

**KANDUNGAN LOGAM Pb DAN Cu DALAM DAUN SINGKONG (*Manihot utilissima* Pohl.)
SERTA BIOAVAILABILITAS LOGAM TERSEBUT DALAM TANAH
DI DESA GUNUNG SALAK, TABANAN**

I M. D. P. Yana, N. G. A. M. D. Adhi Suastuti*, S. R. Santi

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

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

ABSTRAK

Tanaman singkong (*Manihot utilissima* Pohl.) banyak dimanfaatkan sebagai bahan pangan terutama daun dan umbinya, sehingga tanaman ini banyak ditanam oleh masyarakat di pekarangan rumah mereka. Masyarakat di Desa Gunung Salak Tabanan sebagian besar menanam singkong di lahan yang berdekatan dengan jalan raya, sehingga terpapar oleh polusi udara yang mengandung logam berat seperti logam Pb dan Cu. Kandungan logam dalam tanaman singkong dipengaruhi oleh kandungan logam dalam tanah yang digunakan sebagai media tanam. Adapun tujuan penelitian ini untuk mengetahui kandungan logam Pb dan Cu dalam daun singkong serta bioavailabilitas logamnya dalam tanah. Metode yang digunakan untuk menentukan keberadaan logam dalam daun singkong adalah digesti basah sedangkan untuk penentuan bioavailabilitas menggunakan metode ekstraksi bertahap yang diukur dengan Atomic Absorption Spectrometer (AAS). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sampel daun singkong dikategorikan tercemar karena telah melewati batas maksimum yang ditetapkan BPOM untuk logam Pb dan Cu berturut-turut sebesar 0,2 mg/kg dan 5,0 mg/kg. Kandungan logam Pb dan Cu dalam sampel daun singkong berturut-turut sebesar 119,5487 mg/kg dan 23,0215 mg/kg. Bioavailabilitas logam dalam tanah pada saat sebelum penanaman didominasi oleh logam yang berpotensi bioavailabel untuk logam Pb dan bersifat non bioavailabel untuk logam Cu. Logam Pb dan Cu yang bioavailabel berturut-turut berkisar antara 7,97 – 18,45% dan 1,17 – 6,75%, sedangkan logam yang berpotensi bioavailabel untuk logam Pb dan Cu berkisar antara 45,98 – 72,31% dan 7,55 – 16,37%. Logam Pb dan Cu yang bersifat non bioavailable untuk berturut-turut berada pada kisaran 15,78 – 41,02% dan 76,88 – 91,28%.

Kata kunci: Bioavailabilitas, Cu, Pb, Tanaman singkong

ABSTRACT

The cassava plant (*Manihot utilissima* Pohl.) is widely used as food, particularly the leaves and tubers, and is commonly planted in home gardens. In Gunung Salak Village, Tabanan, many people plant cassava on land close to the main road, which exposes it to air pollution containing heavy metals such as Pb and Cu. The metal content in cassava plants is influenced by the metal content in the soil used as a planting medium. This research aims to determine the metal content of Pb and Cu in cassava leaves and the bioavailability of these metals in the soil. The wet digestion method was used to determine the presence of metals, while the sequential extraction method was applied to assess bioavailability. The metal concentrations were quantified using an Atomic Absorption Spectrometer (AAS). The results show that the cassava leaf samples are categorized as contaminated because they exceed the maximum limits set by BPOM for Pb and Cu, which are 0.2 mg/kg and 5.0 mg/kg, respectively. The concentrations of Pb and Cu in the cassava leaf samples were 119.5487 mg/kg and 23.0215 mg/kg, respectively. The bioavailable metal fractions for Pb and Cu ranged from 7.97% to 18.45% and 1.17% to 6.75%, respectively, while the potentially bioavailable fractions of Pb and Cu ranged from 45.98% to 72.31% and 7.55% to 16.37%, respectively. The non-bioavailable fractions of Pb and Cu ranged from 15.78% to 41.02% and 76.88% to 91.28%, respectively.

Keywords: Bioavailability, Cassava, Cu, Pb

PENDAHULUAN

Aktivitas manusia dalam memenuhi kebutuhan sandang, pangan dan papan menghasilkan limbah yang dapat menyebabkan

penurunan kualitas lingkungan di udara, air dan tanah. Sumber bahan pencemar dapat berasal dari pemukiman, daerah pertanian, peternakan dan industri. Limbah industri umumnya

mengandung logam berat yang dapat didistribusi oleh udara dan air.

Logam berat bisa diartikan menjadi unsur logam yg memiliki sifat toksik (beracun) bagi makhluk hayati, termasuk manusia meskipun dalam konsentrasi yg rendah. contoh logam berat tersebut adalah merkuri (Hg), arsen (AS), kadmium (Cd), kromium (Cr), talium (Ti) serta timbal (Pb) (Mustafa dan Meshari, 2018). Keberadaan timbal berbahaya bagi manusia dimana zat tersebut tidak bisa dihancurkan atau diubah bentuknya. Logam berat dapat terakumulasi pada produk pangan yg berasal asal tempat budidaya yang mempunyai taraf polusi tinggi dampak berasal polusi gas buang yg berasal dari tunggangan bermotor serta keadaan tanah yang terkotori logam berat secara alami maupun kegiatan manusia (Widowati dkk., 2010).

Rahayu dkk (2014) menyatakan sayur - mayur yang ditanam di pinggir jalur mempunyai efek sangat besar terpapar logam berat semacam Pb, Cu, Hg, Cd, serta Zn diseluruh bagian tumbuhan pada pangkal, batang, daun serta buah. Bahan pencemar tanah bisa berasal dari alam semacam pelapukan batuan serta erupsi gunung berapi dan sumber pencemar dari kegiatan. Logam berat yang terakumulasi di tanaman pula bisa berasal dari tanah yang sudah tercemar oleh senyawa logam berat baik secara natural ataupun oleh kegiatan manusia. Sifat dari bahan pencemar tanah berbeda- beda, semacam dari alam bersifat *non bioavailable* sebaliknya bahan pencemar dari kegiatan manusia bersifat *bioavailable* ataupun berpotensi *bioavailable* (Oluremi et al., 2013).

Penelitian lain yang dilakukan oleh Ratnasari (2013) menyatakan bahwa kandungan logam Pb pada sayuran di daerah Bedugul, Tabanan yaitu sebesar 13,7218 mg/kg pada umbi wortel dan dalam kentang sebesar 3,2160 mg/kg, pada daun sayurkol yaitu 1,4912 mg/kg dan pada seledri 11,9941 mg/kg, kandungan tersebut sudah melampaui ambang batas yang ditetapkan BPOM yaitu 0,2 mg/kg. Sedangkan untuk Cu pada sayuran yaitu kandungan Cu pada umbi wortel didapat sebesar 0,8247 mg/kg, pada umbi kentang sebesar 1,6912 mg/kg, di sayur kol dan seledri yaitu sebesar 0,7830 mg/kg dan 2,8073 mg/kg, hasil tersebut masih di bawah ambang batas yang ditetapkan oleh BPOM yaitu 5,0 mg/kg.

Kandungan Pb dan Cu dalam sayuran yang tinggi jika dikonsumsi maka dikhawatirkan menimbulkan dampak buruk

bagi kesehatan. Menurut Rai et al (2019) yang menyatakan bahwa logam berat dapat terakumulasi di tulang atau jaringan lemak manusia melalui asupan makanan, sehingga menyebabkan kekurangan nutrisi penting dan melemahnya pertahanan imunologis tubuh. Kontaminasi timbal berdampak buruk terhadap pertumbuhan mental sehingga menyebabkan penyakit saraf dan kardiovaskular pada manusia, terutama pada anak-anak. Pendapat Hadi dan Nusantari, (2007) dalam Indarwati et al., (2023) menyatakan bahwa logam Cu bila masuk ke dalam tubuh manusia dapat menimbulkan dampak seperti gangguan fungsi otak, demyelinasi, gangguan fungsi ginjal dan penumpukan Cu pada kornea mata.

Bioavailabilitas yaitu keberadaan jumlah logam berat terakumulasi oleh hayati dalam jumlah yang terakumulasi besar bisa menimbulkan reaksi toksik (Widaningrum dkk., 2011). Fraksi bioavailabilitas logam dalam tanah atau sedimen bisa dianalisis keberadaanya dengan metode ekstraksi bertahap (Siaka et al., 2006). Seperti pada penelitian yang dilakukan Siaka et al., (2021) menunjukkan kadar dari bioavailabilitas dalam tanah yang diambil di tiga tanah pertanian di Desa Baturiti, Tabanan. Tanah pertanian di tiga lokasi sebelum pananaman sayuran memiliki kadar Pb sebesar masing-masing sebesar 40,22%; 53,67%; dan 21,80% sedangkan untuk logam Cu masing-masing sebesar 3,11%; 74,73%; dan 48,13% pada saat sebelum penanaman. Sedangkan saat panen kandungan Pb masing-masing sebesar 41,45%; 78,38%; dan 14,32% serta kadar logam Cu masing-masing sebesar 5,67%; 71,76%; dan 45,23% pada saat panen. Informasi tersebut mengalami kenaikan saat panen karena pemakaian agrokimia yang menyebabkan tanah dominan memiliki sifat yang berpotensi bioavailable.

Desa Gunung Salak merupakan salah satu daerah yang termasuk desa wisata di Kabupaten Tabanan, wisata yang ada di Desa Gunung Salak meliputi Air Terjun Tibu Sampi, pemandangan dari atas bukit dan Terasering dari sawah-sawah. Selain memberikan daya tarik wisata Desa Gunung Salak juga memiliki suhu yang sejuk yang menarik wisatawan untuk berlibur di Desa tersebut untuk tempat beristirahat. Oleh karena itu Desa Gunung Salak menjadi tempat lalu lalang dari turis yang berkunjung menggunakan kendaraan bermotor dan truk angkutan barang yang mengangkut barang-barang kebutuhan turis. Masyarakat

Desa Gunung Salak sebagian besar membudidayakan tanaman singkong di luar pekarangan (rumah), karena tanaman singkong pada bagian umbi dan daunnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan makanan, mudah ditanam pada berbagai lahan, serta digunakan sebagai pagar pembatas antara rumah dengan jalanan utama. Bagian tanaman singkong sering dimanfaatkan untuk kebutuhan pangan adalah umbi dan daunnya. Pemanfaatan daun singkong sebagai pagar rumah dan jalan mengakibatkan kontaminasi dari gas buang kendaraan bermotor yang mengandung timbal memapar tanaman singkong terlebih di daunnya (Feliana, 2014).

Pemanfaatan daun singkong sebagai bahan makanan oleh sebagian besar masyarakat Desa Gunung Salak, Kabupaten Tabanan menyebabkan perlunya dilakukan penelitian untuk menganalisis apakah daun singkong yang berasal dari Desa Gunung Salak Kabupaten Tabanan mengandung timbal (Pb) dan tembaga (Cu), dan perlu juga menganalisis bioavailabilitas logam berat pada lahan kebun singkong tersebut.

MATERI DAN METODE

Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan-bahan seperti daun singkong, tanah kebun singkong, H_2O_2 , HNO_3 , $Pb(NO_3)_2$, $CuSO_4$ anhidrat, HCl, EDTA, CH_3COONH_4 , $NH_2OH.HCl$, dan aquades.

Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca analitik, labu ukur, gelas ukur kertas saring, pipet volume, blender, gelas beaker, shaker, pH meter tanah (ituin), Oven, sentrifugasi (Kubota), mortar, pemanas listrik (hot plate), ayakan 63 μm , ultrasonic bath (Skymen), erlenmeyer, botol semprot, dan Spektrofotometer Serapan Atom (Shimadzu AA-7000).

Cara Kerja

Preparasi Sampel Tanah

Tanah dipilah dengan bebatuan yang ikut terambil, lalu dioven selama tiga hari pada suhu 60°C sampai berat konstan. Setelah itu sampel ditimbang dan ditumbuk dengan mortar sampai halus kemudian diayak dengan ayakan dengan pori 63 μm . Selanjutnya sampel disimpan dalam plastik polietilen

Preparasi Sampel Daun Singkong

Sampel daun singkong dipotong kecil – kecil dan dicuci dengan air mengalir, lalu dioven selama tiga hari pada suhu 60°C sampai massa dari sampel tetap. Setelah itu sampel di lumatkan sampai halus dengan blender kemudian disaring dengan ayakan 63 μm dan disimpan dalam plastik polietilen yang digunakan untuk analisis lebih lanjut.

Ekstraksi Bertahap

Ekstraksi Tahap I (*Fraksi Easy, Freely, Leachable dan Exchangeable*)

Sebanyak 1 g sampel tanah ditimbang dengan teliti dimasukkan ke dalam tabung ekstraksi kemudian ditambahkan 40 mL CH_3COOH 0,1M. Campuran dalam tabung ekstraksi digojog selama dua jam dalam shaker dan sentrifugasi pada kecepatan 4000 rpm dalam 10 menit. Sentrifugat yang dihasilkan didekantasi dan dimasukan ke labu ukur 50 mL, kemudian diencerkan menggunakan HNO_3 0,01 M sampai tanda batas. Larutan ini kemudian diukur serapannya dengan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) dengan panjang gelombang 342,7 untuk Cu dan 217,0 untuk Pb.

Ekstraksi Tahap II (*Fraksi Mn dan Fe Oksida*)

Endapan yang didapat fraksi I ditambahkan dengan 40 mL NH_4OH . HCl 0,1 M, kemudian HNO_3 dimasukan sampai pH menjadi 2. Campuran tersebut digojog dalam dua jam dengan menggunakan shaker dan selanjutnya disentrifugasi pada kecepatan 4000 rpm dalam 10 menit. Filtrat yang dihasilkan didekantasi dan dimasukan ke labu ukur 50 mL, kemudian encerkan menggunakan HNO_3 0,01 M sampai tanda batas. Larutan ini kemudian diukur dengan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) dengan panjang gelombang sama dengan ekstraksi tahap I

Ekstraksi Tahap III (*Fraksi Organik dan Sulfisa*)

Endapan fraksi II ditambahkan dengan 10 mL larutan H_2O_2 8,8 M, kemudian tabung ekstraksi ditutup dengan kaca arloji. Campuran tersebut didiamkan dalam satu jam pada suhu 37°C sambil dikocok perlahan. Campuran dipanaskan dalam penangas air pada suhu 85°C dalam satu jam, lalu 10 mL larutan H_2O_2 8,8 M ditambah dan dipanaskan kembali selama 1 jam. Campuran didinginkan pada dan

ditambahkan 20 mL $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1 M. Campuran larutan ditambahkan HNO_3 sampai mencapai pH 2. Campuran tersebut digojog dalam dua jam dalam shaker, kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm dalam 10 menit. Cairan yang dihasilkan didekantasi dan dimasukkan ke labu ukur 50 mL selanjutnya diencerkan dengan HNO_3 0,01 M sampai tanad batas.

Ekstraksi Tahap IV(Fraksi Resistant)

Endapan fraksi III bersihkan dengan aquades dan ditambahkan *reverse aquareqia* sebanyak 10 mL. selanjutnya didigesti dengan *ultrasonic bath* disuhu 60°C dalam 45 menit dan dipanaskan pada suhu 140°C dala 45 menit. Selanjutnya disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 10 menit. Cairan yang dihasilkan kemudian didekantasi dan dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL. Hasil dekantasi tersebut diencerkan dengan aquades sampai tanda batas.

Penentuan Konsentrasi logam total dalam daun singkong

Sebanyak 0,5 g serbuk daun singkong masukan dalam gelas beaker, ditambahkan dengan 5 mL HNO_3 pekat. Larutan blanko dibuat dengan cara yang sama tanpa adanya penambahan sampel. Sampel dan blanko dipanaskan pada suhu $80-90^\circ\text{C}$ selama 2 jam dan selanjutnya suhu dinaikkan hingga suhu hingga 150°C sampai mendidih. Sebanyak 3-5 mL ditambahkan, HNO_3 pekat dan H_2O_2 30% dengan hati-hati dan didiamkan sampai dingin lalu disaring disaring. Filtratnya ditampung dalam labu 25 mL diencerkan dengan aquades sampai tanda batas, kemudian diukur menggunakan AAS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Logam Pb dan Cu Total Dalam Sampel Tanah Perkebunan

Kandungan Pb dan Cu total dalam sampel tanah perkebunan singkong ditentukan dengan metode kurva kalibrasi. Persamaan garis regresi untuk logam Pb dna Cu berturut-turut adalah $y=0,0400x+0,0049$ dan $0,1999 + 0,0085$ dengan koefisien korelasi (R) berturut-turut 0,9998 dan 0,9997. Nilai korelasi R yang dihasilkan memenuhi persyaratan yang

ditentukan oleh SNI 06-6989.31-2005 yaitu $r \geq 0,97$. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa hasil data linieritas dinyatakan valid dan metode ini dapat memberikan hasil uji baik (Lufiana et al., 2020).

Logam Pb dan Cu dalam tanah perkebunan sebelum penanaman di ketiga petak penanaman berkisar antara 52,4269-76,9647mg/kg dan 245,0997- 249,3917 mg/kg. Kandungan Pb dan Cu pada tanah perkebunan berkisar antara 155,3676-226,5095 mg/kg dan 259,7355-287,6954 mg/kg. Kandungan logam Pb pada tanah kebun saat masa panen cenderung lebih tinggi daripada sebelum penanaman. Jumlah logam Pb pada sampel tanah mengalami peningkatan diakibatkan oleh faktor pemberian pupuk kotoran ayam dan air yang digunakan pada setiap petak. Pemberian pupuk kotoran ayam dapat menjadi penyumbang keberadaan logam berat karena mengandung kandungan hara yang berupa logam Pb dan Cu yang dapat meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) dalam tanah (Haesono, 2009). Air hujan dan air penyiraman juga berperan sebagai faktor penyumbang keberadaan logam berat karena dalam air mengandung logam dan manghanyutkan kandungan spesiasi logam dalam tanah, serta aktivitas mikroorganisme. Faktor lain yang meningkatkan kandungan logam Pb dalam tanah tersebut adalah emisi gas buang dari kendaraan bermotor, dimana keberadaan lahan tersebut terletak di pinggir jalan dimana kendaraan bermotor banyak lalu-lalang di sekitar lahan. Keberadaan logam dalam tanah saat panen lebih tinggi pH (6,35) dari sebelum penanaman disebabkan karena adanya penurunan pH tanah pada saat panen pH (6,05). Menurut Buhani dan Suharso (2006), pada pH yang rendah maka mobilitas logam mengalami peningkatan. Adanya senyawa humat atau senyawa pengomplek seperti EDTA maka ion logam dapat membentuk senyawa kompleks.

Hasil yang diperoleh dapat dikatakan bahwa sampel tanah tergolong tidak tercemar logam Pb saat penanaman tidak melebihi 100 mg/kg sedangkan tergolong tercemar logam Pb saat masa panen yang melebihi 100 mg/kg. Menurut Alloway (1990) dalam Siaka *et al.*, (2019) hasil logam Pb total dalam tanah di ketiga petak tergolong masih diperbolehkan yaitu 0-500 mg/kg.

Tabel 1. Kandungan logam Pb dan Cu Tanah Perkebunan

| Petak | Sebelum penanaman | | Saat Panen | |
|-------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Pb (mg/kg) | Cu (mg/kg) | Pb (mg/kg) | Cu (mg/kg) |
| 1 | 52,4269±1,0338 | 245,0997±0,1953 | 160,1876±0,9733 | 259,7355±0,2500 |
| 2 | 66,3827±0,7748 | 249,3917±0,2330 | 155,3676±1,0154 | 262,5284±0,2632 |
| 3 | 76,9647±0,9420 | 247,2573±0,1659 | 226,5095±0,9146 | 287,6954±0,2785 |

Sampel tanah saat penanaman dan masa panen tergolong tercemar logam Cu melebihi 200 mg/kg (*Ministry of State for Population and Environmental of Indonesia and Dalhosie University, 1992*) dan menurut Rosmarkam dan Yuwoni, 2002 dalam Siaka et al., 2019, kandungan logam Cu tergolong pada tingkat pencemaran tinggi karena berada di atas 73-200 mg/kg.

Spesiasi dan Bioavailabilitas Pb dan Cu dalam Tanah

Menentukan spesiasi suatu logam dilakukan agar mengetahui spesies kimia dari logam, sehingga memudahkan untuk mengetahui seberapa banyak logam dapat

terserap dalam tumbuhan. Persentase logam yang terekstraksi dapat dinyatakan sebagai mengikatnya logam dalam tanah (Oluremi et. al., 2013). Konsentrasi logam Pb disajikan pada Tabel 2 dan konsentrasi Cu disajikan pada Tabel 3. Hasil dari Tabel 2 menunjukkan bahwa keberadaan logam Pb sebelum penanaman cenderung terikat pada fraksi 3 (fraksi organik) dan saat masa panen logam Pb cenderung terikat pada fraksi 4 (*resistant*). Hal tersebut dapat terjadi karena sebelum penanaman tanah disekitar lahan diberikan pupuk organik, cuaca hujan yang menghayutkan unsur – unsur dalam tanah, dan air yang digunakan untuk menyiram tanaman.

Tabel 2. Logam Pb yang terekstraksi dalam tanah perkebunan

| Petak | Frakasi | sebelum penanaman (mg/kg) | Terekstraksi (%) | saat masa panen (mg/kg) | Terekstraksi (%) |
|-------|------------------------|---------------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| 1 | <i>EFLE</i> | 6,2471 ± 1,0292 | 11,92 | 12,7720 ± 0,6749 | 7,97 |
| | <i>FE/Mn Oksida</i> | 18,1670 ± 0,6710 | 34,65 | 40,8904 ± 0,7769 | 25,53 |
| | <i>Organik/Sulfida</i> | 19,7415 ± 1,0316 | 37,66 | 46,2892 ± 1,0333 | 28,90 |
| | <i>Resistant</i> | 8,2713 ± 1,4032 | 15,78 | 60,2360 ± 1,4081 | 37,60 |
| 2 | <i>EFLE</i> | 12,0968 ± 0,6743 | 18,22 | 27,6186 ± 1,3524 | 17,78 |
| | <i>FE/Mn Oksida</i> | 16,8206 ± 0,6782 | 25,34 | 43,8148 ± 0,6792 | 28,20 |
| | <i>Organik/Sulfida</i> | 22,2193 ± 1,3540 | 33,47 | 20,1953 ± 0,6768 | 13,00 |
| | <i>Resistant</i> | 15,2460 ± 0,3926 | 22,97 | 63,7349 ± 1,3531 | 41,02 |
| 3 | <i>EFLE</i> | 11,1985 ± 1,0304 | 14,55 | 41,7834 ± 0,6831 | 18,45 |
| | <i>FE/Mn Oksida</i> | 23,1219 ± 1,0296 | 30,04 | 49,2053 ± 1,1687 | 21,72 |
| | <i>Organik/Sulfida</i> | 23,1219 ± 1,0319 | 30,04 | 80,6926 ± 0,7651 | 35,62 |
| | <i>Resistant</i> | 19,5224 ± 0,6759 | 25,37 | 54,8282 ± 1,0415 | 24,21 |

Tabel 3. Logam Cu yang terekstraksi dalam tanah

| Petak | Frakasi | sebelum penanaman (mg/kg) | Terekstraksi (%) | saat masa panen (mg/kg) | Terekstraksi (%) |
|-------|------------------------|---------------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| 1 | <i>EFLE</i> | 2,8752 ± 0,1244 | 1.17 | 6,8352 ± 0,1907 | 2.65 |
| | <i>FE/Mn Oksida</i> | 9,1673 ± 0,1926 | 3.74 | 12,7117 ± 0,1904 | 4.93 |
| | <i>Organik/Sulfida</i> | 9,3339 ± 0,1893 | 3.81 | 6,7935 ± 0,3147 | 2.64 |
| | <i>Resistant</i> | 223,7233 ± 0,2749 | 91.28 | 231,3951 ± 0,3040 | 89.78 |
| 2 | <i>EFLE</i> | 3,6676 ± 0,3151 | 1.47 | 6,9602 ± 0,1905 | 2.65 |
| | <i>FE/Mn Oksida</i> | 11,7944 ± 0,1932 | 4.73 | 11,1697 ± 0,3833 | 4.25 |
| | <i>Organik/Sulfida</i> | 10,0857 ± 0,1901 | 4.04 | 12,0032 ± 0,2180 | 4.57 |
| | <i>Resistant</i> | 223,8440 ± 0,2335 | 89.76 | 232,3953 ± 0,2608 | 88.52 |
| 3 | <i>EFLE</i> | 3,7931 ± 0,1446 | 1.53 | 19,4186 ± 0,2612 | 6.75 |
| | <i>FE/Mn Oksida</i> | 10,2954 ± 0,1904 | 4.16 | 21,0438 ± 0,5089 | 7.31 |
| | <i>Organik/Sulfida</i> | 9,6285 ± 0,1255 | 3.89 | 26,0442 ± 0,1961 | 9.05 |
| | <i>Resistant</i> | 223,5403 ± 0,2032 | 90.41 | 221,1888 ± 0.1478 | 76.88 |

Tabel 3 menunjukkan adanya peningkatan pada semua fraksi saat masa penanaman dan saat masa panen. Keberadaan logam Cu pada sampel tanah saat penanaman dan panen cenderung berikatan pada fraksi 4 (*resistant*) dibandingkan dengan fraksi-fraksi lainnya. Fraksi 4 tersebut terbentuk karena aktivitas alami, dimana sebagian besar logam terbentuk karena proses pelapukan bebatuan secara alami.

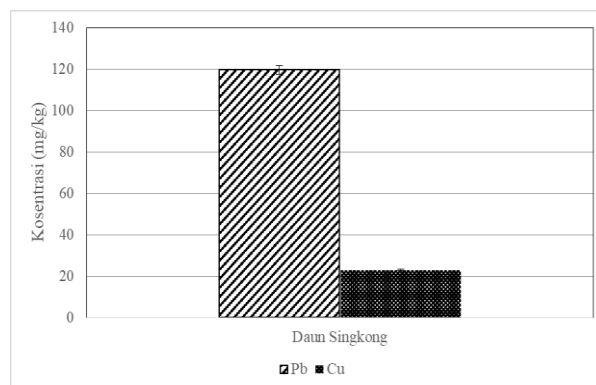
Konsentrasi logam Pb dan Cu setiap fraksi menunjukkan jumlah bioavailabilitasnya. Persentase jumlah pada fraksi 1 menunjukkan sifat *bioavailable*, fraksi 2 dan 3 menunjukkan berpotensi *bioavailable* dan fraksi 4 menunjukkan *non bioavailable*. Berdasarkan hasil data yang didapatkan pada bioavailabilitas logam Pb cenderung bersifat berpotensi *bioavailable*, dimana keadaan tersebut menunjukkan bahwa sampel tanah pada kondisi tertentu dapat berubah menjadi *bioavailable* sehingga dapat diserap oleh tanaman. Sedangkan pada bioavailabilitas logam Cu cenderung bersifat *non bioavailable*, dimana logam Cu yang terkandung dalam tanah berasal dari aktivitas alam atau hasil pelapukan dari batuan. Logam Cu tersebut tidak mudah diserap oleh tanaman atau organisme lainnya karena logam Cu yang terkandung berasosiasi atau terikat dengan stabil dengan mineral primer dalam tanah, sehingga sulit untuk diasosiasikan ke tanaman.

Bioakumulasi Pb dan Cu pada daun singkong

Bioakumulasi logam dalam sampel daun singkong diakibatkan oleh tanah yang mengandung logam digunakan sebagai media penanaman. Logam berat yang bersifat *bioavailable* terserap dalam tanaman pada akar dan didistribusikan ke seluruh tanaman. Kandungan logam Pb dan Cu dalam daun singkong ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar tersebut menunjukkan kandungan logam berat, dimana konsentrasi logam Pb yang terakumulasi tertinggi pada daun singkong yaitu 119,5487 mg/kg dan logam Cu yang terakumulasi yaitu 23,0215 mg/kg. Tingginya konsentrasi logam tersebut dalam daun singkong dapat dipengaruhi oleh letak penanaman singkong dipinggir jalan yang terpapar oleh emisi gas kendaraan bermotor. Disamping itu kandungan logam dalam daun singkong ditentukan juga oleh tanah sebagai

media tanam dari tanaman singkong yang bersifat *bioavailable* dan yang berpotensi *bioavailable*.



Gambar 1. Konsentrasi logam Pb dan Cu dalam daun singkong

Hasil konsentrasi logam Pb dan Cu daun singkong menunjukkan bahwa konsentrasi logam Pb dan Cu telah melampaui ambang batas yang ditetapkan untuk logam berat dalam bahan pangan, Menurut SK Dirjen POM No.03725/B/SKVII/89 yang menetapkan batas cemaran Pb dalam sayuran sebesar 0,20 mg/kg sedangkan ambang batas dari Cu adalah sebesar 5,0 mg/kg.

SIMPULAN

Kandungan logam Pb dan Cu total yang terakumulasi dalam daun singkong berturut-turut sebesar 119,5487 mg/kg dan 23,0215 mg/kg. Menurut BPOM konsentrasi logam Pb dan Cu dalam daun singkong telah melebihi ambang maksimum yaitu 0,2 mg/kg logam Pb dan 5,0 logam Cu.

Logam Pb total dalam tanah di lahan tanam singkong tergolong tercemar saat sebelum penanaman dan tergolong tidak tercemar pada saat pemanenan. Hal ini dapat dikatakan tercemar apabila konsentrasinya melebihi 100 mg/kg dan konsentrasi logam Cu total dalam tanah tergolong tercemar karena konsentrasinya melebihi 200 mg/kg (Ministry of State for Population and Environmental of Indonesia and Dalhosie University (1992)

Bioavailabilitas logam dalam tanah pada saat sebelum penanaman untuk logam Pb didominasi oleh logam yang berpotensi bioavailabel dan logam Cu yang non bioavailabel. Logam Pb dan Cu yang bersifat

bioavailabel berturut-turut berkisar antara 7,97 – 18,45% dan 1,17 – 6,75%, sedangkan logam yang berpotensi bioavailabel untuk logam Pb dan Cu berkisar antara 45,98 – 72,31% dan 7,55 – 16,37%. Logam Pb dan Cu non bioavailabel untuk berturut-turut berada pada kisaran 15,78 – 41,02% dan 76,88 – 91,28%.

DAFTAR PUSTAKA

- Buhani dan Suharso. 2006. The Influence of pH Towards Multiple Metal Ion Adsorption of Cu (II), Zn(II), Mn(II) and Fe(II) on Humic Acid. *Indo J. Chem.* 6(1): 43-46
- Feliana, F., Laenggeng, A. H., dan Dhafir, F. 2014. Kandungan Gizi Dua Jenis Varietas Singkong (*Manihot esculenta*) Berdasarkan Umur Panen Di Desa Siney Kecamatan Tinombo Selatan Kabupaten Parigi Moutong. *Jurnal e-Jipbiol.* 2(3)
- Haesono. 2009. Terobos Teknologi Peupukan dalam Era Pertanian Organik. Yogyakarta: Kanisius
- Indarwati Y, Soeprbowati T.R, Izzati M dan Hadiyanto. 2023. Kontaminan Logam Berat (Pb, Cd dan Cu) pada Tanah dari Pemupukan Berbasis Jerami Padi. *Jurnal Lingkungan.* 21(1): 8-14
- Lufiana Q, Moh. Syaiful Arief, Aman Sentosa Pangabean. 2020. Verifikasi Metode Penentuan Fosfat (PO_4^{3-}) Pada Air Limbah Domestik Menggunakan Metode Asam Askorbat dengan Spektrofotometer UV-Vis. *Global Conferences Series: Science and Technology (GCSST).* 5: 125-129
- Ministry of State for Population and Environmental of Indonesia, and Dalhosie, Universitas Canada. 1992. *Environmental Management in Indonesia. Report of Soil Quality Standars for Indonesia*
- Mustafa, S. K. dan Meshari, A. A. 2018. Copper (Cu) an Essential-Redox-Active Transition Metal in Living System-A Riview Article. *American Journal of Analytical Chemistry.* 9(1): 15-21
- 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 Amaranthus Hybridus Cultivated Along Major Roads in Ile-Ife Nigeria.* *African Journal of Pure and Applied Chemistry.* 7(5): 184-193
- Rahayu, A., Utami, R.S., Rayes, L. M. 2014. *Karakteristik Dan Klasifikasi Tanah pada Lahan Kering dan Lahan yang Disawahkan di Kecamatan Perak Kabupaten Jombang.* *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan.* 1(2): 79-87.
- Rai K.P., Leeb S.S., Zhange M., Tsangd Y.F., dan Kime K. 2019. Heavy Metals in Food Crops: Health Risk, Fate, Mechanism and Management. 2019. Review Article. *Environmental International.* 125 (2019): 365-385
- Ratnasari, Kurnia G. A. H., Siaka, I M., dan Suastuti, Ni G. A. M. D. A. 2013. *Kandungan Logam Total Pb Dan Cu Pada Sayuran Dari Sentra Hortikultura Daerah Bedugul.* *Journal Kimia. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana.* Bukit Jimbaran
- 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
- Siaka I M. Nurcahyani H dan 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 dan 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
- Widaningrum, Miskiyah, dan Suismono. 2011. *Bahaya Kontaminasi Logam Berat Dalam Sayuran Dan Alternatif Pencegahan Cemarannya.* *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian.* 3
- Widowati W, Sastiono A, Jusuf R. 2010. Efek Toksik Logam. ANDI Yogyakarta. Yogyakarta.