29 ± 12,052	24.208,07 ± 314,351	218,29 ± 18,231

Keterangan :

T0 = tanah tanpa pupuk

T2 = tanah ditanami bayam

T1 = tanah ditambah pupuk

T3 = tanah ditambah pupuk dan ditanami bayam

Perlakuan tanah T1 menunjukkan bahwa logam Ca mengalami penurunan kadar sebesar ± 127,09 mg/kg pada fraksi I dan ± 24,725 mg/kg pada fraksi II, sedangkan pada fraksi III meningkat sebanyak 178,568 mg/kg. Dengan melihat perubahan kadar Ca yang terjadi pada fraksi I – III, maka dapat diketahui bahwa sekitar ± 3,6% Ca yang *bioavailable* diikat oleh bahan organik dari pupuk kandang yang ditambahkan ke dalam tanah percobaan.

Perlakuan T2 dan T3 dari tanah sebelum penanaman dengan tanah setelah panen, menunjukkan bahwa logam Ca pada fraksi EFLE mengalami penurunan pada fraksi I dan pada fraksi II, tetapi tidak ada perubahan pada

fraksi III untuk tanah pertanian yang ditanami bayam dengan pemberian pupuk kandang sebelum penanaman dan setelah panen. Ini menunjukkan bahwa penambahan pupuk kandang tidak dapat mengubah jumlah Ca yang *bioavailable* menjadi berpotensi *bioavailable*. Keadaan ini membuktikan bahwa secara teori, asam humat berpengaruh langsung dalam pertumbuhan tanaman, diantaranya mempercepat perkecambahan benih, merangsang pertumbuhan akar, mempercepat pemanjangan sel akar, dan mempercepat pertumbuhan tunas, sehingga tanaman mampu menyerap unsur hara lebih banyak. Dengan demikian, Penambahan pupuk kandang sapi

yang mengandung asam humat tidak dapat mengikat Ca yang labil menjad lebih stabil.

Jumlah minimum logam Ca dalam tanah yang dikatakan sehat kesuburannya memiliki kandungan minimal logam Ca sebesar 1.400-2.800 mg/kg dalam tanah. Kadar logam Ca dalam tanah pertanian tanpa pemberian dan pemberian pupuk kandang yang diperoleh pada penelitian ini masih tergolong sehat kesuburannya.

Pola penyebaran logam Fe pada tanah sebelum penanaman dan setelah panen secara umum adalah: $F4 > F2 > F1 > F3$ Pola penyebaran logam Ca pada tanah sebelum penanaman dan setelah panen secara umum adalah: $F1 > F2 > F4 > F3$. Persentase bioavailabilitas logam Fe dan Ca di dalam tanah sebelum penanaman bayam dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Bioavailabilitas Logam Fe dan Ca Sebelum Penanaman Bayam

Perlakuan	Bioavailabilitas	Konsentrasi Logam		Persentase	
		Fe (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Fe (%)	Ca (%)
T0	Bioavailable	548,021	4.548,571	1,79	66,01
	Berpotensi Bioavailable	2.120,65	2.182,26	6,91	31,67
	Non Bioavailable	28.004,82	160,13	91,30	2,32
T1	Bioavailable	529,976	3.546,981	2,23	58,88
	Berpotensi Bioavailable	2.110,092	2.347,894	8,88	38,97
	Non Bioavailable	21.109,82	129,70	88,88	2,15
T2	Bioavailable	530,93	3587,69	1,89	59,67
	Berpotensi Bioavailable	2.232,634	2294,73	7,94	38,17
	Non Bioavailable	25.350,35	129,70	90,17	2,16
T3	Bioavailable	548,021	4.481,55	1,92	62,95
	Berpotensi Bioavailable	2.120,649	2.440,53	8,04	34,28
	Non Bioavailable	24593,99	218,29	89,97	3,06

Keterangan :

T0 = tanah tanpa pupuk

T2 = tanah ditanami bayam

T1 = tanah ditambah pupuk

T3 = tanah ditambah pupuk dan ditanami bayam

Pada Tabel 4. menunjukkan logam Fe yang *bioavailable* jauh lebih kecil dibandingkan dengan logam yang berpotensi *bioavailable* dan *non bioavailable*, walaupun persentase Fe yang *bioavailable* sangat kecil, tapi dapat memenuhi kebutuhan tanaman yang tumbuh pada tanah tersebut. Berbeda dengan bioavailabilitas logam Ca dalam tanah paling tinggi yaitu logam yang bersifat *bioavailable* dengan persentase berkisar 58,88 – 66,01%. Ini menunjukkan bahwa setiap tanaman yang tumbuh pada tanah tersebut tidak akan kekurangan unsur Ca. Hal tersebut dapat terjadi karena logam Ca merupakan unsur hara makro yang dibutuhkan dalam jumlah besar bagi tanah dan tanaman. Persentase logam yang berpotensi *bioavailable* berada pada tingkat kadar yaitu berkisar 31,67 – 38,97% dan yang terendah adalah logam yang bersifat *non bioavailable* yaitu 2,15 – 2,32%. Akan tetapi, logam Fe yang *bioavailable* relatif rendah, karena Fe merupakan salah satu unsur hara mikro yang dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah yang tidak terlalu banyak dan

bervariasi tergantung dari jenis tanaman. Logam Fe paling tinggi dalam tanah berupa logam *non bioavailable*, sehingga tidak terlalu memberikan pengaruh terhadap tanaman bayam yang tumbuh pada tanah percobaan, karena memiliki ikatan yang stabil dan sulit terlepas menjadi logam yang bersifat *bioavailable*.

Persentase Kandungan Logam Fe dan Ca pada Tanaman Bayam

Persentase kandungan logam Fe dan Ca pada bagian tanaman bayam disajikan pada Tabel 5. Pada tersebut, terlihat bahwa persentase logam Fe pada bagian tanaman pada perlakuan T2 dan T3 yang ditanami tanaman bayam cenderung sama. Tingkat akumulasi paling tinggi terdapat pada bagian akar dan paling rendah pada bagian batang. Berbeda dengan logam Ca pada perlakuan T2 di bagian akar dan batang dibandingkan dengan T3, sedangkan pada bagian daun, persentase Ca pada perlakuan T3 jauh lebih tinggi dibandingkan pada perlakuan T2.

Tingginya kandungan logam Fe dalam akar diduga karena sifat logam itu sendiri yang mempunyai massa yang besar sehingga sulit untuk tertranslokasi ke jaringan tanaman bagian atas kecuali bila ada energi yang tersedia untuk memindahkan logam dari akar ke daun. Kandungan Ca lebih tinggi dalam daun dibanding dalam akar dan batang, karena logam Ca yang mempunyai massa yang relatif kecil sehingga lebih mudah tertranslokasi ke jaringan tanaman bagian atas dengan bantuan energi yang tersedia untuk memindahkan logam dari akar ke daun (Stevenson, 1982).

Tabel 5. Persentase Kandungan Logam Fe dan Ca dalam Bagian Tanaman Bayam

Bagian Tanaman	% Fe		% Ca	
	T2	T3	T2	T3
Akar	84,22	76,95	33,22	26,21
Batang	4,81	3,63	31,17	25,29
Daun	10,97	10,41	34,89	48,5

Keterangan :

T2 = Tanah yang ditanami bayam

T3 = Tanah ditambah pupuk dan ditanami bayam

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Pola penyebaran untuk logam Fe yaitu $F4 > F2 > F1 > F3$ dan $F1 > F2 > F4 > F3$ untuk logam Ca. Pola penyebaran bioavailabilitas dalam tanah sebelum penanaman bayam adalah bioavailabel < berpotensi bioavailabel < non bioavailabel untuk logam Fe dan bioavailabel > berpotensi bioavailabel > non bioavailabel untuk logam Ca.

Penambahan pupuk kandang sapi pada tanah mampu meningkatkan kandungan logam Fe dan Ca dalam tanaman bayam, dan juga meningkatkan logam Fe dan Ca yang *bioavailable*.

Saran

Saran yang dapat diberikan adalah perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh pupuk kandang sapi terhadap bioavailabilitas unsur hara selain Fe dan Ca. Selain penggunaan pupuk kandang sapi, perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh berbagai pupuk organik terhadap bioavailabilitas unsur hara makro dan mikro.

DAFTAR PUSTAKA

- Andayani dan L. Sarido. 2013. Uji Empat Jenis Kotoran Hewan Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Cabai Kering. *Jurnal Agrifor (Budidaya Agronomi dan Kehutanan)*. 12(1): 22-29.
- Ani Susilawati, Arifin Fahmi. 2013. Dinamika Besi pada Tanah Sulfat Masam yang Ditanami Padi. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 7(2): 67-75.
- Arora, M., Kiran, B., Rani, S., Rani, A., Kaur, B., and Mittal, N. 2008. Heavy Metal Accumulation in Vegetables Irrigated With Water From Different Source. *Journal Food Chemistry*. 20(2): 401-415
- Kachenco, A. G., Singh, B., Bhatia, N. P. 2007. Heavy Metal Tolerance in Common Fern Species. *Australian Journal of Botany*. 55(1): 63-73.
- Mowidu, I., Sunarminto. B.H., Purwanto, B.H., & Utami, S.N.H. 2015. Kadar Fe Total pada Tanah Sawah Rawa Lebak di Kabupaten Poso. *Jurnal Agropet*. 12(1): 1-5.
- Novizan. 2001. *Petunjuk Pemupukan yang Efektif*. Agromedia Pustaka. Tangerang
- Purwono, dan H. Purnawati. 2007. *Budidaya 8 Jenis Tanaman Pangan Unggul*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Stevenson, F.J. 1982. *Humus Chemistry*. New York: John Wiley&Sons.
- Widaningrum, Miskiyah, dan Suismono. 2007. Bahaya Kontaminasi Logam Berat Dalam Sayuran dan Alternatif Pencegahan Cemarannya, *Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian*. Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian 3: 16-27.
- Wisnawa, Putu D. P. K., Siaka, I. M., Putra, A. A. B. 2016. Kandungan Logam Pb dan Cu Dalam Buah Stroberi serta Spesiasi dan Bioavailabilitasnya dalam Tanah Tempat Tumbuh Stroberi di Daerah Bedugul. *Jurnal Kimia* . 10(1): 23-31.