

SPEIASI DAN BIOAVAILABILITAS LOGAM BERAT Pb DAN Cu DALAM TANAH PERTANIAN DI DESA SUKAWANA, KINTAMANI

K. A. Puspitasari, I M. Siaka*, I. E. Suprihatin, K. Wardani

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Udayana, Jimbaran, Bali, Indonesia

*Email: made_siaka@unud.ac.id

ABSTRAK

Tanah pertanian yang sering diberi pupuk anorganik maupun organik cenderung tercemar oleh logam berat yang terkandung dalam pupuk tersebut. Logam berat dalam tanah, terutama yang bersifat *bioavailable* dapat terserap dan masuk ke bagian tanaman yang tumbuh di tanah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kandungan logam Pb dan Cu total serta bioavailabilitas kedua logam tersebut dalam tanah pertanian untuk berbagai jenis sayuran di Desa Sukawana, Kintamani, Bali-Indonesia. Metode ekstraksi bertahap digunakan untuk melakukan spesiasi Cu dan Pb dan teknik *Atomic Absorption Spectrometry* digunakan untuk pengukuran absorbansi kedua logam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan logam Pb dan Cu total dalam sampel tanah pertanian berturut-turut (40,3607-167,4051) mg/kg dan (26,7679-35,7764) mg/kg. Hasil spesiasi menunjukkan bahwa fraksi labil (F1) paling rendah untuk kedua logam, fraksi *reducible* (F2) lebih kecil dari fraksi *oxidizable* (F3) baik untuk logam Pb maupun Cu, sedangkan fraksi terbesar adalah fraksi *inert* (F4) untuk Pb dan fraksi *oxidizable* (F3) untuk Cu dengan kata lain: $F4 > F3 > F2 > F1$ untuk Pb dan $F3 > F2 > F4 > F1$ untuk Cu. Logam Pb dan Cu yang *bioavailable* (F1) jauh lebih kecil dibandingkan dengan jumlah logam yang berpotensi *bioavailable* (F2 dan F3). Persentase logam Pb dan Cu yang berpotensi *bioavailable* berturut-turut berkisar antara (47,57-53,38)% dan (88,29-95,70)%. Persentase logam Pb dan Cu yang rendah pada fraksi *bioavailable* mengindikasikan bahwa sayuran yang ditanam di area tanah pertanian tersebut aman dari cemaran kedua logam.

Kata kunci: bioavailabilitas, Cu, Pb, spesiasi

ABSTRACT

Agricultural soils which are frequently given inorganic or organic fertilizers tend to be polluted by heavy metals contained in the fertilizers. Heavy metals in the soil, especially those being bioavailable, can be absorbed and enter all the parts of the plant growing on the soil. This study aimed to determine the total contents of Pb and Cu as well as the bioavailability of the metals in agricultural soil used for vegetables cultivating in Sukawana Village, Kintamani, Bali-Indonesia. The sequential extraction method was used to perform the speciation of Cu and Pb and the Atomic Absorption Spectrometric technique was used to measure the two metals. The results showed that the total metal contents of Pb and Cu in agricultural soil samples were (40.3607-167.4051) mg/kg and (26.7679-35.7764) mg/kg, respectively. The speciation results showed that the labile fraction (F1) was the lowest for both metals, the reducible fraction (F2) was smaller than the oxidizable fraction (F3) for both Pb and Cu, while the largest fraction was the inert fraction (F4) for Pb and the oxidizable fraction (F3) for Cu, in other words: $F4 > F3 > F2 > F1$ for Pb and $F3 > F2 > F4 > F1$ for Cu. The bioavailable Pb and Cu (F1) were much smaller than the amount of metals being potentially bioavailable (F2 and F3). The percentages of potentially bioavailable Pb and Cu metals ranged from (47.57-53.38)% and (88.29-95.70)%, respectively. The low percentage of Pb and Cu in the bioavailable fraction indicated that vegetables planted in the agricultural land area were safe from contamination of both metals.

Keywords: bioavailability, Cu, Pb, speciation

PENDAHULUAN

Sukawana merupakan daerah yang sudah dikenal sebagai salah satu daerah agrobisnis di Bali. Desa Sukawana merupakan salah satu desa pemukiman Bali Mula yang terletak di

Kecamatan Kintamani, Kabupaten Bangli. Sukawana juga memasok hasil pertanian ke beberapa daerah di Bali bahkan sampai ke luar Bali seperti pulau Jawa. Hal ini tentu mengakibatkan meningkatnya kendaraan keluar masuk yang membawa hasil pertanian daerah

tersebut sehingga juga dapat mempengaruhi kualitas tanah di daerah tersebut. Menurut penelitian Mahendra *et al.* (2018), bahan bakar yang menghasilkan emisi gas buangan kendaraan bermotor yang mengandung TEL (*Tetra Etyl Lead*) dapat menyebabkan pencemaran logam Pb dalam tanah terlebih lagi lahan pertanian tersebut berada dekat dengan jalan raya yang kisaran kandungan logam Pb bisa mencapai 14,6162 mg/kg.

Dalam meningkatkan produksi dan hasil panen diperlukan banyak zat hara dalam tanah. Untuk peningkatan unsur-unsur hara ini maka diperlukan input berupa pupuk baik pupuk organik maupun anorganik. Akan tetapi, penggunaan pupuk secara berlebihan dan terus menerus tanpa kontrol dapat meningkatkan kontaminasi logam berat pada tanah pertanian, dengan kata lain kontaminasi logam berat tersebut disebabkan oleh aktivitas pertanian dalam jangka waktu yang cukup lama (Jia *et al.*, 2010). Hal ini dapat terjadi karena dalam beberapa pupuk anorganik terkandung logam Pb berkisar (0,58–8,56) mg/kg dan Cu berkisar (8,82–17,92) mg/kg (Siaka, 2016). Penggunaan pupuk sintetis jenis NPK dan TSP memberikan kontribusi Cu yang cukup tinggi pada tanah pertanian dan pengaplikasian pupuk yang berlebihan menyebabkan tingginya residu pupuk di dalam tanah memberikan pengaruh pada kandungan logam berat Pb dan Cu (Parmiko *et al.*, 2014; Wisnawa *et al.*, 2016). Selain penggunaan pupuk, petani juga menggunakan pestisida sintetis untuk mengendalikan hama agar tidak merusak sayuran yang dihasilkan dan menghindari kerugian petani karena gagal panen. Pada kenyataannya, pemahaman dan kesadaran petani terhadap pemakaian pupuk dan pestisida sangat rendah, sehingga mereka tidak menyadari bahwa tanah yang dikelola tersebut lambat laun kondisinya menurun.

Penyerapan logam berat oleh tanaman akumulasi dan distribusinya dalam tanaman bergantung pada spesies tanaman, kondisi masa kritis, masa vegetasi, konsentrasi logam dalam tanah, pH, kapasitas tukar kation (KTK), spesies dan bioavailabilitas logam berat tersebut dalam tanah di samping multifactor lainnya (Angima, 2010; Filipović-Trajković *et al.*, 2012). Dengan demikian, tingginya jumlah logam yang terkandung dalam tanaman dapat diprediksi dari jumlah logam dalam tanah yang *bioavailable*. Semakin banyak logam berat yang bersifat *available* maka semakin tinggi juga kandungan logam berat di dalam tanaman (Siaka *et al.*,

2014). Dengan adanya pernyataan tersebut di atas, perlu dilakukan spesiasi melalui metode ekstraksi bertahap untuk mengetahui spesies-spesies logam berat yang ada dalam tanah. Spesies logam berat ini selanjutnya digunakan untuk menentukan logam yang *bioavailable*, berpotensi *bioavailable*, dan non *bioavailable*.

MATERI DAN METODE

Bahan

Sampel tanah pertanian yang diperoleh dari daerah Sukawana, Kintamani, H_2O_2 , HCl, HNO_3 , CH_3COONH_4 , $NH_2OH.HCl$, CH_3COOH , $Pb(NO_3)_2$, $CuSO_4.5H_2O$ dan aquades.

Alat

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

Cara Kerja

Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan di 3 lokasi di Desa Sukawana, Bangli yang terletak pada geografis sebagai berikut: lahan 1 ($8^{\circ}12'40.9''S$ $115^{\circ}18'38.5''E$), lahan 2 ($8^{\circ}12'37.5''S$ $115^{\circ}18'42.6''E$) dan lahan 3 ($8^{\circ}12'38.3''S$ $115^{\circ}18'43.3''E$) seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi pengambilan sampel

Sampel tanah pertanian diambil menggunakan sendok polietilen pada 3 lahan pertanian. Setiap lahan dibagi menjadi 3 petak (hulu, tengah, dan hilir). Sampel tanah di ambil

pada kedalaman tanah 0-20 cm dari permukaan tanah. Masing-masing petak tanah diambil secara acak pada 8 titik, lalu tanah yang didapat dari 8 titik tersebut dicampur, dijadikan satu dan ditempatkan dalam kantong polietilen. Sampel tanah pertanian disimpan dalam *coolbox* untuk dianalisis lebih lanjut (Siaka, 2016).

Preparasi Sampel

Sampel tanah yang telah diambil dipisahkan dari butiran-butiran keras kemudian di oven pada suhu 60°C sampai massa sampel konstan. Sampel tanah yang sudah kering digerus, lalu diayak menggunakan ayakan 63 µm. Selanjutnya, sampel tanah yang sudah diayak disimpan dalam botol polietilen dan akan di analisis lebih lanjut (Siaka, 2016).

Pembuatan Larutan Standar Pb dan Cu

Sebanyak 100 mL larutan induk Pb 100 ppm dibuat dengan 0,0159 gram $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dan dilarutkan dengan HNO_3 0,01 M hingga 100 mL. Larutan seri standar Pb 0, 5, 10, dan 20 ppm dibuat dengan mengencerkan larutan induk Pb tersebut. Sebanyak 100 mL larutan induk Cu 100 ppm dibuat dengan cara menimbang secara teliti 0,0393 gram $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dan dilarutkan dengan HNO_3 0,01M hingga volumenya menjadi 100 mL (Siaka, 2016). Larutan seri standar Cu 0, 1, 2, dan 4 ppm dibuat dengan mengencerkan larutan induk Cu tersebut. Kedua larutan seri standar tersebut diukur dengan AAS untuk membuat kurva kalibrasi yang selanjutnya digunakan untuk menghitung konsentrasi Pb dan Cu dalam sampel.

Penentuan Konsentrasi Logam Pb dan Cu Total dalam Tanah

Ditimbang teliti 1 gram sampel tanah kering dari masing-masing lahan lalu ditempatkan pada gelas Beaker, dan ditambahkan 10 mL larutan *reverse aquaregia* yaitu campuran HCl pekat dan HNO_3 pekat (1:3). Selanjutnya, campuran didigesti dalam ultrasonic bath selama 45 menit pada suhu 60°C dan kemudian 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 ini diukur dengan *Atomic Absorbtion Spektrophotometer* (AAS) pada panjang gelombang 324,7 nm untuk logam Cu dan panjang gelombang 217,0 nm untuk logam Pb (Siaka, 2016).

Ekstraksi Tahap I (Fraksi EFLE)

Ditimbang teliti 1 gram sampel tanah dimasukkan ke tabung ekstraksi, lalu ditambahkan 40 mL CH_3COOH 0,1M. Larutan digojog selama 2 jam menggunakan penggojog listrik (*shaker*). Selanjutnya selama 10 menit larutan disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm. Supernatan yang dihasilkan didekantasi lalu dimasukkan pada labu ukur 50 mL dan ditambah HNO_3 0,01 M hingga tanda batas. Selanjutnya pengukuran Pb dan Cu dilakukan dengan menggunakan *Atomic Absorption Spektrophotometer* (AAS). Residu yang didapat dipakai untuk ekstraksi selanjutnya.

Ekstraksi Tahap II (Fraksi Mn dan Fe Oksida)

Residu fraksi I ditambahkan 40 mL $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ 0,1 M, kemudian ditambahkan HNO_3 sampai pH larutan 2. Selama 2 jam campuran di gojok, selanjutnya selama 10 menit disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm. Supernatan yang dihasilkan didekantasi dan dimasukkan pada labu ukur 50 mL, kemudian ditambahkan HNO_3 0,01 M hingga tanda batas. Selanjutnya pengukuran Pb dan Cu dilakukan dengan *Atomic Absorption Spektrophotometer* (AAS). Residu yang didapat dipakai untuk ekstraksi selanjutnya.

Ekstraksi Tahap III (Fraksi Organik dan Sulfida)

Residu fraksi II ditambahkan 10 mL larutan H_2O_2 8,8 M, lalu didiamkan selama 60 menit pada suhu ruang dan sesekali dikocok. Campuran dipanaskan pada suhu 85°C selama 1 jam, lalu campuran dituangkan 10 mL larutan H_2O_2 8,8 M dan dilakukan pemanasan kedua. Campuran tersebut kemudian diturunkan suhunya hingga suhu ruang dan setelah dingin ditambahkan 20 mL $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1M. Campuran tersebut kemudian ditambahkan larutan HNO_3 sampai pH 2, kemudian digojog selama 2 jam dan selanjutnya disentrifugasi selama 10 menit pada kecepatan 4000 rpm. Supernatan yang dihasilkan didekantasi dan dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL, ditambah HNO_3 0,01 M hingga tanda batas. Selanjutnya diukur dengan *Atomic Absorption Spektrophotometer* (AAS) untuk menentukan absorbansi logam Pb dan Cu. Residu yang didapat dipakai untuk ekstraksi selanjutnya.

Ekstraksi Tahap IV (Fraksi *Resistant*)

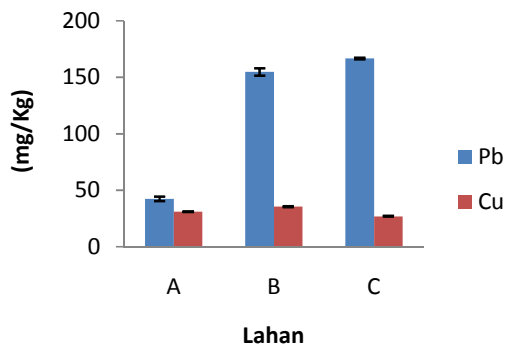
Residu fraksi III dicuci dengan 10 mL aquades dan ditambahkan 10 mL *reverse aquaregia*. Campuran tersebut didigesti dengan *ultrasonic bath* selama 45 menit pada suhu 60°C dan dipanaskan dengan *hotplate* selama 45 menit pada suhu 140°C. Campuran kemudian ditambah akuades dan disentrifugasi selama 10 menit pada kecepatan 4000 rpm. Supernatan yang dihasilkan dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL dan di *addup* dengan akuades hingga tanda batas. Larutan ini diukur dengan *Atomic Absorbition Spektrophotometer* (AAS) untuk menentukan konsentrasi Pb dan Cu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Logam Total Pb dan Cu

Kandungan logam total Pb dan Cu di setiap lahan tanah pertanian di Daerah Sukawana, Kintamani diilustrasikan dalam Gambar 2.

Konsentrasi logam Pb dan Cu total di lahan pertanian di desa Sukawana tergolong tidak tercemar menurut nilai *the farmer Greater London Council* (GLC) yang dinyatakan dalam range 0 - 500 mg/kg untuk logam Pb dan 0 - 100 mg/kg untuk logam Cu (Alloway,1995).



Gambar 2. Konsentrasi logam total Pb dan Cu

Perbedaan konsentrasi yang didapat disebabkan oleh perbedaan kondisi tanah, lokasi lahan dan jenis tanah serta perlakuan masing-masing dari petani seperti penggunaan pupuk dan pestisida yang berbeda-beda frekuensinya. Konsentrasi logam Pb paling tinggi ke rendah secara berturut-turut terdapat pada lahan C-B-A, sementara konsentrasi logam Cu paling tinggi ke rendah secara berturut-turut terdapat pada lahan B-A-C.

Konsentrasi logam Pb yang terkandung dalam tanah selain akibat penggunaan pupuk dan

pestisida yang tidak terkontrol, juga dipengaruhi oleh lokasi lahan, seperti lahan C yang memiliki kontaminasi Pb paling tinggi, karena lokasinya di pinggir jalan raya utama sedangkan lahan A dan B letaknya di pinggir jalan kecil (gang) yang jauh dari jalan raya utama. Hal ini sesuai dengan penemuan Mahendra *et al.* (2018) yang melaporkan bahwa tanah yang berada di pinggir jalan Raya memiliki cemaran Pb lebih tinggi dibanding tanah yang berada jauh dari jalan Raya. Hal ini membuktikan bahwa, tanah yang diberikan perlakuan yang sama/hampir sama akan memiliki cemaran Pb lebih tinggi jika tanah/lahan tersebut berada di lokasi yang dekat dengan sumber pencemar, seperti jalan Raya yang sarat dengan lalu lintas kendaraan bermotor.

Konsentrasi logam Cu pada lahan B lebih tinggi dari lahan A dan C dikarenakan kegiatan pertanian yang lebih intensif pada lahan B seperti pemberian pupuk kompos, pupuk NPK dan pupuk kandang berupa kotoran seperti sapi, ayam dan lainnya sebagai pupuk dasar yang berlebihan, sehingga memungkinkan logam Pb dan Cu mengendap dan terakumulasi di dalam tanah tersebut lebih banyak. Pupuk kandang memiliki kandungan logam Pb sebesar 1,1 – 27 ppm dan logam sebesar Cu 2 – 172 ppm (Alloway,1995) sedangkan pupuk NPK memiliki kandungan logam Pb sebesar 8,56 mg/kg dan Cu sebesar 17,92 mg/kg (Siaka *et al.*, 2016). Pupuk kompos mengandung logam Pb sebesar 1,3-2240 ppm dan logam Cu 13-3580 ppm (Alloway, 1995). Meningkatnya kandungan bahan organik di dalam tanah disebabkan karena adanya pemberian pupuk organik yang akan meningkatkan kandungan atau konsentrasi logam berat Cu terikat bahan organik melalui pengkelatan kation-kation logam (Siaka *et al.*, 2021).

Spesiasi dan Bioavailabilitas Logam Pb dan Cu dalam Tanah

Spesiasi logam dalam tanah dilakukan untuk mengetahui spesies kimia dari logam tersebut, sehingga dapat digunakan untuk menentukan banyaknya logam yang bersifat *bioavailable* atau bioavailabilitas logam Pb dan Cu dalam tanah pertanian tersebut.

Jumlah rata – rata logam Pb dan Cu di setiap fraksi disajikan pada Tabel 1. Tren urutan konsentrasi logam Pb dan Cu berdasarkan fraksinya dapat diurut sebagai berikut: F4 > F3 > F2 > F1 untuk Pb dan F3 > F2 > F4 > F1 untuk Cu.

Tabel 1 Hasil Spesiasi Logam Pb dan Cu dalam Sampel

Fraksi	Pb (mg/kg)			Cu (mg/kg)		
	Lahan A	Lahan B	Lahan C	Lahan A	Lahan B	Lahan C
F1 (EFLE)	2,3058 ± 0,2673	16,9358 ± 1,1861	16,8777 ± 0,5996	0,5126 ± 0,0664	0,3560 ± 0,0513	1,0241 ± 0,1319
F2 (Fe/Mn Oksida)	7,1774 ± 0,4729	29,4513 ± 1,5872	29,2322 ± 0,8913	9,2830 ± 0,0499	10,9643 ± 0,0826	9,9381 ± 0,0666
F3 (Organik/ Sulfida)	13,1808 ± 0,4081	40,3365 ± 1,3038	48,7794 ± 0,6502	18,2793 ± 0,1060	22,9561 ± 0,2453	13,8695 ± 0,0576
F4 (Resistant)	19,6624 ± 0,5290	67,9685 ± 1,7974	71,6927 ± 0,7267	2,7117 ± 0,0593	1,1358 ± 0,0577	1,1855 ± 0,5414

Keterangan: F1 = fraksi labil; F2 = fraksi *reducible*; F3 = fraksi *oxidizable*, F4 = fraksi *inert*

Fraksi 1 (EFLE) merupakan fraksi yang labil dan sangat *mobile*, mudah larut dalam air dan asam lemah, mudah terionisasi, cenderung berupa senyawa karbonat atau sebagai ion (Gasparatos *et al.*, 2005). Fraksi 2 atau fraksi Fe/Mn oksida merupakan fraksi yang peka terhadap perubahan pH dan kondisi redoks. Dengan demikian, logam-logam pada fraksi ini mudah terlarut dalam keadaan lingkungan asam dan mungkin berlanjut walaupun keadaan sedikit asam atau netral (Jena *et al.*, 2013). Fraksi 2 dipengaruhi oleh pH dan redoks, sehingga fraksi 2 masuk dalam spesies fraksi non resistant dan lebih stabil dari fraksi 1. Fraksi 3 atau fraksi organik/sulfida merupakan fraksi dimana logamnya terikat/berasosiasi pada bahan organik. Keberadaan logam pada spesies organik/sulfida yang cukup tinggi di tanah pertanian dapat disebabkan karena banyaknya bahan organik yang terkandung dalam tanah dan ini merupakan hasil dari aplikasi pupuk organik. Fraksi 4 atau fraksi resisten merupakan fraksi yang mengikat logam atau berasosiasi dengan logam yang bersifat stabil dan terikat kuat pada mineral-mineral primer dalam tanah.

Bioavailabilitas logam Pb dan Cu dalam tanah dapat diketahui dengan membandingkan konsentrasi logam yang terekstraksi pada setiap fraksi dengan konsentrasi logam berat total pada masing-masing lahan.

Persentase bioavailabilitas logam Pb dan Cu dalam tanah dapat dilihat pada Tabel 2. Tabel 2 menunjukkan bahwa persentase logam Pb yang berpotensi *bioavailable* dan *non bioavailable* hampir sama dalam setiap lahannya, sedangkan Cu yang berpotensi *bioavailable* sangat dominan di setiap lahannya. Hal ini menunjukkan bahwa Cu yang ada di dalam tanah membentuk senyawa stabil yaitu dapat berupa sulfide, sulfat, garam-garam sulfo, karbonat dan senyawa-senyawa lain sehingga tidak berbahaya bagi lingkungan. Cu ini juga dapat membentuk kompleks kuat dengan organik sehingga fraksi ion Cu dalam larutan tanah sangat sedikit (Wuana and Okieimen, 2011). Secara umum dapat dinyatakan bahwa cemaran Pb dan Cu yang ada dalam tanah pertanian di daerah Sukawana tersebut relatif aman untuk ditanami tanaman seperti sayuran. Ini juga didukung oleh rendahnya kandungan kedua logam berat tersebut yang bersifat *bioavailable* (Tabel 1).

Tabel 2. Bioavailabilitas Logam Pb dan Cu Dalam Tanah

Fraksi	Pb (%)			Cu (%)		
	Lahan A	Lahan B	Lahan C	Lahan A	Lahan B	Lahan C
<i>Bioavailable</i>	5,45	10,55	9,49	1,33	1,01	3,81
Berpotensi <i>bioavailable</i>	47,28	45,26	46,11	89,55	95,70	88,29
<i>Non bioavailable</i>	47,25	44,19	44,40	8,77	3,29	7,90

Persentase logam Cu yang bersifat *bioavailable* ditemukan paling rendah dari pada yang lainnya dan ini menunjukkan bahwa bioavailabilitas logam Cu relatif rendah sehingga dapat dipastikan bahwa tanaman yang tumbuh pada tanah tersebut tidak tercemar oleh logam Cu. Oleh karena logam Cu memiliki afinitas yang sangat kuat terhadap zat organik yang ada di dalam tanah, maka logam Cu yang terikat pada bahan organik atau berpotensi *bioavailable* tersebut sulit terdegradasi menjadi Cu yang *bioavailable*.

SIMPULAN

Konsentrasi logam Pb dan Cu total dalam tanah pertanian di Desa Sukawana, Kintamani berturut-turut ada pada kisaran (40,3607-167,4051) mg/kg dan (26,7679-35,7764) mg/kg.

Trend urutan konsentrasi logam Pb dan Cu berdasarkan fraksinya dapat diurut sebagai berikut: F4 > F3 > F2 > F1 untuk Pb dan F3 > F2 > F4 > F1 untuk Cu. Spesies Pb dalam tanah didominasi oleh fraksi resisten, sedangkan spesies Cu didominasi oleh fraksi organik/sulfida

Logam Pb dan Cu yang *bioavailable* (5,45-10,55)% untuk Pb dan (1,01-3,81)% untuk Cu) jauh lebih kecil dibandingkan dengan persentase logam Pb dan Cu yang berpotensi *bioavailable* (47,57-53,38% untuk Pb dan 88,29-95,70% untuk Cu).

DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B.J. 1995. *Metals in Soil*. University of Sydney Library. Sydney.
- Angima, S. 2010. Toxic Heavy Metals in Farm Soil. *Oregon State University*. V(3): 1-3.
- Filipović-Trajković, R., Ilić, Z. S., Sunić, L., and Andjelković, S. 2012. The Potential of Different Plant Species for Heavy Metals Accumulation and Distribution. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 10(1): 959-964.
- Gasparatos, D., Haidouti, C., Adrinopoulos, F., and Areta. O. 2005. Chemical Speciation and Bioavailability of Cu, Zn and Pb on Soil from the National Garden of Athens, Greece. *Proceedings of the 9 th International Conference on Environmental Science and Technology*. Rhodes Island, Greece 1-3 September. p. A-438 – A-444.
- Jena, V., Gupta, S., Dhundhel, R. S., Matie, N., Bilinski, S. F., and Devie, N. 2013. Determination of Total Heavy Metal By Sequential Extraction from Soil. *International Journal of Research in Environmental Science and Technology*. 3(1): 35-38.
- Jia, L., Wang, W., Li, Y., and Yang, L. 2010. Heavy Metals in Soil and Crops of an Intensively Farmed Area: A Case Study in Yucheng City, Shandong Province, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 7: 395-412.
- Parmiko, I P. M., Siaka, I M., Suarya, P. 2014. Kandungan Logam Cu dan Zn Dalam Tanah Pertanian di daerah Bedugul. *Jurnal Kimia (Journal of Chemistry)*. 8(1): 91-96
- Regi, M., Siaka, I M., Suprihatin, I. E. 2018. Bioavailabilitas Logam Berat Pb dan Cd dalam Tanah Perkebunan Budidaya Kubis di Daerah Kintamani Bangli. *Ecotrophic*. 12(1) : 42-49.
- Siaka, I M. 2016. Spesiasi dan Bioavailabilitas Logam Berat dalam Tanah dan Akumulasinya dalam Sayuran Sebagai Dasar Penentuan Tingkat Aman Konsumsi. *Disertasi*. Pasca Sarjana Universitas Udayana. Fakultas Pertanian. Denpasar, Bali
- Siaka, I M., Udayani, P. D. S. and Suyasa, I W. B. 2021. Bioavailabilitas dan Kandungan Logam Pb, Cu pada Tanah dan Sawi Putih di Desa Baturiti. *Jurnal Kimia (Journal of Chemistry)*. 15(1): 20-28
- Siaka, I M., Utama, I M. S, Manuaba, I. B. P., and Adnyana, I M. and Sahara, E. 2016. Speciation and Bioavailability of Some Heavy Metals in Agricultural Solis Used for Cultivating Various Vegetables in Bedugul, Bali. The 5 th international Conference and Workshop on Basic and Applied Sciences (ICOWOBAS 2015), Surabaya, Indonesia 16-17 October. AIP Conf. Proc. 1718:050005-1 – 05000-11.
- Wisnawa, P. D. 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 (Journal of Chemistry)*. 10(1): 23-31
- Wuana, R. A. and Okieimen, F. E. 2011. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risk and Best Available Stategies for Remediation. *ISRN Ecology*. Vol. 2011: 1-20.