

SPEIASI DAN BIOAVAILABILITAS Pb DAN Cu DALAM TANAH PERTANIAN ORGANIK DI BEDUGUL SERTA KANDUNGAN LOGAM TOTALNYA DALAM SAYUR BROKOLI

I M. Siaka*, H. Nurcahyani dan I B. P. Manuaba

*Progam Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana
Jalan Kampus Unud-Jimbaran, Jimbaran-Bali, Indonesia
e-mail: made_siaka@unud.ac.id

ABSTRAK

Daerah Bedugul adalah sentra penghasil sayur mayur di Bali yang juga mengembangkan pertanian organik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bioavailabilitas Pb dan Cu dalam tanah pertanian organik di Bedugul serta kandungan kedua logam dalam sayur brokoli sebelum penanaman dan saat panen. Ekstraksi logam dilakukan melalui digesti basah dan bioavailabilitasnya ditentukan melalui metode ekstraksi bertahap. Pengukuran kedua logam dilakukan dengan menggunakan AAS. Kandungan Pb total dalam tanah pertanian organik sebelum penanaman dan saat panen berturut-turut 746,1042-897,3754 mg/kg dan 277,7876-328,8217 mg/kg, sedangkan untuk Cu sebesar 93,1281-114,3259 mg/kg, dan 48,6088-92,3708 mg/kg. Bioavailabilitas Pb dan Cu dalam tanah pertanian organik sebelum penanaman berbeda dengan tanah pertanian organik saat panen. Logam Pb dalam tanah pertanian organik sebelum penanaman yang serta merta bioavailabel, berpotensi bioavailabel, dan nonbioavailabel berturut-turut (17,80-21,62)%, (44,07-47,65)%, dan (30,73-36,89)%, sedangkan untuk Cu (5,02-7,89)%, (55,73-60,57)%, dan (32,81-39,25)%. Kandungan Pb dan Cu total dalam sayur brokoli sebesar (27,2968-30,3621) mg/kg dan (27,0303-30,0223) mg/kg.

Kata kunci: bioavailabilitas, brokoli, Pb dan Cu, spesiasi, tanah pertanian organik

ABSTRACT

Bedugul area is a vegetable producing center in Bali that also develops organic farming. This study aimed to determine the bioavailability of Pb and Cu in an organic farm in Bedugul and the content of both metals in broccoli before planting and at harvest. Metal extraction was carried out through wet digestion and its bioavailability was determined by the application of the sequential extraction methods. The measurement of the two metals was accomplished by using AAS. The total Pb content in the organic soils before and after harvesting were found to be 746.102-897.3754 mg/kg and 277.778-328.8217 mg/kg, while Cu were of 93.1212-114.3259 mg/kg, and 48,608-92.3708 mg/kg, respectively. The bioavailability of Pb and Cu in soils before planting was different from that of at harvest. Pb metal in organic soil before planting which were readily bioavailable, bioavailable, and nonbioavailable were found to be (17.80-21.62)%, (44.07-47.65)%, and (30.73-36, 89)%, while Cu were of (5.02-7.89)%, (55.73-60.57)%, and (32.81-39.25)%, respectively. The total Pb and Cu contents in broccoli were of (27,2968-30,3621) mg/kg and (27,0303-30,0223) mg/kg, respectively.

Keywords: bioavailability, broccoli, organic agriculture soil, Pb and Cu, speciation

PENDAHULUAN

Sayur brokoli dengan nilai ekonomis yang cukup tinggi dijadikan salah satu sayuran yang dibudidayakan oleh para petani di daerah Bedugul, baik dari tanah pertanian anorganik maupun organik. Hasil produksi dari tanah pertanian organik biasanya dianggap lebih baik dibandingkan dengan tanah pertanian anorganik, karena pupuk dan pestisida yang digunakan berasal dari sisa-sisa makhluk hidup yang diolah melalui proses

pembusukan/dekomposisi oleh bakteri pengurai. Kenyataannya tanah pertanian organik mengandung logam berat yang cukup tinggi yang berasal dari pupuk organik yang digunakan. Menurut Alloway (1990) pupuk kompos dan kandang mengandung Pb dan Cu berturut-turut sebesar 1,3-2.240 mg/kg dan 13-3.580 mg/kg dan 30-969 mg/kg dan 2-172 mg/kg. Tanah pertanian yang tercemar logam berat dapat mempengaruhi tanaman yang tumbuh di tanah pertanian tersebut. Logam berat akan masuk ke dalam jaringan tanaman

melalui akar dan daun, dan akan masuk ke dalam siklus rantai makanan (Widowati dkk, 2008). Penyerapan logam berat oleh tanaman sangat bergantung pada spesies dan bioavailabilitas logam berat tersebut di dalam tanah. Bioavailabilitas merupakan ketersediaan sejumlah logam yang diserap oleh hayati (organisme dan tumbuhan) yang dapat menyebabkan respon toksik. (Widaningrum dkk, 2007).

Pada dasarnya, spesiasi logam berat dalam tanah adalah fraksinasi dari kandungan logam total menjadi dalam bentuk dapat dipertukarkan (terikat dengan mineral-mineral tanah liat), bentuk terekstraksi asam (terikat dengan karbonat dan hidroksida), bentuk dapat direduksi (terikat dengan Fe/Mn oksida), bentuk teroksidasi (terikat bahan organik/sulfida), dan bentuk residu yang terikat dalam mineral seperti silikat. Bentuk-bentuk seperti ini dapat bersifat *bioavailable*, berpotensi *bioavailable*, dan *non bioavailable*. Logam yang langsung *bioavailable* terdapat dalam bentuk *exchangeable* dan terekstraksi asam, logam yang berpotensi *bioavailable* dalam bentuk *reducible* dan *oxidizable*, dan yang *non-bioavailable* terdapat dalam bentuk residu yang terikat dalam silikat atau mineral (Oluremi *et al.*, 2013).

Berdasarkan penelitian Tri Rahayu (2015) menyatakan konsentrasi rata-rata Cu total dalam tanah pertanian organik berusia 4 dan 5 tahun berkisar antara 41,8808-49,1060 mg/kg dan 22,8544-41,6616 mg/kg yang sudah dikategorikan pada tingkat pencemaran sedang, yaitu 25-75 mg/kg. Oleh karena itu, pencemaran pada tanah pertanian organik perlu diteliti agar mengetahui tanaman yang tumbuh diatas tanah pertanian tersebut tercemar atau tidak, serta perlu dilakukan analisis fase kimia (spesies-spesies) logam berat tersebut untuk menentukan mobilitasnya sehingga dapat diketahui bioavailabilitasnya.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel tanah dari lahan pertanian organik dan sayur brokoli di daerah Bedugul, HCl (p.a), HNO₃ (p.a), Pb(NO₃)₂, CuSO₄·5H₂O, CH₃COONH₄, NH₂OH.HCl, CH₃COOH (p.a), H₂O₂, dan aquades.

Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah labu ukur, gelas ukur, gelas beaker, pipet volume, pipet tetes, mortar, oven, neraca analitik, erlenmeyer, corong, kertas saring, botol semprot, ayakan 63 µm, sendok plastik, kantong plastik, botol plastik, penangas air, *hotplate*, sentrifugasi, pH meter, *thermometer*, mesin penggojog (*shaker*), *ultrasonic bath* dan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS).

Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium FTP Universitas Udayana, Laboratorium Penelitian Program Studi Kimia FMIPA Universitas Udayana, dan Laboratorium Bersama FMIPA Universitas Udayana.

CARA KERJA

Preparasi

Preparasi sampel tanah

Sampel tanah dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C hingga massa konstan. Sampel tanah yang telah kering digerus dengan mortar hingga halus, diayak dengan ayakan 63 µm, dan disimpan dalam botol untuk analisis lebih lanjut.

Preparasi sampel sayur brokoli

Sampel sayur brokoli dicuci dengan aquades, dipotong kecil, dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C hingga massa konstan. Sampel yang telah kering digerus dengan mortar hingga halus, diayak dengan ayakan 63 µm, dan disimpan dalam botol untuk analisis lebih lanjut.

Penentuan konsentrasi logam Pb dan Cu total dalam tanah

Sebanyak 1 gram sampel tanah dimasukkan ke dalam gelas beaker, dan ditambahkan 10 mL larutan *reverse aquaregia* yaitu campuran HCl pekat dan HNO₃ (1:3). Kemudian campuran didigesti dengan *ultrasonic bath* pada suhu 60°C selama 45 menit dan dipanaskan pada *hotplate* pada suhu 140°C selama 45 menit. Larutan yang diperoleh disaring, filtratnya ditampung dan

diencerkan dengan aquades dalam labu ukur 50 mL sampai tanda batas. Larutan tersebut diukur dengan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) pada panjang gelombang 217,0 nm untuk Pb dan 324,7 nm untuk Cu.

Penentuan konsentrasi logam Pb dan Cu total dalam brokoli

Sebanyak 1 gram sampel sayur brokoli dimasukkan ke dalam gelas beaker, dan ditambahkan 10 mL larutan *reverse aquaregia* yaitu campuran HCl pekat dan HNO₃ pekat (1:3). Kemudian campuran didigesti dengan *ultrasonic bath* pada suhu 60°C selama 45 menit dan dipanaskan pada *hotplate* pada suhu 140°C selama 45 menit. Larutan hasil digesti disentrifugasi hingga diperoleh supernatant. Supernatant yang diperoleh ditampung dan diencerkan dengan aquades dalam labu ukur 50 mL sampai tanda batas. Larutan tersebut diukur dengan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) pada panjang gelombang 217,0 nm untuk Pb dan 324,7 nm untuk Cu (Siaka *et al.*, 2006).

Ekstraksi Bertahap

Prosedur penelitian ekstraksi bertahap didasarkan atas metode yang diusulkan oleh Davidson *et al.* (1998)

Ekstraksi Tahap I (Fraksi Easly, Freely, Leachable, and Exchangeable)

Sebanyak 1 gram sampel tanah ditambahkan 40 mL CH₃COOH 0,1 M, lalu digojog selama 2 jam, dan disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 400 rpm. Filtrat yang diperoleh dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas, kemudian diukur dengan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) pada panjang gelombang 217,0 nm untuk Pb dan 324,7 nm untuk Cu. Residu yang diperoleh digunakan untuk ekstraksi tahap selanjutnya.

Ekstraksi Tahap II (Fraksi Mn dan Fe Oksida)

Residu fraksi I ditambahkan 40 mL NH₂OH.HCl 0,1 M dan tingkat keasaman diatur pada pH 2 dengan menambahkan (HNO₃). Campuran digojog selama 2 jam, dan

disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 400 rpm. Filtrat yang diperoleh dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas, kemudian diukur dengan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) pada panjang gelombang 217,0 nm untuk Pb dan 324,7 nm untuk Cu. Residu yang diperoleh digunakan untuk ekstraksi tahap selanjutnya.

Ekstraksi Tahap III (Fraksi Organik dan Sulfida)

Residu fraksi II ditambahkan 10 mL larutan H₂O₂ 8,8 M kemudian didiamkan selama 1 jam pada suhu ruang dan dikocok sesekali. Selanjutnya campuran dipanaskan pada suhu 85°C selama 1 jam dalam penangas air. Campuran ditambah 10 mL larutan H₂O₂ 8,8 M dan dipanaskan kembali pada suhu 85°C selama 1 jam. Selanjutnya campuran didinginkan dan ditambahkan 20 mL CH₃COONH₄ 1 M, dan ditambahkan HNO₃ untuk mengatur tingkat keasaman pada pH 2. Campuran digojog selama 2 jam dan disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 400 rpm. Supernatant yang diperoleh dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas, kemudian diukur dengan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) pada panjang gelombang 217,0 nm untuk Pb dan 324,7 nm untuk Cu. Residu yang diperoleh digunakan untuk ekstraksi tahap selanjutnya.

Ekstraksi Tahap IV (Fraksi Resistant)

Residu fraksi III dicuci dengan 10 mL aquades dan ditambahkan 10 mL campuran HNO₃ pekat dan HCl pekat (3:1). Campuran sampel didigesti dengan *ultrasonic bath* pada suhu 60°C selama 45 menit dan dipanaskan pada *hotplate* pada suhu 140°C selama 45 menit. Selanjutnya campuran disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 400 rpm. Supernatant yang diperoleh dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas, kemudian diukur dengan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) pada panjang gelombang 217,0 nm untuk Pb dan 324,7 nm untuk Cu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Pb dan Cu Total Dalam Sampel Tanah Pertanian Organik

Penentuan konsentrasi Pb dan Cu total dalam sampel tanah pertanian organik dilakukan dengan metode kurva kalibrasi. Persamaan regresi linier dari kurva kalibrasi logam Pb yaitu $y = 0,0402x + 0,0019$ dengan koefisien regresi (R) 0,9998 dan untuk logam Cu $y = 0,1896x + 0,0077$ dengan koefisien regresi (R) 0,9996. Hasil koefisien regresi (R) logam Pb dan Cu yang diperoleh memberikan linearitas kurva kalibrasi yang baik dan dinyatakan valid karena memiliki nilai $R \geq 0,9970$ (Chan *et al.*, 2004). Persamaan regresi linier dari kedua logam tersebut digunakan untuk menentukan konsentrasi logam Pb dan Cu total dalam sampel tanah pertanian organik

dan sayur brokoli. Kandungan total logam Pb dan Cu dalam tanah pertanian organik sebelum penanaman secara berturut-turut adalah 746,1042–897,3754 mg/kg dan 93,1281–114,3259 mg/kg, dan 277,7876–328,8217 mg/kg dan 48,6088–92,3708 mg/kg dalam tanah pertanian organik saat panen. Hasil tersebut menunjukkan kandungan logam Pb total dalam tanah dari ketiga lahan pertanian organik sebelum penanaman dikategorikan agak tercemar, yaitu 500-1000 mg/kg, sedangkan tanah saat panen masih dalam batas yang diperbolehkan, yaitu 0-500 mg/kg (Alloway, 1990). Kandungan logam Cu total dalam tanah pertanian organik sebelum penanaman dan saat panen berada pada tingkat pencemaran tinggi, yaitu 75-200 ppm (Rosmarkam dan Yuwono, 2002).

Tabel 1. Kandungan Logam Pb dan Cu Total dalam Tanah Pertanian Organik

Lahan	TPO Sebelum Penanaman		TPO Saat Panen	
	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)
1	746,1042 ± 1,6269	93,1281 ± 1,4059	277,7876 ± 2,3697	48,6088 ± 2,3070
2	857,9188 ± 2,2966	114,3259 ± 1,8487	324,4459 ± 2, 1671	92,3708 ± 1,8463
3	897,3754 ± 3,0006	110,8850 ± 2, 0163	328,8217 ± 1,9301	56,9175 ± 2,2361

Kandungan logam Pb yang lebih tinggi dari Cu dipengaruhi oleh logam Cu yang terikat kuat pada senyawa organik sehingga mobilitasnya dalam tanah berkurang (Reichman, 2002). Kandungan logam Pb dan Cu dalam tanah sebelum penanaman lebih tinggi dibanding tanah saat panen menunjukkan sejumlah tertentu logam selama penanaman sayuran terserap ke dalam tanaman dan terakumulasi pada bagian tertentu tanaman atau terserap oleh organisme lain di tanah tersebut. Tingginya kandungan logam Pb dan Cu pada tanah pertanian organik dapat dipengaruhi oleh penggunaan pupuk yang mengandung logam berat, dan emisi gas buang dari kendaraan bermotor yang mengandung TEL dan TML. Mengingat Bedugul merupakan daerah pariwisata, seperti yang dilaporkan oleh Saputra (2013), bahwa tanah pertanian dekat jalan raya mengandung logam Pb hingga 14,6162 mg/kg lebih tinggi dari tanah yang jauh dari jalan raya.

Spesiasi dan Bioavailabilitas Pb dan Cu dalam Tanah

Penentuan spesiasi dan bioavailabilitas Pb dan Cu dalam tanah pertanian organik dilakukan dengan metode ekstraksi bertahap yang dikembangkan oleh Tessier *et al.* (1979) dengan membagi fraksi-fraksi dalam berbagai jenis ikatannya, yaitu fraksi *EFLE* (*Easily, Freely, Leachable, and Exchangeable*), fraksi Fe/Mn oksida (*Acid Reducible*), fraksi organik dan sulfida (*Oxidisable*), dan fraksi *resistant*. Konsentrasi dan persentase logam Pb dan Cu terekstraksi dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3.

Persentase logam dalam tanah pertanian sebelum penanaman dan saat panen yang terekstraksi pada fraksi *EFLE* berkisar antara 17,80-21,62% dan 6,19-12,07% untuk Pb, serta 5,02-7,89% dan 3,05-8,13% untuk Cu. Fraksi *EFLE* merupakan fraksi yang *mobile* mudah larut dalam air dan asam lemah, sangat labil, mudah terionisasi, cenderung berupa

senyawa karbonat atau sebagai ion, mudah dipertukarkan tanpa melalui reaksi oksidasi reduksi seperti ikatan karbonat dan penukar ion. Persentase logam yang terekstrak pada fraksi Fe/Mn oksida dari tanah pertanian sebelum penanaman dan saat panen berturut-turut adalah 20,21-23% dan 15,55-24,63% untuk Pb, dan untuk Cu sebesar 12,91-14,30% dan 1,47-5,92%. Fraksi Fe/Mn oksida merupakan fraksi yang menunjukkan logam yang terikat pada Fe/Mn oksida yang dapat direduksi oleh asam.

Pada fraksi organik/sulfida, persentase logam terekstraksi dalam tanah pertanian sebelum penanaman dan saat panen sebesar 22,96-25,23% dan 28,80-32,03% untuk Pb, sedangkan untuk Cu sebesar

42,80-46,27% dan 40,67-56,07%. Fraksi organik/sulfida menunjukkan logam-logam yang terikat kuat pada bahan organik/sulfida dapat terdegradasi apabila ada oksidator kuat dalam tanah tersebut. Persentase logam Pb dalam tanah pertanian sebelum penanaman yang terekstrak pada fraksi *resistant* berkisar antara 30,73-36,89% dan 38,67-42,36%, sedangkan untuk logam Cu sebesar 32,81-39,25% dan 39,41-47,64%. Fraksi *resistant* merupakan fraksi yang mencakup logam yang bersifat stabil dan terikat kuat pada mineral-mineral dalam tanah (Gasparatos *et al.*, 2005)

Tabel 2. Logam Pb dan Cu yang Terekstraksi dalam Tanah Pertanian Organik Sebelum Penanaman

Lahan	Fraksi	Konsentrasi (mg/kg)		% Terekstraksi	
		Pb	Cu	Pb	Cu
1	<i>EFLE</i>	161,4829	7,3789	21,61	7,89
	Fe/Mn Oksida	171,6739	12,4616	23,00	13,46
	Organik/Sulfida	183,7137	40,6766	24,65	43,60
	<i>Resistant</i>	229,2319	32,6109	30,73	35,06
2	<i>EFLE</i>	152,7237	5,7419	17,80	5,02
	Fe/Mn Oksida	173,3798	14,7699	20,21	12,91
	Organik/Sulfida	216,7587	48,9277	25,23	42,82
	<i>Resistant</i>	315,0567	44,8914	36,76	39,25
3	<i>EFLE</i>	171,2383	7,3203	19,04	6,61
	Fe/Mn Oksida	189,4109	15,8922	21,11	14,30
	Organik/Sulfida	205,8607	51,3482	22,96	46,27
	<i>Resistant</i>	330,8656	36,3243	36,89	32,81

Tabel 3. Logam Pb dan Cu yang Terekstraksi dalam Tanah Pertanian Organik Saat Panen

Lahan	Fraksi	Konsentrasi (mg/kg)		% Terekstraksi	
		Pb	Cu	Pb	Cu
1	<i>EFLE</i>	17,0729	3,9287	6,19	8,13
	Fe/Mn Oksida	58,3628	2,8487	21,01	5,92
	Organik/Sulfida	84,4424	19,8542	30,44	40,67
	<i>Resistant</i>	117,9094	21,9773	42,36	45,27
2	<i>EFLE</i>	25,6441	2,8330	7,90	3,05
	Fe/Mn Oksida	79,9368	1,3483	24,63	1,47
	Organik/Sulfida	93,4260	52,0575	28,80	56,07
	<i>Resistant</i>	125,4390	36,1321	38,67	39,41
3	<i>EFLE</i>	39,6897	3,7174	12,07	6,41
	Fe/Mn Oksida	51,1455	2,6677	15,55	4,60
	Organik/Sulfida	105,3428	23,6911	32,03	41,35
	<i>Resistant</i>	132,6617	26,8413	40,35	47,64

Bioavailabilitas logam Pb dan Cu dalam tanah pertanian organik dapat diketahui dengan membandingkan konsentrasi logam yang terakstraksi pada setiap fraksi dengan konsentrasi logam berat total pada masing-masing lahan. Persentase logam yang terakstraksi pada fraksi *EFLE* merupakan logam yang langsung bioavailabel atau tersedia untuk hayati, fraksi Fe/Mn oksida dan fraksi organik/sulfida merupakan logam yang berpotensi bioavailabel, serta fraksi 4 atau fraksi *resistant* adalah logam yang non bioavailabel. Pada penelitian ini persentase logam Pb dan Cu yang langsung bioavailabel pada tanah pertanian organik sebelum penanaman berkisar 17,80-21,62% dan 5,02-7,89%, sedangkan logam yang berpotensi bioavailabel sebesar 44,07-47,65% dan 55,73-60,57%. Persentase logam Pb dan Cu yang non bioavailabel adalah 30,73-36,89% dan 32,81-39,25%.

Persentase logam Pb dan Cu yang berpotensi bioavailabel lebih tinggi mengindikasikan bahwa tanah pertanian mengandung Fe/Mn oksida dan organik/sulfida yang relatif tinggi, dimana Fe/Mn oksida dan organik/sulfida memegang peran penting dalam mengikat logam Pb sehingga menjadi kurang bioavailabel dalam keadaan normal. Bioavailabilitas logam Cu yang relatif rendah menunjukkan bahwa tanaman yang tumbuh pada tanah pertanian tersebut kemungkinan tidak tercemar oleh Cu, dan Cu merupakan unsur mikro yang diperlukan dalam metabolisme tumbuhan. Selain itu, Cu yang berpotensi bioavailabel akan sulit terdegradasi dan berubah menjadi spesies logam bebas yang bioavailabel, karena Cu memiliki afinitas yang kuat terhadap senyawa organik yang ada dalam tanah (Reichman, 2002).

Konsentrasi Pb dan Cu Total Dalam Sampel Sayur Brokoli

Edible part, yaitu bagian massa bunga (*curd*) yang berwarna hijau yang tersusun rapat dengan batang tebal. Kandungan Pb dan Cu total secara berturut-turut sebesar 27,2968–30,3621 mg/kg dan 27,0303–30,0223 mg/kg. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kandungan logam Pb yang terkandung dalam sayur

brokoli dari tanah pertanian organik di daerah Bedugul sangat tinggi, dan telah melewati batas maksimum yang ditentukan oleh Badan Standarisasi Nasional Indonesia 7387:2009, yaitu 0,5 mg/kg untuk logam Pb dalam sayuran dan olahannya. Sementara itu, kandungan logam Cu masih berada di bawah ambang batas dan dalam kategori aman berdasarkan Surat Keputusan Direktur Jendral POM No.03725/B/SKVII/89 yang memperbolehkan kadar logam Cu dalam sayuran serta olahannya sebesar 50 mg/kg.

Tabel 4. Kandungan Pb dan Cu dalam Sayur Brokoli

Lahan	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)
1	28,4776 ± 1,0774	27,8513 ± 1,3595
2	30,3621 ± 2,0971	30,0223 ± 2,0509
3	27,2968 ± 1,8484	27,0303 ± 1,8326

Besarnya kandungan Pb dan Cu dalam *edible part* sayur brokoli dipengaruhi oleh kandungan logam yang mencemari tanah pertanian akibat penggunaan pupuk, dan emisi gas buang kendaraan bermotor yang mengandung TEL dan TML. Faktor lain yang mempengaruhi akumulasi logam berat dalam tanaman yaitu jangka waktu tanaman kontak dengan logam berat, jenis logam, spesies tanaman, komposisi tanah, kondisi geografis dan atmosfer, suhu dan pH tanah, bagian tanaman, mobilitas ion logam ke zona perakaran, pergerakan logam berat dari permukaan akar ke dalam akar tanaman dan pergerakan logam berat dalam jaringan tanaman lainnya (Radulescu *et al.*, 2013; Alloway, 1990). Logam Pb merupakan logam non esensial yang keberadaannya dalam tubuh tidak dibutuhkan, dan bersifat toksik (Widowati dkk, 2008), karena keberadaannya dalam tubuh bersifat menghambat kerja enzim (Purnomo, 2007). Logam (Cu) merupakan logam esensial yang dibutuhkan oleh makhluk hidup dalam jumlah tertentu. Logam Cu diperlukan oleh berbagai sistem enzim dalam tubuh manusia, sehingga Cu harus selalu ada di dalam makanan. Logam Cu yang berlebihan dalam tubuh manusia akan menimbulkan efek toksik yang menyebabkan gangguan kesehatan, bahkan kematian (Purwiyanto, 2013).

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Kandungan total logam Pb dan Cu secara berturut-turut adalah 746,1042–897,3754 mg/kg dan 93,1281–114,3259 mg/kg dalam tanah pertanian organik sebelum penanaman, dan 277,7876–328,8217 mg/kg dan 48,6088–92,3708 mg/kg dalam tanah pertanian organik saat panen, serta 27,2968–30,3621 mg/kg dan 27,0303–30,0223 mg/kg dalam sayur brokoli. Logam Pb dan Cu dalam tanah pertanian organik sebelum penanaman yang bioavailabel sebesar 17,80-21,62% dan 5,02-7,89%, sedangkan yang berpotensi bioavailabel sebesar 44,07-47,65% dan 55,73-60,57%, dan logam Pb dan Cu yang non bioavailabel sebesar 30,73-36,89% dan 32,81-39,25%. Selain itu, logam Pb dan Cu dalam tanah pertanian organik saat panen yang bioavailabel sebesar 6,19-12,07% dan 3,05-8,13%, sementara yang berpotensi bioavailabel sebesar 47,58-53,43% dan 58,63-81,00%, dan logam Pb dan Cu yang non bioavailabel adalah 38,67-42,36% dan 10,87-38,33%.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai akumulasi logam berat lainnya dalam tanah pertanian organik sehingga dapat diketahui tingkat pencemaran akibat logam berat serta hubungan antara bioavailabilitas logam dalam tanah dengan kandungan logam total dalam sayur brokoli yang ditanam di tanah pertanian tersebut serta menganalisis seluruh bagian sayur brokoli untuk mengetahui bagian tanaman tersebut yang mengakumulasi logam berat paling banyak.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada Bapak Mangku sebagai pemilik lahan yang telah mengizinkan lahan pertaniannya sebagai lokasi *sampling*, Bapak dan Ibu laboran di Laboratorium Bahan Pangan Fakultas Teknologi Pertanian, dan Laboratorium Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana yang telah membantu penelitian sehingga tulisan ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B.J. 1990 *Heavy Metal in Soils*. New York: Jhon Willey and Sons Inc.
- Chan, C. C., Lam, H., Lee, Y. C., Zhang, X. 2004. *Analytical Method Validation and Instrument Performance Verification*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. Publication.
- Charlena. 2004. *Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) pada Sayur-sayuran*, Falsafah Sains Program Pascasarjana S3 IPB, Bogor.
- Davidson, C.M., Duncan, A.L., Littlejohn, D., Ure, A.M., Garden, L.M. 1998. Critical Evaluation of the Three-Stage BCR Sequential Extraction Procedure to Assess the Potential Mobility and Toxicity of Heavy Metals in Industrially-Contaminated Land, *Analytica Chimica Acta*, 363(1): 45-55.
- Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan. 1989. Surat Keputusan Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan No. 03725/B/SK/VII/89 tentang Batas Maksimum Cemar Logam Dalam Makanan.
- Gasparatos, D., Haidouti, C., Andrinopoulus and Areta, O. 2005. *Chemical Speciation and Bioavailability of Cu, Zn, and Pb in Soil from The National Garden of Athens, Greece*, Proceedings: International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes Island.
- Oluremi, O.I., Ayodele, O.E., Olabisi, B.M., Wasiu, M.O. 2013. Speciation of Heavy Metal in Soil, and Their Phytoavailability in Edible Part of *Amarantus hybridus* Cultivated Along Major Roads in Ile-Ife Nigeria. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*. 7(5): 184-193
- Purnomo, T., dan Muchyiddin. 2007. Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) di Tambak Kecamatan Gresik. *Neptunus*. 14(1): 68-77.

- Purwiyanto, A. I. S. 2013. Daya Serap Akar dan Daun Mangrove Terhadap Logam Tembaga (Cu) di Tanjung Api-Api, Sumatera Selatan. *Maspari Journal*. 5(1): 1-5
- Radulescu, C., Stihi, C., Popescu, I. V., Dulama, I. D., Chelarescu, I. D., Chilian, A. 2013. Heavy Metal Accumulation and Translocation in Different Parts of *Brassica oleracea*. *L. Romania Journal of Physic*. 58(9): 1337-1354.
- Reichman, S.M.. 2002. *The Responses of Plants to Metal Toxicity: A Review Focusing on Copper, Manganese, and Zinc*. The Australian Minerals & Energy Environment Foundation, Australia
- Rosmarkam, A., dan Yuwono, N.W. 2002. *Ilmu Kesuburan Tanah*. Kanisius. Yogyakarta
- Saputra, I G. E., Siaka, I M., Diantariani, N. P. 2013. Total Logam Pb dan Cr dalam Tanah Pertanian dan Air Danau Beratan serta Bioavailabilitasnya dalam Tanah Pertanian di Daerah Bedugul. *Jurnal Kimia*. 8(1): 28-34
- Siaka, M., Owens, C. M., Birch, G. F. 2006. Evaluation of Some Digestion Methods for the Determination of Heavy Metals in Sediment Samples by Flame-AAS. *Analytical Letters*. 31(4): 703-718
- 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
- Widowati, W., Sastiono. A., Raymond, R., J. 2008. *Efek Toksik Logam*, Yogyakarta: Penerbit Andi.