

KONSENTRASI LOGAM Pb DAN Cd DALAM BUAH JERUK SERTA BIOAVAILABILITASNYA DALAM TANAH PERKEBUNAN JERUK DI DAERAH KINTAMANI

I M. Siaka*, N. K. Ermin dan M. Manurung

*Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Udayana, Jimbaran, Bali, Indonesia*
**Email: made_siaka@unud.ac.id*

ABSTRAK

Kintamani dikenal sebagai pusat penghasil buah jeruk siam di Bali. Berbagai usaha dilakukan oleh para petani untuk meningkatkan produksi buah jeruk siam tersebut, salah satunya adalah dengan mengaplikasikan agrokimia. Akan tetapi, penggunaan agrokimia secara intensif tanpa kontrol yang memadai, dapat meningkatkan kandungan logam-logam berat dalam tanah pertanian, seperti yang telah dilaporkan oleh beberapa peneliti. Keadaan ini tentu dapat juga terjadi pada tanah perkebunan jeruk di Daerah Kintamani-Bali. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi logam Pb dan Cd total dalam tanah dan buah jeruk siam serta tingkat bioavailabilitas logam berat tersebut dalam tanah perkebunan jeruk di Daerah Kintamani. Metode ekstraksi bertahap digunakan untuk penentuan konsentrasi logam total Pb dan Cd serta bioavailabilitasnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi Pb dan Cd total dalam tanah sebelum tanaman jeruk berbunga berturut-turut pada kisaran 344,0007-381,4229 mg/kg dan 3,6400-5,3236 mg/kg. Akan tetapi, konsentrasi logam Pb dalam tanah saat panen jeruk mengalami kenaikan menjadi 498,8548-514,3733 mg/kg, sedangkan logam Cd mengalami penurunan menjadi 2,7658-3,4094 mg/kg. Dalam buah jeruk ditemukan bahwa konsentrasi logam Pb dan Cd berturut-turut: 18,3048-24,2205 mg/kg dan 12,3983-15,9922 mg/kg. Konsentrasi ini melebihi ambang batas menurut Peraturan BPOM No. 5 Tahun 2018. Bioavailabilitas logam Pb pada tanah sebelum tanaman jeruk berbunga di setiap lahan sebagian besar berpotensi *bioavailable* dengan persentase rata-rata sebesar 49,35%. Berbeda dengan Pb, bioavailabilitas logam Cd yang ditemukan dalam tanah di lahan 1 dan 3 adalah Cd yang *bioavailable* yaitu sebesar 43,57% dan 39,09%, sedangkan di lahan 2 adalah non *bioavailable* dengan persentase sebesar 41,33%.

Kata Kunci: bioavailabilitas, jeruk siam, logam berat.

ABSTRACT

Kintamani is known as the center of Siamese citrus production in Bali. Various efforts have been made by farmers to increase the production of Siamese citrus fruits, one of which is by applying agrochemicals. However, intensive use of agrochemicals without adequate control can increase the content of heavy metals in agricultural soils, as has been reported by several researchers. This situation can certainly also occur in the soil of citrus plantations in the area of Kintamani-Bali. This study aimed to determine the concentration of total Pb and Cd metals in the soil and citrus fruits as well as the level of bioavailability of these heavy metals in the soil. The sequential extraction method was used to determine the total metal concentrations of Pb and Cd and their bioavailability. The results showed that the total Pb and Cd concentrations in the soil before flowering citrus plants were in the range of 344,0007-381,4229 mg/kg and 3,6400-5,3236 mg/kg, respectively. However, the concentration of Pb in the soil during citrus harvest increased to 498,8548-514,3733 mg/kg, while Cd decreased to 2,7658-3,4094 mg/kg. In citrus fruits, it was found that the concentrations of Pb and Cd were 18,3048-24,2205 mg/kg and 12,3983-15,9922 mg/kg, respectively. This concentration exceeds the maximum allowed according to BPOM Regulation No. 5 of 2018. The bioavailability of Pb in the soil before the citrus plants flowered in each field was potentially bioavailable with an average percentage of 49,35%. In contrast to Pb, the bioavailability of Cd found in the soil of fields 1 and 3 was Cd which was bioavailable, with an average of 43,57% and 39,09%, while in field 2 it was non-bioavailable with a percentage of 41,33%.

Keywords: bioavailability, heavy metals, siamese citrus.

PENDAHULUAN

Kintamani dikenal sebagai pusat penghasil buah Jeruk Siam di Bali. Jeruk siam adalah jenis jeruk yang diminati oleh masyarakat sehingga petani meningkatkan produksinya baik kualitas maupun kuantitas buahnya. Penggunaan agrokimia (pupuk kimia dan pestisida sintetis) merupakan salah satu cara yang umum dilakukan untuk membantu pertumbuhan tanaman agar produksi buah jeruk meningkat baik secara kualitas maupun kuantitas. Akan tetapi, pupuk dan pestisida yang digunakan secara intensif dapat menyebabkan tercemarnya tanah dan tanaman oleh logam berat. Penggunaan pupuk yang terkontaminasi logam berat dalam pertanian dapat menyebabkan pencemaran pada tanah, dimana ion-ion bebas dari logam berat tersebut diserap oleh akar tanaman (Nopriani, 2011). Logam Pb dalam tanah diserap oleh bahan organik pada saat tanah memiliki kadar bahan organik dan kesuburan tanah dalam kondisi rendah.

Kandungan logam dalam tanah sangat berpengaruh terhadap kandungan logam dalam tanaman yang tumbuh di atasnya. Logam berat yang mencemari tanah sebagian besar terakumulasi pada organ tanaman yaitu salah satunya bagian buah. Wisnawa *et al.* (2016) melaporkan bahwa buah stroberi mengandung Pb rata-rata 39,0144 mg/kg dari tanaman yang tumbuh pada tanah yang tercemar Pb dengan bioavailabilitas sebesar 17,60%. Fang *et al.* (2014) juga melaporkan bahwa kandungan logam berat Pb dan Cd pada buah jeruk berturut-turut 0,445 dan 0,440 mg/kg yang diduga akibat dari penggunaan pupuk dan pestisida pada perkebunan jeruk yang ditelitinya. Fenomena ini diduga dapat terjadi pada jenis tanaman lain yang ditanam dalam suatu lahan yang juga menggunakan agrokimia, seperti pada buah jeruk siam di Daerah Kintamani. Hal ini dapat terjadi karena perlakuan yang sama dilakukan oleh petani jeruk siam di daerah tersebut dan ini memungkinkan buah jeruk siam berpotensi tercemar oleh logam berat Pb dan Cd.

Tanah yang tercemar logam berat dan tanaman yang terakumulasi logam berat dipengaruhi oleh spesiasi dan tingkat bioavailabilitas logam berat tersebut. Bioavailabilitas merupakan ketersediaan sejumlah logam yang dapat diserap oleh hayati. Semakin tinggi tingkat bioavailabilitas logam

berat dalam tanah, semakin tercemar tanaman yang tumbuh pada tanah tersebut (Widaningrum *et al.*, 2007). Bioavailabilitas logam berat ditentukan dengan metode ekstraksi bertahap. Spesiasi atau penentuan fraksi merupakan pengelompokan berdasarkan fraksi yaitu fraksi labil yang merupakan fraksi *easily, freely, leachable and exchangeable* (EFLE) dan bersifat *bioavailable*, Fe/Mn oksida dan organik/sulfida yang berpotensi *bioavailable* dan fraksi resisten yang bersifat non *bioavailable* (Siaka *et al.*, 2019). Sejauh ini belum banyak penelitian tentang konsentrasi logam Pb dan Cd pada buah jeruk siam di Daerah Kintamani sehingga perlu diteliti lebih lanjut karena tingginya aktivitas pertanian di daerah tersebut. Inilah menyebabkan tanah dan buah jeruk siam di daerah tersebut berpotensi tercemar oleh logam Pb dan Cd. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui konsentrasi logam total dalam tanah dan buah, mengetahui persentase berbagai fraksi dari logam Pb dan Cd serta menentukan bioavailabilitasnya untuk memprediksi seberapa banyak logam Pb dan Cd terserap ke dalam tanaman yang terakumulasi dalam buah jeruk.

MATERI DAN METODE

Bahan

Sampel tanah sebelum berbunga, sampel tanah pada saat panen dan sampel buah jeruk. Zat kimia yang digunakan adalah yang memiliki tingkat proanalisis yaitu: H₂O₂, HCl, HNO₃, CH₃COONH₄, NH₂OH.HCl, CH₃COOH, Pb (NO₃)₂, Cd (NO₃)₂ dan aquades.

Peralatan

Peralatan gelas laboratorium, botol polietilen, botol plastik, neraca analitik, oven, *ultrasonic bath*, ayakan 63 μ m, *hot plate*, penggojog, pH meter, sendok plastik, corong, *zip lock plastic*, mortar, penangas air, blender, kertas saring, termometer, sentrifugasi dan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) Shimadzu AA-7000.

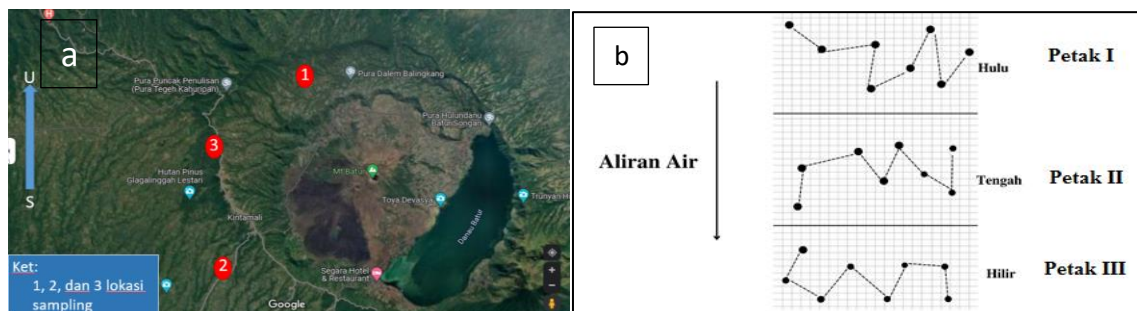
Cara Kerja

Pengambilan Sampel Tanah

Lokasi sampling di perkebunan jeruk di Daerah Kintamani Bangli. Pengambilan sampel tanah dan buah jeruk siam dilakukan di 3 lokasi di daerah tersebut yang terletak pada geografis sebagai berikut: lahan 1 (-

8.206474,115.354447) di Desa Sukawana, lahan 2 (-8.279128,115.327936) dan lahan 3 (-8.227080,115.324701) di Desa Kintamani. Sampel tanah diambil sebanyak 2 kali sebelum tanaman jeruk berbunga dan saat panen jeruk. Sampel tanah diambil pada 3 lahan perkebunan yang dibagi menjadi 3 petak (hulu, tengah, dan

hilir) dan setiap petak dibagi menjadi 8 titik sampling (seperti Gambar 1), lalu tanah yang didapat dari 8 titik tersebut dijadikan satu dan ditempatkan dalam kantong polietilen. Sampel tanah pertanian disimpan dalam *cool box* untuk dianalisis lebih lanjut (Siaka, 2016).



Gambar 1. (a) Lokasi sampling dan (b) Teknik sampling (Sumber: (a) Google Maps, dan (b) Ferguson *et al*, 2007)

Preparasi Sampel

Sampel tanah yang telah diambil dipisahkan dari batu-batu, sedangkan daging buah jeruk siam dipisahkan dari kulit dan bijinya. Daging dan kulit buah jeruk siam dicuci dengan aquades lalu dipotong kecil-kecil. Sampel tanah dan buah dikeringkan pada suhu 60°C dengan oven sampai diperoleh massa konstan. Sampel tanah dan buah yang sudah kering digerus dengan mortar dan *pestle* sampai halus, kemudian sampel diayak dengan ayakan $63\ \mu\text{m}$. Sampel tersebut ditempatkan pada botol polietilen untuk analisis logam total dan ekstraksi bertahap (Siaka, 2016).

Digesti dan Penentuan Konsentrasi Logam Pb dan Cd Total dalam Buah Jeruk Siam

Masing-masing sampel daging dan kulit buah jeruk siam ditimbang teliti sebanyak 0,5 gram lalu dimasukkan ke dalam masing-masing tabung digesti, kemudian ditambahkan 5 mL larutan HNO_3 pekat pada setiap tabung. Sampel dipanaskan dengan *hot plate* selama 2 jam pada suhu 90°C , lalu suhu larutan dinaikkan menjadi 150°C , setelah itu dengan hati-hati ditambahkan masing-masing 5 mL HNO_3 pekat dan H_2O_2 30%, lalu didiamkan sampai larutan menjadi jernih. Larutan sampel didiamkan sampai dingin, kemudian larutan disaring dan hasil filtrat ditempatkan dalam labu ukur 25 mL dan diencerkan menggunakan aquades. Sampel diukur dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) pada

panjang gelombang 217,0 nm dan 228,8 nm (Siaka, 2016).

Ekstraksi Tahap I (Fraksi EFLE)

Ditimbang dengan teliti sampel tanah sebanyak 1,0 gram dan dimasukkan ke botol ekstraksi, kemudian ditambahkan kedalam masing-masing botol 40 mL CH_3COOH 0,1 mol/L. Larutan digojog selama 2 jam, lalu dilakukan sentrifugasi larutan selama 10 menit pada kecepatan 4000 rpm. Supernatan hasil sentrifugasi disaring dan ditempatkan ke labu ukur 50 mL, lalu diencerkan dengan HNO_3 0,01 mol/L. Sampel tahap 1 diukur dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* pada panjang gelombang 217,0 nm dan 228,8 nm. Residu dari tahap ini digunakan untuk ekstraksi tahap kedua.

Ekstraksi Tahap II (Fraksi Mn dan Fe Oksida)

Residu pada fraksi I ditambahkan dengan 40 mL $\text{NH}_2\text{OH.HCl}$ 0,1 mol/L, lalu ditambahkan HNO_3 hingga pH-nya 2. Larutan digojog dengan menggunakan penggojog listrik selama 2 jam lalu dilakukan sentrifugasi larutan selama 10 menit pada kecepatan 4000 rpm. Supernatan hasil sentrifugasi disaring dan ditempatkan ke dalam labu ukur 50 mL, lalu diencerkan dengan HNO_3 0,01 mol/L. Sampel tahap ini diukur dengan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) untuk logam Pb pada panjang gelombang 217,0 nm dan 228,8 nm. Residu dari tahap ini dianalisis untuk ekstraksi tahap ketiga.

Ekstraksi Tahap III (Fraksi Organik dan Sulfida)

Residu II ditambahkan 10 mL larutan H₂O₂ 30%, kemudian ditutup dengan kaca arloji dan didiamkan selama 1 jam. Selanjutnya dipanaskan selama 1 jam dalam penangas air pada suhu 85°C, lalu ditambahkan dengan 10 mL larutan H₂O₂ 30% dan dipanaskan kembali. Setelah itu larutan didinginkan pada suhu kamar, dan setelah didinginkan ditambahkan 20 mL CH₃COONH 1 mol/L, kemudian ditambahkan HNO₃ sampai pH-nya 2. Larutan digojog selama 2 jam menggunakan penggojog listrik, kemudian sentrifugasi larutan selama 10 menit pada kecepatan 4000 rpm. Supernatan hasil sentrifugasi disaring lalu ditempatkan dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan dengan HNO₃ 0,01 mol/L. Sampel diukur dengan *Atomic Absorption Spectrophotometer* pada panjang gelombang 217,0 nm dan 228,8 nm. Residu dari tahap ini digunakan untuk ekstraksi tahap IV.

Ekstraksi Tahap IV (Fraksi Resisten)

Residu dari ekstraksi III dicuci dengan aquades 10 mL dan ditambahkan larutan *reverse aqua regia* yang merupakan campuran antara HCl pekat dengan HNO₃ pekat (1:3) sebanyak 10 mL. Campuran didigesti selama 45 menit dalam *ultrasonic bath* pada suhu 60°C, lalu dipanaskan selama 45 menit dengan *hot plate* pada suhu 140°C. Campuran selanjutnya disentrifugasi selama 10 menit pada kecepatan 4000 rpm. Supernatan yang dihasilkan kemudian disaring dan ditempatkan kelabu ukur 50 mL lalu diencerkan dengan aquades. Sampel

diukur dengan *Atomic Absorption Spectrophotometer* pada panjang gelombang 217,0 nm dan 228,8 nm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Logam Total Pb dan Cd dalam Tanah Perkebunan Jeruk Siam

Tujuan penentuan konsentrasi logam Pb dan Cd pada sampel tanah untuk mengetahui konsentrasi dan tingkat pencemaran logam Pb dan Cd pada tanah. Logam total merupakan jumlah keseluruhan fraksi suatu logam yang berada di dalam tanah baik yang tersedia maupun yang tidak tersedia bagi tanaman. Metode yang digunakan untuk menentukan nilai logam total adalah metode ekstraksi bertahap yang terdiri dari empat fraksi kemudian konsentrasi logam total diperoleh dengan menjumlahkan keempat fraksi. Konsentrasi logam Pb dan Cd total pada setiap lahan ditampilkan pada Tabel 1. Konsentrasi logam Pb dan Cd total di setiap lahan perkebunan jeruk di daerah Kintamani sebelum berbunga tergolong tidak tercemar menurut nilai dari *The Farmer Greater London Council (GLC)* yaitu dalam kisaran 0-500 mg/kg dan 0-100 mg/kg (Alloway, 1995). Akan tetapi, konsentrasi logam Pb pada saat panen di lahan 1 dan 2 meningkat dan tergolong agak tercemar karena berada dalam kisaran 500-1000 mg/kg. Konsentrasi logam Cd pada setiap lahan berbeda dan mengalami penurunan pada saat panen dan tergolong tidak tercemar menurut nilai GLC yaitu berkisar 0-100 mg/kg (Alloway, 1995).

Tabel 1. Konsentrasi Logam Pb dan Cd Total dalam Tanah Perkebunan Jeruk Siam

Lahan	Tanah Sebelum Tanaman Jeruk Berbunga		Tanah Saat Panen Jeruk	
	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)
1	381,4229 ± 3,0577	5,3236 ± 0,0648	514,1915 ± 2,2639	3,4094 ± 0,0513
2	346,5617 ± 1,7471	3,8350 ± 0,0763	514,3733 ± 2,6299	2,7763 ± 0,0494
3	344,0007 ± 2,1904	3,6400 ± 0,0652	498,8548 ± 3,3027	2,7658 ± 0,0412

Konsentrasi logam Pb ditemukan cenderung meningkat saat panen, dan ini disebabkan karena pemberian pupuk dan pestisida yang intensif oleh petani untuk mendapatkan hasil panen yang maksimal. Pupuk yang digunakan yaitu pupuk kandang dan NPK memiliki konsentrasi logam Pb

sebesar 8,56 mg/kg (Siaka *et al.*, 2019). Selain itu terdapat perbedaan perlakuan tanah oleh petani pada masing-masing lahan yang dilakukan yaitu pemberian pupuk. Sebelum berbunga petani pada lahan 1 memberikan pupuk kandang (kotoran ayam) dan pupuk kompos, sedangkan pada lahan 2 dan 3 hanya

diberikan pupuk kandang. Pupuk kandang diberikan dua bulan setelah tanaman jeruk berbunga dan pupuk NPK diberikan setiap dua minggu sekali setelah tanaman berbunga sampai siap panen. Penggunaan pestisida juga dapat meningkatkan konsentrasi logam Pb pada tanah. Pestisida sintetis sejenis fungisida dan insektisida (dengan nama tertentu) adalah salah satu pestisida yang digunakan untuk mengurangi penyakit dan membunuh hama. Menurut penelitian Hartini *et al.* (2011) pada pestisida *Antracol* dan *Buldog* mengandung logam Pb sebesar 12,48 mg/L dan 2,04 mg/L. Hal inilah yang menyebabkan kandungan logam Pb pada ketiga lahan meningkat pada saat panen.

Berbeda dengan Pb, konsentrasi logam Cd pada saat panen menunjukkan penurunan dan hal ini disebabkan karena sejumlah tertentu logam selama proses produksi terserap ke dalam tanaman jeruk siam dan terakumulasi pada bagian tertentu dari tanaman atau diserap oleh organisme lain yang ada di tanah tersebut atau

terbawa aliran air dan hanyut secara alami. Meskipun konsentrasi logam Cd rendah atau tergolong tidak tercemar, kemungkinan logam Cd akan terakumulasi pada tanaman jeruk terutama pada buahnya yang menjadi bagian yang dikonsumsi oleh masyarakat. Penelitian Zhao *et al.* (2014) menemukan kadar logam Cd pada lahan pertanian kedelai di China Selatan dalam kisaran 0,12–2,16 mg/kg dan pada kadar tersebut ditemukan kandungan logam Cd pada kedelai (biji) sebesar 0,11–0,91 mg/kg dengan persentase 3,9%. Dengan demikian, ada kemungkinan logam Cd terakumulasi pada buah jeruk siam.

Bioavailabilitas Logam Pb dan Cd dalam Tanah Jeruk Siam

Penentuan bioavailabilitas logam Pb dan Cd dalam tanah dilakukan menggunakan metode ekstraksi bertahap yang bertujuan untuk mengetahui fraksi/spesies kimia dari logam tersebut. Konsentrasi logam Pb dan Cd pada setiap fraksi dalam tanah perkebunan jeruk ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Konsentrasi Logam Pb dan Cd pada Masing-masing Fraksi

Lahan	Fraksi	Tanah Sebelum Jeruk Berbunga		Tanah Saat Panen Jeruk	
		Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)
1	I (EFLE)	107,8687±3,5897	2,2981± 0,0625	139,6513 ± 3,1301	1,3830 ± 0,0784
	II (Fe/Mn Oksida)	76,3221 ± 0,7830	0,5912 ± 0,0469	119,5360 ± 2,0858	0,7146 ± 0,0457
	III (Organik/sulfida)	104,1987±3,0409	0,7326 ± 0,0795	125,5811 ± 1,7352	0,4574 ± 0,0424
	IV (Resistent)	93,0334 ± 4,8078	1,7017 ± 0,0526	129,4231 ± 2,1043	0,8543 ± 0,0387
2	I (EFLE)	83,5717 ± 1,8291	0,7763 ± 0,0842	141,0994 ± 2,3562	0,9511 ± 0,0674
	II (Fe/Mn Oksida)	78,3776 ± 1,2226	1,0950 ± 0,0852	115,4429 ± 3,2192	0,3959 ± 0,0269
	III (Organik/sulfida)	96,3505 ± 2,0673	0,3033 ± 0,0385	123,0299 ± 3,2902	0,3033 ± 0,0385
	IV (Resistent)	88,2619 ± 1,8693	1,6090 ± 0,1051	134,8011 ± 1,6541	1,1259 ± 0,0675
3	I (EFLE)	78,1185 ± 0,9256	1,4036 ± 0,0752	122,4321 ± 2,7194	0,6323 ± 0,0324
	II (Fe/Mn Oksida)	81,0160 ± 1,5444	0,5912 ± 0,0528	116,4732 ± 2,7317	0,4267 ± 0,0227
	III (Organik/sulfida)	91,6687 ± 1,7426	0,4987 ± 0,0671	126,0995 ± 3,0233	0,3239 ± 0,0336
	IV (Resistent)	93,1976 ± 4,5490	1,1464 ± 0,0696	133,8500 ± 4,7366	1,1156 ± 0,0696

Tabel 2 menunjukkan logam Pb dan Cd dalam tanah sebelum tanaman jeruk berbunga pada lahan 1 (satu) didominasi oleh fraksi *EFLE* (F1), sehingga dapat diprediksi bahwa buah jeruk yang dihasilkan dari tanah di lahan tersebut banyak mengandung logam Pb dan Cd, lahan 2 (dua) didominasi oleh fraksi organik atau fraksi *oxidisable* (F3) yang berasosiasi dengan logam Pb dan logam Cd terikat lebih banyak pada mineral-mineral primer yang

sangat stabil atau fraksi *inert* (F4). Pada lahan 3 logam Pb didominasi oleh fraksi *inert* (F4) dan logam Cd didominasi oleh fraksi *EFLE* (F1). Logam Pb dan Cd saat didominasi oleh fraksi *EFLE* (F1) terlihat pada Lahan 1. Pada lahan 2 logam Pb sebagian besar berada pada fraksi *EFLE* (F1), sedangkan logam Cd sebagian besar berada sebagai fraksi *inert* (F4). Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat kecenderungan logam Pb dan Cd cukup besar berada pada fraksi *EFLE*

atau *bioavailable*. Hal ini dapat memberi informasi bahwa kandungan Pb dan Cd dalam buah jeruk Siam yang dianalisis cenderung tinggi.

Konsentrasi logam Pb dan Cd di setiap fraksi menunjukkan sifat bioavailabilitas logam tersebut. Persentase bioavailabilitas logam Pb ditentukan dengan membandingkan konsentrasi

logam di setiap fraksi dengan logam total dikalikan 100%. Persentase logam fraksi 1 (F1), fraksi 2 (F2) + fraksi 3 (F3), dan fraksi 4 (F4) secara berurutan merupakan logam yang bersifat *bioavailable*, berpotensi *bioavailable*, dan *nonbioavailable*. Persentase bioavailabilitas dari logam Pb dan Cd dalam tanah perkebunan jeruk siam ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Persentase Bioavailabilitas Logam Pb dan Cd Dalam Tanah Perkebunan Jeruk Siam

Lahan	Bioavailabilitas	Tanah sebelum tanaman jeruk berbunga		Tanah Saat Panen	
		Pb (%)	Cd (%)	Pb (%)	Cd (%)
1	<i>Bioavailable</i>	28,15	43,57	27,16	39,21
	Berpotensi <i>Bioavailable</i>	47,44	24,41	47,67	35,15
	<i>Non Bioavailabilitas</i>	24,41	32,03	25,17	25,64
2	<i>Bioavailable</i>	24,12	22,40	27,32	34,21
	Berpotensi <i>Bioavailable</i>	50,42	34,45	46,43	25,04
	<i>Non Bioavailabilitas</i>	25,46	41,12	26,25	40,75
3	<i>Bioavailable</i>	22,71	39,09	24,55	19,28
	Berpotensi <i>Bioavailable</i>	50,20	29,48	48,62	30,40
	<i>Non Bioavailabilitas</i>	27,09	31,43	26,83	50,32

Tabel 3 menunjukkan bahwa persentase logam Pb yang dominan adalah logam yang berpotensi *bioavailable*, sedangkan logam Cd yang dominan adalah logam yang bersifat *bioavailable* dan non *bioavailable*. Tingkat bioavailabilitas logam Pb pada tanah perkebunan jeruk siam di Daerah Kintamani pada lahan 1, 2 dan 3 sebelum berbunga adalah berpotensi *bioavailable* > *bioavailable* > non *bioavailable*. Pada logam Cd di lahan 1 dan 3 adalah *bioavailable* > non *bioavailable* > berpotensi *bioavailable* sedangkan lahan 2 non *bioavailable* > berpotensi *bioavailable* > *bioavailable*.

Logam yang berada sebagai fraksi labil atau *bioavailable* yaitu logam-logam yang terkandung dalam fraksi *EFLE*. Logam Pb yang *bioavailable* ditemukan berkisar antara 22,71-28,15%. Pada kisaran tersebut konsentrasi logam Pb pada tanah perkebunan jeruk di Daerah Kintamani memiliki peluang untuk diserap oleh tanaman jeruk siam yang tumbuh pada tanah tersebut. Keberadaan logam Pb dan Cd dalam tanah pertanian dipastikan bersumber dari aktivitas manusia seperti penggunaan bahan agrokimia dalam jangka waktu yang panjang dan berkelanjutan (Siaka *et al.*, 2016).

Logam yang berpotensi *bioavailable* adalah logam-logam yang berikatan dengan Fe/Mn oksida dan organik/sulfida. Pada penelitian ini ditemukan bahwa logam Pb yang berpotensi *bioavailable* dominan di setiap lahannya yaitu sekitar 47,44-50,42%. Persentase logam Pb yang berpotensi *bioavailable* cukup tinggi mengindikasikan bahwa tanah pertanian di daerah ini mengandung Fe/Mn oksida dan organik/sulfida yang cukup besar. Hasil yang sama diperoleh pada penelitian Siaka *et al.* (2021), dimana Pb yang ada dalam tanah pertanian di Desa Baturiti didominasi oleh Pb yang berpotensi *bioavailable*. Hal ini disebabkan oleh pemberian pupuk kandang kotoran ayam yang dapat meningkatkan kandungan bahan organik dan asam-asam organik berupa fulvat dan humat dalam tanah sehingga dapat meningkatkan ion H⁺ yang dapat ditukar dan membuat logam Pb lebih kuat berikatan dengan bahan organik. Hal ini menyebabkan meningkatnya kapasitas tukar kation.

Logam-logam yang non *bioavailable* adalah logam-logam terikat kuat pada mineral-mineral primer dalam tanah sehingga disebut logam yang non *bioavailable* atau logam *inert*. Dari hasil yang diperoleh persentase logam Pb

yang non *bioavailable* lebih rendah dibandingkan dengan logam Cd yaitu 24,41-27,09% untuk logam Pb dan 31,43-41,12% untuk logam Cd. Konsentrasi logam Cd pada fraksi 4 yang tinggi pada lahan 3 dan ini membuktikan bahwa aktivitas alam seperti pelapukan batuan menyumbang logam Cd lebih banyak dari aktivitas manusia. Fraksi ini bersifat non *bioavailable* karena logam terikat kuat sebagai silikat atau fase mineral yang sangat stabil sehingga sulit untuk terlepas dan terabsorpsi oleh tanaman.

Konsentrasi Logam Pb dan Cd pada Buah Jeruk Siam

Konsentrasi logam Pb dan Cd pada buah jeruk siam dianalisis pada bagian daging dan kulit buah. Tanaman jeruk dapat terkontaminasi logam berat dengan penyerapan melalui akar dari tanah atau melalui kulit jeruk dari polusi udara. Konsentrasi logam Pb dan Cd ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Konsentrasi Logam Pb dan Cd Total pada Buah Jeruk Siam

Lahan	[Pb] Total \pm SD (mg/kg)	[Cd] Total \pm SD (mg/kg)
1	24,2205 \pm 0,2415	13,7259 \pm 0,1226
2	19,7094 \pm 0,2252	12,3983 \pm 0,1055
3	18,3048 \pm 0,1997	15,9922 \pm 0,0989

Pada Tabel 4 terlihat bahwa konsentrasi logam Pb dan Cd dalam buah jeruk siam melebihi ambang batas. Menurut Peraturan BPOM Nomor 5 Tahun 2018, konsentrasi Pb pada buah tidak melebihi 0,2 mg/kg sedangkan cemaran Cd tidak melebihi 0,05 mg/kg. Konsentrasi logam Pb tertinggi terdapat pada lahan 1 dan terendah pada lahan 3. Tingginya konsentrasi Pb pada buah jeruk siam dipengaruhi oleh konsentrasi logam Pb pada tanah, bioavailabilitasnya yang tinggi serta penggunaan pestisida dan polusi udara seperti partikulat debu dan asap. Lokasi perkebunan yang berada di pinggir jalan raya dapat menerima pencemaran logam Pb lebih banyak daripada lokasi lahan yang lebih jauh dari jalan raya (Anita *et al.*, 2015).

Konsentrasi logam Cd tertinggi dan terendah secara berturut-turut terdapat pada Lahan 3, Lahan 1, dan lahan 2. Hal ini membuktikan bahwa, semakin tinggi logam yang *bioavailable*, semakin tinggi kandungan

logam berat yang ada dalam tanaman. Pernyataan ini terjadi seperti yang ditunjukkan oleh kandungan logam Cd yang *bioavailable* pada lahan 3 lebih tinggi dibandingkan lahan 1 dan 2. Konsentrasi logam Cd pada buah jeruk tertinggi terdapat pada lahan 3 yaitu sebesar 15,9922 mg/kg, apabila dibandingkan dengan konsentrasi logam yang bersifat *bioavailable* (F1) tanah sebelum berbunga, hasil yang diperoleh sesuai karena pada lahan 3 konsentrasi logam Cd yang bersifat *bioavailable* sebesar 3,6400 mg/kg dengan persentase bioavailabilitas sebesar 39,09%.

SIMPULAN

Konsentrasi logam Pb dan Cd total pada tanah sebelum tanaman jeruk berbunga berkisar antara 344,0007-381,4229 mg/kg dan 3,6400-5,3236 mg/kg namun saat panen logam Pb mengalami kenaikan menjadi 498,8548-514,3733 mg/kg dan logam Cd mengalami penurunan menjadi 3,4094-2,7658 mg/kg. Tanah pertanian di Daerah Kintamani tergolong tidak tercemar logam Pb dan Cd menurut nilai *the Farmer Greater London Council* (GLC). Konsentrasi logam Pb pada buah jeruk yaitu berkisar 18,3048-24,2205 mg/kg dan logam Cd berkisar 12,3983-15,9922 mg/kg. Kandungan logam Pb dan Cd dalam buah jeruk siam melewati ambang batas menurut Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 5 Tahun 2018 yaitu melewati 0,2 mg/kg untuk Pb dan 0,05 mg/kg untuk Cd.

Hasil analisis fraksi logam Pb pada tanah sebelum tanaman jeruk berbunga didominasi oleh fraksi EFLE (F1) di lahan 1, fraksi organik/sulfida (F3) di lahan 2, dan fraksi resisten (F4) di lahan 3. Akan tetapi, logam Cd didominasi oleh fraksi EFLE (F1) pada lahan 1 dan 3 dan fraksi resisten (F4) pada lahan 2. Pada tanah saat panen buah jeruk, logam Pb di lahan 1 dan 2 didominasi oleh fraksi EFLE (F1) dan lahan 3 oleh fraksi resisten (F4), sedangkan logam Cd di lahan 1 didominasi oleh fraksi EFLE (F1), lahan 2 dan 3 didominasi oleh fraksi resisten (F4). Bioavailabilitas logam Pb pada tanah sebelum tanaman jeruk berbunga dan saat panen di setiap lahan adalah berpotensi *bioavailable* dengan persentase rata-rata sebesar 49,35% dan 47,64%, sedangkan bioavailabilitas logam Cd di lahan 1 dan 3 adalah *bioavailable* dan lahan 2 adalah *non bioavailable* dengan persentase sebesar 41,33% dan 41,12%.

DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B. J. 1995. *Heavy Metals in Soils*. Springer Netherlands. New York.
- Fang, B, dan Zhu, X. 2014. High Content of Five Heavy Metals in Four Fruits. *Food Control*. 39:62-67.
- Fergusson, J.E. 2007. *The Heavy Element Chemistry, Environmental Impact And Health Effect*. Fergusson Press Oxford. USA.
- Hartini, E. 2011. Kadar Pb dalam Umbi Batang Merah di Kecamatan Kersana Kabupaten Brebes. *Jurnal Visikes*. 10 (1):69-75.
- Nopriani, L.S. 2011. Teknik Uji Cepat Identifikasi Pencemaran Logam Berat Tanah di Lahan Apel Batu. *Disertasi*. Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.
- Siaka, I M. 2016. Spesiasi Dan Bioavailabilitas Logam Berat dalam Tanah dan Akumulasinya dalam Sayuran Dasar Penentuan Tingkat Aman Konsumsi. *Disertasi*. Program Doktor/S3/ Universitas Udayana. Bali.
- Siaka, I M., Nurcahyani, H., Manuaba, I.B.P. 2019. Spesiasi dan Bioavailabilitas Pb dan Cu dalam Tanah Pertanian Organik di Bedugul serta Kandungan Logam Totalnya dalam Sayur Brokoli. *Jurnal Kimia (Journal of Chemistry)*. 13(2): 145-152.
- Siaka, I. M., Udayani, P. D. S., Suyasa, I. W. B. 2021. Bioavailabilitas dan Kandungan Pb, Cu pada Tanah dan Sawi Putih Di Desa Baturiti. *Jurnal Kimia (Journal Of Chemistry)*. 15(1): 20-28.
- Widyatmoko, H. 2011. Akurasi pH sebagai Parameter Tingkat Pencemaran Logam Berat dalam Tanah. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 5(5):173-178.
- 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, K.P.D.P., 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 (Journal of Chemistry)*. 10 (1):23-31.
- Zhao, Y., X. Fang, Y. Mu, Y.Cheng, Q. Ma, H. Nian, and C. Yang. 2014. Metal pollution (Cd, Pb, Zn, and As) in agricultural soils and soybean, glycine max, in Southern China. *Environ. Contamination and Toxicology*. 92(4):427–432.