

BIOAVAILABILITAS DAN KANDUNGAN Pb, Cu PADA TANAH DAN SAWI PUTIH DI DESA BATURITI

I M. Siaka*, P. D. S. Udayani, dan I W. B. Suyasa

*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

Faktor geologis dan cara pengolahan tanah pertanian serta penggunaan pupuk secara berlebihan dalam proses pertanian berpengaruh pada kandungan logam berat dalam tanah, sehingga dapat menyebabkan tanah dan hasil pertaniannya tercemar oleh cemaran logam berat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat pencemaran dan bioavailabilitas logam Pb dan Cu dalam tanah pertanian di Desa Baturiti serta menentukan kandungan logam berat tersebut dalam daun sawi putih hasil pertanian di daerah tersebut. Metode yang digunakan adalah metode ekstraksi bertahap dan pengukuran logamnya menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Kandungan Pb total pada tanah sebelum penanaman dan saat panen berturut-turut 132,4190–236,1381 mg/kg dan 185,2171–273,1228 mg/kg. Begitu juga kandungan Cu total berturut-turut 73,0249–100,3995 mg/kg dan 84,7515–101,0791 mg/kg. Bioavailabilitas logam Pb dan Cu dalam tanah pertanian sebelum penanaman yang terdiri dari: serta merta *bioavailable*, berpotensi *bioavailable* dan *non bioavailable* berturut-turut 25,47-40,22%, 40,62-53,67% dan 19,16-21,80% untuk Pb, 2,42-3,11%, 49,42-74,73% dan 22,85-48,13% untuk Cu. Kandungan Pb dan Cu total dalam daun sawi putih berturut-turut 29,3278-40,8476 mg/kg dan 28,3933-36,2952 mg/kg atau setaradengan 60,54-66,15% dan 60,24-66,75% dari kandungan logam dalam seluruh bagian tanamannya. Dengan demikian, tanah pertanian di Desa Baturiti tergolong tidak tercemar logam Pb dan Cu menurut nilai *the farmer Greater London Council* serta logam beratnya dominan berpotensi *bioavailable*. Sementara itu, daun sawi putih tergolong tercemar logam Pb dan Cu karena melebihi ambang batas yang telah ditentukan oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan.

Kata Kunci: *bioavailabilitas, logam total, Pb dan Cu, sawi putih, tanah pertanian*

ABSTRACT

Geological factors, the method of agricultural cultivation, as well as the excessive fertilizers uses can affect the content of heavy metals in the soil. High content of the metals in the soil can pollute the soil itself and also the agricultural products. This study aimed to determine the pollution level and the bioavailability of Pb and Cu in agricultural soil, as well as the metals content in the edible parts of chicory produced from the agricultural land in Baturiti Village-Bali. The method used was the sequential extraction followed by Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) measurement. The range of total Pb contents in the soil before planting and after harvesting were of 132.4190-236.1381 mg/kg and 185.2171-273.1228 mg kg, respectively, while the range of Cu contents before planting and after harvesting were of 73.0249-100.3995 mg/kg and 84.7515-101.0791 mg/kg, respectively. Bioavailabilities of Pb and Cu metals in agricultural soils before planting were as follows: readily bioavailable, potentially bioavailable and non bioavailable, were of 25.45-40.22%, 40.62-53.67% and 19.16-21, 80% for Pb, 2.42-3.11%, 49.42-74.73% and 22.85-48.13% for Cu, respectively. The species of metals were dominated by potentially bioavailable. The range of Pb and Cu contents in the edible parts of chicory were of 29.3278-40.8476 mg/kg and 28.3933-36.2952 mg/kg or 60.54-66.15% and 60.24-66.75% of the total metals in the whole vegetable plant, respectively. Therefore, the agricultural soil in Baturiti area could be classified as not being contaminated with both Pb and Cu according to the Greater London Council farmer values. Meanwhile, the edible parts of chicory contained Pb and Cu which were exceeded the maximum contents allowed by the Indonesia Food and Drug Supervisory Agency.

Keywords: *agricultural soil, bioavailability, chicory, Pb and Cu*

PENDAHULUAN

Tanah merupakan lapisan litosfer Bumi yang terbentuk dari pelapukan bahan dan zat-zat organik oleh organisme hidup. Komponen kimia dan fisika dalam tanah dapat dijadikan media tanam contohnya pada tanah pertanian. Tanah pertanian adalah tanah yang dimanfaatkan untuk menghasilkan produk pertanian (Ibe *et al.*, 2014). Untuk menghasilkan produk pertanian yang bagus baik dalam segi kuantitas maupun kualitasnya maka petani sering menggunakan pupuk, pestisida atau bahan *input* lainnya. Penggunaan pupuk organik maupun anorganik secara berlebihan dapat mencemari tanah dan tanaman yang ditanam pada tanah tersebut oleh logam berat.

Keberadaan logam berat yang berlebih di lingkungan akan berdampak buruk bagi lingkungan maupun makhluk hidupnya. Pada hewan dan manusia logam berat masuk melalui makanan yang dikonsumsi, sedangkan pada tanaman penyerapan logam berat terjadi melalui pori-pori akar dan stomata daun serta bergantung pada bioavailabilitas logam berat tersebut (Angima, 2010). Secara umum lokasi pengambilan sampel tanah pertanian memiliki jarak yang dekat dengan jalan raya serta disekitarnya terdapat usaha rumah makan dan bengkel. Lahan ini sudah bertahun-tahun ditanami sayur namun secara berkala. Dengan demikian, ada sumber pencemar logam berat Pb dari limbah usaha bengkel dan udara serta Cu dari limbah usaha rumah makan.

Bioavailabilitas adalah ketersediaan logam berat total yang dapat diserap oleh biota dan memberikan respon toksik. Bioavailabilitas logam berat dapat ditentukan dengan melakukan spesiasi menggunakan metode ekstraksi bertahap. Spesiasi merupakan pengkelompokan logam: sebagai fraksi labil yaitu *easily, freely, leachable and exchangeable* (EFLE), Fe/Mn oksida, organik/sulfida dan resisten (terikat pada mineral alam). Fraksi EFLE bersifat serta merta *bioavailable*, fraksi Fe/Mn oksida dan fraksi organik/sulfida bersifat berpotensi *bioavailable* serta fraksi resisten bersifat *non bioavailable* (Siaka dkk 2019). Bioavailabilitas logam berat pada tanah sangat penting diketahui, agar dapat menentukan langkah berikutnya pada pengolahan tanah tersebut. Dengan demikian, tidak akan terjadi akumulasi

logam berat yang berlebihan pada sayuran yang ditanam di tanah tersebut.

Daerah yang terkenal dengan produk pertanian hortikulturanya adalah Desa Baturiti khususnya produk pertanian yang berupa sayur-mayur. Salah satu komoditas sayuran utama yang dihasilkan di Desa Baturiti adalah sawi putih. Sawi putih merupakan sayuran daun yang banyak dimanfaatkan daunnya yang masih muda, baik sebagai bahan makanan maupun untuk pengobatan. Sawi putih juga merupakan tanaman hiperakumulator yang dapat menyerap dan mengakumulasi logam berat pada bagian tanamannya.

Kandungan logam total dalam tanah dan Sayuran yang ditanam pada tanah tersebut di daerah Bedugul, Kecamatan Baturiti telah diteliti oleh beberapa peneliti seperti: Siaka dkk (2019) melaporkan bahwa kandungan logam total pada tanah pertanian organik sebelum penanaman dan saat panen di Bedugul yaitu 746,1042-897,3754 mg/kg dan 277,7876-328,8217 mg/kg untuk Pb, 93,1281-114,3259 mg/kg dan 48,6088-92,3708 mg/kg untuk Cu, dengan *bioavailable* logam Pb dan Cu adalah 17,80-21,62% dan 5,02-7,89%. Sementara itu, kandungan logam Pb dan Cu total pada sayur brokoli yang ditanam pada tanah tersebut berturut-turut 27,2968-30,3621 mg/kg dan 27,0303-30,0223 mg/kg. Penelitian lain menunjukkan bahwa kandungan logam total Pb dan Cu pada tanah budidaya sayuran di Bedugul berturut-turut yaitu 17,52-64,65 mg/kg dan 78,89-141,95 mg/kg (Siaka, 2016). Penelitian Codex (2010) melaporkan hasil analisis kandungan logam Cu dalam sayur sawi sebesar 76,70 mg/kg. Jaya (2004) melaporkan bahwa konsentrasi total logam Pb dalam tanah pertanian di Daerah Bedugul dekat dengan jalan raya, jauh dari jalan raya dan dekat dengan Danau Beratan secara berturut-turut yaitu 14,6162 mg/kg; 2,1843 mg/kg; dan 2,1228 mg/kg.

Berdasarkan hal tersebut pencemaran logam berat di dalam tanah pertanian setiap tahunnya mengalami perubahan sehingga perlu dilakukan penelitian secara berkelanjutan setiap jangka waktu tertentu. Dengan demikian, dapat diketahui apakah tanah tersebut sudah tercemar logam berat atau belum. Informasi tersebut dapat dijadikan dasar dalam menentukan solusi yang harus dilakukan agar tanah tidak tercemar oleh logam berat. Dalam studi ini memiliki tujuan untuk menentukan kandungan dan

bioavailabilitas logam berat Pb dan Cu pada tanah pertanian di Desa Baturiti serta kandungan logamnya pada daun sawi putih.

MATERI DAN METODE

Bahan

Sampel tanah pertanian sebelum dan saat panen, sawi putih, HNO_3 , CH_3COOH , $\text{NH}_2\text{OH.HCl}$, $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, H_2O_2 , HCl , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ serta aquades.

Peralatan

Gelas beker, gelas ukur, labu ukur, pipet tetes, pipet volume, botol polietilen, sendok polietilen, neraca analitik, blender, oven, ayakan 63 μm , penangas air, pemanas listrik (*hotplate*), mesin penggojog (*shaker*), pH meter, sentrifugasi, botol plastik, kantong plastik, sendok plastik, corong, kertas saring, botol semprot, *ultrasonic bath*, *thermometer*, dan *Atomic Absorbtion Spectrophotometer* (Shimadzu, AA-7000) dengan lampu katoda Pb dan Cu.

Tempat Penelitian

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

Cara Kerja

Preparasi Sampel

Sampel tanah dipisahkan dari batu-batuannya yang agak besar kemudian di oven pada 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 sayur sawi putih dipisahkan bagian akar, batang dan daunnya kemudian dicuci dengan aquades kemudian dipotong kecil-kecil. Selanjutnya dikeringkan dalam oven pada 60°C sampai massa sampel konstan. Sampel diblender hingga halus, selanjutnya diayak dengan ayakan 63 μm . Sampel dimasukkan ke kantong plastik polietilen untuk dilakukan analisis lebih lanjut (Siaka, 2016).

Penentuan Konsentrasi Logam Total Pb dan Cu pada Sawi Putih

Sebanyak 0,5 gram sampel serbuk sawi putih ditimbang lalu dimasukkan ke tabung digesti, kemudian ditambahkan 5 mL larutan HNO_3 pekat. Blanko dibuat dengan cara

yang sama tanpa penambahan sampel. Sampel dan blanko dipanaskan pada *hotplate* selama 2 jam pada $80 - 90^\circ\text{C}$ dan suhunya dinaikkan menjadi 150°C sampai mendidih. Selanjutnya dengan hati-hati ditambahkan HNO_3 pekat dan H_2O_2 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 324,7 nm untuk logam Cu dan 217,0 nm untuk logam Pb (Siaka, 2016).

Ekstraksi Bertahap

Ekstraksi Fraksi 1

Sampel tanah ditimbang sebanyak 1 gram kemudian ditambahkan 40 mL CH_3COOH 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 HNO_3 0,01 M. Larutan ini diukur dengan AAS pada panjang gelombang 324,7 nm untuk logam Cu dan 217,0 nm untuk logam Pb. Residu yang didapat digunakan untuk ekstraksi tahap selanjutnya (Siaka, 2016).

Ekstraksi Fraksi 2

Residu yang didapat pada fraksi I ditambah 40 mL $\text{NH}_2\text{OH.HCl}$ 0,1 M, kemudian HNO_3 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 HNO_3 0,01 M. Larutan ini diukur dengan AAS.

Ekstraksi Fraksi 3

Residu fraksi II ditambah 10 mL larutan H_2O_2 8,8 M kemudian campuran ditutup dengan kaca arloji. Campuran didiamkan selama 1 jam pada suhu ruang dan sesekali dikocok. Campuran selanjutnya dipanaskan pada 85°C selama 1 jam, lalu ditambahkan 10 mL larutan H_2O_2 8,8 M dan dipanaskan kembali. Campuran kemudian didinginkan di suhu ruang dan setelah dingin ditambahkan 20 mL $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1M. Larutan ditambah HNO_3 sampai pH larutan 2. Campuran tersebut digojog selama 2 jam dan 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.

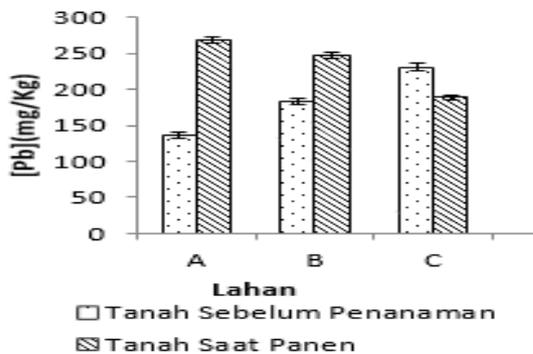
Ekstraksi Fraksi 4

Residu fraksi III dicuci dengan 10 mL aquades dan ditambah 10 mL *reverse aquaregia*. Campuran didigesti pada 60°C selama 45 menit dan dipanaskan pada 140°C selama 45 menit. 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 324,7 nm untuk logam Cu dan panjang gelombang 217,0 nm untuk logam Pb.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Logam Total Pb dalam Tanah Sebelum Penanaman dan Saat Panen

Kandungan logam total Pb disetiap lahan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Konsentrasi Logam Pb Total dalam Tanah Lahan Sawi Putih

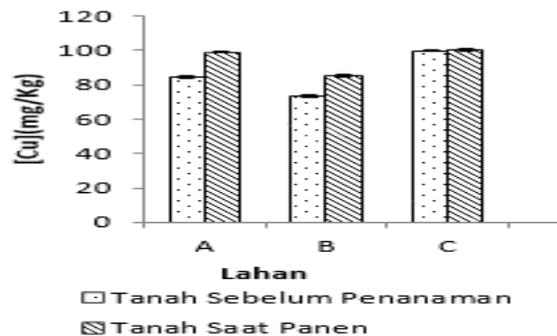
Pada Gambar 1 terlihat secara umum tanah tidak tercemar logam Pb dimana, kandungan logam total Pb di tanah pertanian sebelum penanaman dan saat panen tidak lebih dari 500 mg/kg dan ini tergolong tidak tercemar oleh logam berat Pb menurut nilai GLC (*the farmer Greater London Council*) yang dinyatakan bahwa tanah pertanian belum tercemar jika kandungan logam Pb berada dalam kisaran 0-500 mg/kg (Siaka dkk, 2019). Keberadaan logam berat Pb didalam tanah bersumber dari alam seperti pelapukan batuan, air hujan dan

dari aktivitas manusia seperti pemberian agrokimia (pupuk, pestisida) serta emisi gas kendaraan. Kadar logam berat dalam tanah berkaitan dengan jumlah bahan organik pada tanah tersebut, dimana semakin tinggi jumlah bahan organik maka kemungkinan logam berat yang terikat pada bahan organik juga semakin tinggi (Kandarwati, 2016).

Hasil yang didapat pada studi ini menunjukkan adanya peningkatan kandungan logam Total Pb pada tanah saat panen di lahan A dan B. Hal ini dapat disebabkan oleh pemberian pupuk kandang dan NPK serta cemaran dari udara & air yang digunakan oleh petani. Pupuk kandang mengandung 1,1 – 27 ppm logam Pb dan pupuk NPK mengandung 8,56 mg/kg logam Pb (Siaka, 2016). Dengan demikian terjadi peningkatan kandungan logam Pb pada tanah saat panen. Sedangkan pada lahan C terjadi penurunan kandungan logam Pb pada tanah saat panen. Hal ini disebabkan oleh adanya logam Pb yang terbawa aliran air atau hanyut secara alami serta diserap oleh mikroorganisme dan tanaman.

Konsentrasi Logam Total Cu dalam Tanah Sebelum Penanaman dan Saat Panen

Kandungan logam total Cu disetiap lahan disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Konsentrasi Logam Cu Total Dalam Tanah Lahan Sawi Putih

Sama seperti logam Pb kandungan logam total Cu di tanah pertanian sebelum penanaman dan saat panen tergolong tidak tercemar oleh logam berat Cu menurut nilai GLC (*the farmer Greater London Council*) (Siaka dkk, 2019) yang dinyatakan bahwa kandungan Cu dalam kisaran 0-100 mg/kg belum tercemar. Keberadaan logam berat Cu didalam tanah lebih banyak bersumber dari pemberian bahan pertanian (pupuk, pestisida). Hasil yang

didapat menunjukkan adanya peningkatan kandungan logam Total Cu pada tanah saat panen di semua lahan. Hal ini dapat disebabkan oleh pemberian pupuk kandang dan NPK serta cemaran dari air yang digunakan oleh petani. Pupuk kandang mengandung 52,2630 mg/kg logam Cu dan pupuk NPK mengandung 17,92 mg/kg logam Cu (Arimbawa, 2020). Pemberian pupuk dapat meningkatkan kandungan bahan organik di dalam tanah yang akan meningkatkan jumlah logam berat Cu terikat bahan organik, dimana bahan organik dapat menyebabkan pengkelatan kation-kation logam. Dengan demikian terjadi peningkatan kandungan logam Cu pada tanah saat panen.

Bioavailabilitas Logam Pb dan Cu dalam Tanah Sebelum Penanaman dan Saat Panen

Bioavailabilitas logam Pb dan Cu 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* (Devi dkk, 2019). Konsentrasi rata-rata logam Pb dan Cu pada tanah sebelum penanaman dan saat panen disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Konsentrasi rata-rata logam Pb dan Cu pada tanah sebelum penanaman dan saat panen

Lahan	Fraksi	Tanah Sebelum Penanaman		Tanah Saat Panen	
		Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)
A	I (EFLE)	34,8061	2,0453	111,2016	5,6250
	II (Fe/Mn Oksida)	9,8956	13,1339	37,7565	17,4149
	III (Organik/ sulfida)	63,4578	50,0427	81,1739	53,6992
	IV (Resistent)	28,5046	19,3167	38,4452	22,3654
B	I (EFLE)	58,4438	1,8050	108,3600	6,0946
	II (Fe/Mn Oksida)	16,1001	15,8226	42,3856	17,9788
	III (Organik/ sulfida)	69,0777	20,5856	87,5775	22,6829
	IV (Resistent)	40,0304	35,4524	23,0890	38,6148
C	I (EFLE)	92,9083	3,1035	26,5358	7,4677
	II (Fe/Mn Oksida)	23,3875	17,6298	53,3176	20,8076
	III (Organik/ sulfida)	70,4572	46,4706	94,4763	41,1401
	IV (Resistent)	44,2652	32,6251	14,2283	31,0149

Pola distribusi logam Pb pada tanah sebelum penanaman secara umum adalah: F3>F1>F4>F2 dan pola saat panen F1>F3>F2>F4 sedangkan lahan C memiliki pola yang berbeda baik sebelum penanaman maupun saat panen yaitu F1>F3>F4>F2 dan F3>F2>F1>F4. Pola tersebut pada lahan A dan B menunjukkan bahwa sebagian besar logam

Pb berasosiasi dengan bahan organik yaitu dapat terikat pada asam humat maupun pada asam organik lainnya. Konsentrasi logam Pb pada tanah saat panen mengalami peningkatan pada fraksi 1, 2, dan 3 di semua lahan kecuali fraksi 1 pada lahan C malah mengalami penurunan yang sangat tajam. Hal ini bisa terjadi karena pengaruh dari aktivitas manusia

seperti pemberian pupuk kandang dan pupuk NPK dari petani saat proses pertumbuhan sayur sawi. Pupuk kandang dapat menambahkan kadar bahan organik di dalam tanah, sehingga semakin banyak logam Pb bebas/labil yang diikat oleh bahan organik. Penambahan pupuk kandang dapat meningkatkan kadar asam-asam organik (asam fulvat, humat) sehingga ion H⁺ yang dapat dipertukarkan semakin meningkat, akibatnya KTK semakin meningkat. Selain itu penggunaan pupuk anorganik juga dapat meningkatkan logam yang berada dalam bentuk bebas, dimana pupuk anorganik dapat mempengaruhi pH tanah. pH tanah yang asam dapat mempermudah logam berat diserap oleh tanaman. Adanya perbedaan konsentrasi Pb dalam fraksi 4 antara sebelum penanaman dengan saat panen mungkin karena adanya pergerakan mineral-mineral stabil selama proses pertumbuhan tanaman sawi. Pergerakan ini dapat terjadi secara alami oleh air hujan atau oleh aktivitas petani seperti penyiraman atau penyiangan di sekitar tanaman.

Berbeda dengan pola Pb, pola distribusi logam Cu dalam berbagai fraksi baik pada

tanah sebelum penanaman dan saat panen adalah F₃>F₄>F₂>F₁. Pola tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar logam Cu berada dalam bentuk terikat dengan bahan organik. Hal ini dapat dipastikan bahwa setiap lahan tersebut banyak mengandung bahan organik sehingga lebih banyak logam Cu yang terikat atau berasosiasi dengan bahan organik tersebut, karena afinitas Cu terhadap organik sangat tinggi.

Peningkatan konsentrasi rata-rata logam Cu terjadi pada keempat fraksi di setiap lahan dari tanah sebelum penanaman ke tanah saat panen adalah akibat dari input selama proses pertumbuhan sawi. Peningkatan konsentrasi Cu pada fraksi 1 lebih banyak dipengaruhi oleh pemberian pupuk anorganik seperti pupuk NPK, sedangkan peningkatan pada fraksi 2 dan 3 lebih banyak dipengaruhi oleh pupuk kandang dan fraksi 4 dipengaruhi oleh aktivitas alam seperti adanya tambahan pelapukan batuan (Aryawan, 2017) dan adanya hujan selama proses produksi sayur sawi.

Persentase bioavailabilitas logam Pb dan Cu di dalam tanah sebelum dan saat panen dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Persentase Bioavailabilitas Logam Pb dan Cu dalam Tanah Sebelum Penanaman dan Saat Panen

Lahan	Bioavailabilitas	Tanah Sebelum Panen		Tanah Saat Panen	
		Pb (%)	Cu (%)	Pb (%)	Cu (%)
A	Bioavailable	25,47	2,42	41,40	5,67
	Berpotensi Bioavailable	53,67	74,73	44,28	71,76
	Non Bioavailable	20,86	22,85	14,32	22,57
B	Bioavailable	31,82	2,45	41,45	7,14
	Berpotensi Bioavailable	46,38	49,42	49,72	47,63
	Non Bioavailable	21,80	48,13	8,83	45,23
C	Bioavailable	40,22	3,11	14,07	7,44
	Berpotensi Bioavailable	40,62	64,21	78,38	61,68
	Non Bioavailable	19,16	32,68	7,55	30,88

Persentase bioavailabilitas logam berat Pb dan Cu menunjukkan bahwa tanah sebagian besar mengandung logam Pb dan Cu yang bersifat berpotensi *bioavailable*. Dengan demikian tanah pertanian di Desa Baturiti mengandung Fe/Mn oksida dan organik/sulfida yang relatif tinggi sehingga sebagian besar logam Pb dan Cu terikat pada fraksi 2 dan 3. Fe/Mn oksida dan organik/sulfida memegang peranan penting dalam mengikat logam berat Pb sehingga kurang *bioavailable* pada keadaan normal. Hasil penelitian ini sama seperti yang dilaporkan oleh Siaka *et al.* (2016), dimana

tanah pertanian di Daerah Bedugul sebagian besar mengandung Pb dan Cu yang berpotensi *bioavailable*. Logam dalam keadaan berpotensi *bioavailable* dapat menjadi *bioavailable* atau diserap tanaman jika ada proses redoks di dalam tanah tersebut. Logam yang terikat pada Fe/Mn oksida akan labil pada keadaan potensial reduksi (Eh) rendah, sedangkan yang terikat pada organik/sulfida akan terdegradasi dibawah proses oksidasi.

Konsentrasi Logam Total Pb dan Cu pada Sawi Putih

Konsentrasi logam total Pb dan Cu diperoleh dari penjumlahan konsentrasi rata-rata logam di bagian akar dan daun sawi putih. Dengan demikian dapat diketahui bagian dari sawi putih yang banyak mengandung logam berat Pb dan Cu. Hasil kandungan logam total Pb dan Cu pada sawi putih disajikan pada Tabel 3. Kandungan logam Pb dan Cu dalam tanah sawi putih tersebut melebihi ambang batas yang diperbolehkan menurut FAO/WHO yaitu > 0,3 mg/kg untuk Pb dan 40 mg/kg untuk Cu. Secara umum, kandungan logam Pb dalam tanah sawi putih lebih tinggi daripada logam Cu. Tingginya logam Pb di sawi putih tersebut dapat diakibatkan oleh lebih banyaknya logam Pb yang *bioavailable* dalam setiap lahan dibandingkan logam Cu yang *bioavailable*.

Tabel 3. Konsentrasi Logam Total Pb dan Cu pada Sawi Putih

Lahan	[Pb] Total Sawi Putih (mg/kg)	[Cu] Total Sawi Putih (mg/kg)
A	44,3354±1,7388	50,3022±0,5648
B	61,3581±1,8203	55,5072±0,5303
C	67,5682±1,6543	42,1422±0,6365

Disamping itu, bahan organik yang ada dalam tanah lebih banyak mengikat logam Cu daripada Pb karena Cu memiliki afinitas terhadap organik lebih tinggi. Akibatnya, bioavailabilitas Cu lebih rendah dan mobilitas semakin berkurang (Siaka dkk, 2019). Dengan demikian, kemungkinan penyerapan logam Pb oleh tanaman lebih besar dibandingkan logam Cu. Selain itu, logam Cu merupakan hara mikro yang dibutuhkan oleh tumbuhan untuk proses fotosintesis dan pembentukan klorofil sehingga logam Cu yang terakumulasi dalam tanaman lebih sedikit dibandingkan logam Pb.

Logam berat Pb dan Cu dapat diserap oleh tanaman bergantung pada sifat dari logam tersebut. Logam yang bersifat *bioavailable* dapat tersedia bagi tanaman dan terakumulasi di berbagai bagian tanaman baik akar, batang dan daun. Logam Pb dapat diserap oleh tanaman dalam bentuk bebasnya yaitu Pb^{2+} . Tanah dengan KTK, pH, kadar bahan organik dan kadar P rendah dapat meningkatkan serapan logam Pb oleh tanaman (Wisnawa,

2016). Secara biologis Cu tersedia dalam bentuk Cu^+ dan Cu^{2+} dalam garam inorganik dan kompleks inorganik. Perpindahan Cu dengan konsentrasi relatif tinggi dari lapisan tanah ditentukan oleh cuaca, proses pembentukan tanah, pengairan, potensial oksidasi reduksi, jumlah bahan organik di tanah dan pH tanah. Kondisi tanah yang asam akan meningkatkan kelarutan Cu, sedangkan pada kondisi basa Cu cenderung dipresipitasi oleh tanah sehingga akan terlarut dan terbawa air. Pada tanaman, Cu diakumulasi di akar dan dinding sel serta didistribusi melalui berbagai cara.

Faktor lain yang mempengaruhi akumulasi logam berat pada tanaman yaitu jangka waktu kontak tanaman dengan logam berat, jenis logam, spesies tanaman, komposisi tanah, kondisi geografi, mobilitas ion logam ke zona perakaran dan pergerakan logam berat dalam jaringan tanaman (Aryawan, 2017).

Persentase Kandungan Logam Pb dan Cu pada Akar dan Daun Sawi Putih

Persentase kandungan logam Pb dan Cu pada akar dan daun sawi putih disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Persentase Kandungan Logam Pb dan Cu pada Akar dan Daun Sawi Putih

Bagian Sawi Putih	% Pb	% Cu
Akar	37,73%	35,75%
Daun Sawi putih	62,27%	64,25%

Pada tabel 4 terlihat bahwa persentase logam Pb dan Cu paling tinggi terakumulasi pada daun. Akumulasi logam berat pada daun juga didukung oleh luas permukaan daun yang lebar, kecepatan transfortasinya tinggi dan pertumbuhan yang sangat cepat. Logam berat dapat masuk ke jaringan tanaman melalui pori-pori akar dan stomata daun, sehingga pada akar dan selulosa daun terjadi akumulasi logam berat. Bagian akar langsung mengalami kontak dengan tanah yang mengandung logam berat sedangkan daun mengalami kontak langsung dengan pestisida maupun air yang digunakan petani untuk menyiram sawi putih.

Kandungan Logam Pb dan Cu pada *Edible Part* (Daun) Sawi Putih

Kandungan logam Pb dan Cu pada daun sawi putih disajikan pada Tabel 5. Pada tabel 5 terlihat bahwa daun sawi putih mengakumulasi logam Pb dan Cu paling besar yaitu berkisar 60-66%.

Tabel 5. Kandungan Logam Pb dan Cu pada Daun Sawi Putih

Sampel	Pb		Cu	
	mg/kg	%	mg/kg	%
A	29,3278	66,15	30,3742	60,24
B	40,4464	65,81	36,2952	64,84
C	40,8476	60,54	28,3933	66,75

Kandungan logam Pb dan Cu ini melebihi ambang batas maksimum yang ditentukan oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan yaitu 2 mg/kg untuk Pb dan 5 mg/kg untuk Cu dalam sayuran dan olahannya. Tingginya kandungan logam Cu dan Pb pada daun sawi putih merupakan sayuran daun yang bersifat akumulator logam berat.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Tanah pertanian di Desa Baturiti tergolong tidak tercemar logam Pb dan Cu menurut nilai *the farmer Greater London Council* (GLC) dengan kandungan Pb dan Cu total berturut-turut adalah 132,4190 - 236,1381 mg/kg dan 73,0249 - 100,3995 mg/kg dalam tanah sebelum penanaman dan 185,2171 - 273,1228 mg/kg dan 84,7515 - 101,0791 mg/kg saat panen.

Bioavailabilitas logam berat Pb dan Cu pada tanah pertanian di Desa Baturiti dominan bersifat berpotensi *bioavailable* dengan persentase *bioavailable*, berpotensi *bioavailable* dan *non bioavailable* berturut-turut: 25,47 - 40,22%, 40,62 - 53,67%, 19,16 - 21,80% untuk Pb dan 2,42-3,11%, 49,42-74,73%, 22,85-48,13% untuk Cu dalam tanah sebelum penanaman, sedangkan saat panen yaitu 14,07-41,45%, 44,28-78,38%, 7,55-14,32% untuk Pb dan 5,67-7,44%, 47,63-71,76%, 22,57-45,23% untuk Cu.

Edible part (daun) sawi putih yang ditanam pada tanah pertanian di Desa Baturiti mengandung logam Pb dan Cu melebihi nilai ambang batas yang telah ditentukan Badan

Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) dengan kandungan Pb dan Cu secara berturut-turut adalah 29,3278 - 40,8476 mg/kg dan 28,3933 - 36,2952 mg/kg.

Saran

Saran yang dapat diberikan adalah perlu adanya data pendukung seperti sifat fisik kimia tanah serta karakterisasi tanah khususnya di daerah Kecamatan Baturiti untuk menjelaskan faktor-faktor penyebab terjadinya perbedaan kandungan logam pada tanah sebelum penanaman dengan saat panen di setiap lahan, sehingga dapat diketahui pengaruh dari sifat kimia dan fisika tanah tersebut pada bioavailabilitas logam Pb dan Cu.

DAFTAR PUSTAKA

- Arimbawa, W. B., 2020, Kandungan Logam Cu dan Pb dalam Tanaman Bayam dan Bioavailabilitasnya dalam Tanah Pertanian dengan Pemberian Pupuk Kandang Sapi, *Skripsi*, Universitas Udayana, Badung.
- Aryawan, R., 2017, Kandungan Logam Pb dan Cu Total dalam Air, Ikan dan Sedimen di Kawasan Pantai Serangan serta Bioavailabilitasnya, *Jurnal kimia*, 11 (1): 56-63.
- Codex Alimentarius Commission (FAO/WHO), 2010, Food Additive and Contaminants, *Joint FAO/WHO Food Standard Program*, ALINORM 01/12A: 1-289.
- Devi, N. W. B., Siaka, I. M., Putra, K. G. D., 2019, Spesiasi dan Bioavailabilitas Logam Berat Cu dan Zn dalam Tanah Pertanian Organik dan Anorganik, *Jurnal Kimia*, 13 (2): 213-220.
- Ibe, I. J., Ogbulie, J. N., Orji, J. C., Nwanze, P. I., Ihejirika, C., Okechi, R. N., 2014, Effects of Palm Oil Mill Effluent (POME) on Soil Bacteria and Enzymes at Different Seasons, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3 (10): 928-934.
- Jaya, S. E. G. I., Siaka, M. I., dan Diantariani, P. N., 2014, Total Logam Pb dan Cr dalam Tanah Pertanian dan Air Danau Beratan serta Bioavailabilitasnya dalam Tanah Pertanian di Daerah Bedugul, *Journal Kimia* 8 (1): 28-34.

- Kandarwati dan Fitri, N., 2016, Evaluasi Kesuburan Tanah Pertanian Tebu di Kabupaten Rembang Jawa Tengah, Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat, Malang, *Jurnal Littri* 22 (2): 53-62.
- Siaka, I M., 2016, Spesiasi dan Bioavailabilitas Logam Berat dalam Tanah dan Akumulasinya dalam Sayuran sebagai Dasar Penentuan Tingkat Aman Konsumsi, *Disertasi*, Universitas Udayana, Denpasar.
- Siaka, I M. Nurcahyani, H. Manuaba, P B I., 2019, Spesiasi dan Bioavailabilitas Pb dan Cu dalam Tanah Pertanian Organik di Bedugul serta Kandungan Logam Totalnya dalam Sayur Brokoli, *Jurnal Kimia*, 13(2): 145-152.
- Wisnawa, P. 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.