

**KANDUNGAN LOGAM Pb DAN Cu DALAM BUAH STROBERI SERTA  
SPESIASI DAN BIOAVAILABILITASNYA DALAM TANAH  
TEMPAT TUMBUH STROBERI DI DAERAH BEDUGUL**

**Putu Desitha Pratiti Kameswari Wisnawa\*, I Made Siaka, dan Anak Agung Bawa Putra**

*Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali*

*\*E-mail : desithakameswari@yahoo.com*

---

**ABSTRAK**

Penelitian tentang spesiasi dan bioavailabilitas logam berat Pb dan Cu dalam buah stroberi dan tanah tempat tumbuh stroberi di daerah Bedugul telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat Pb dan Cu total dalam buah stroberi dan tanah tempat tumbuhnya serta spesies dan bioavailabilitas kedua logam tersebut dalam tanah tempat tumbuh stroberi di daerah Bedugul. Metode digesti basah menggunakan *reverse aqua regia* dan ekstraksi bertahap untuk melepaskan logam berat yang terikat pada berbagai fase tanah. Pengukuran kedua logam tersebut dilakukan dengan menggunakan AAS (Shimadzu, AA-7000). Kandungan Pb dan Cu total berturut-turut 2,5903–9,2019 dan 0,8744–1,1567 mg/kg dalam buah stroberi dan 20,7912–39,0144 dan 39,3154–42,6620 mg/kg dalam tanah. Spesiasi logam Pb dan Cu dalam tanah yang berasosiasi dengan fraksi EFLE berturut-turut 3,4944 dan 1,2454 mg/kg, sementara yang terikat pada fase Fe/Mn oksida 5,6652 dan 3,1860 mg/kg. Logam Pb dan Cu yang terikat pada fase Organik/Sulfida berturut-turut 7,9553 dan 5,5913 mg/kg, sedangkan yang terikat pada fase *Resistant* adalah 13,4471 dan 31,0796 mg/kg. Bioavailabilitas logam Pb dan Cu dalam tanah didominasi oleh fraksi non bioavailabel yaitu berturut-turut 43,69 dan 76,11%, diikuti oleh fraksi berpotensi bioavailabel, dan fraksi yang terkecil adalah fraksi bioavailabel.

Kata kunci : tanah, Pb, Cu, ekstraksi bertahap, spesiasi, dan bioavailabilitas

**ABSTRACT**

A study about speciation and bioavailability of heavy metals Pb and Cu in strawberry fruits and in the strawberry soils in Bedugul areas has been carried out. This study was aimed to determine the concentrations of Pb and Cu in the fruits and the soils, as well as speciation and bioavailabilities of both metals in the soils. Wet digestion method with reverse aqua regia was applied for determining the total metals, while sequential extraction method was performed to fractionate the metals bound to the various phases of the soils. The measurement of both metals was carried out by the use of AAS (Shimadzu, AA-7000). The total Pb and Cu contents in the fruits were 2.5903-9.2019 and 0.8744-1.1567 mg/kg, respectively while in the soils were 20,7912 -39.0144 and 39.3154-42,6620 mg/kg, respectively. In the speciation of both metals in soils, it was found that Pb and Cu associated with EFLE phases were 3.4944 and 1.2454 mg/kg, respectively, while those bound to Fe/Mn Oxides phases were 5.6652 and 3.1860 mg/kg, respectively. The Pb and Cu bound to organic/sulfide phases were 7.9553 and 5.5913 mg/kg, respectively and those bound to resistant phases were 13.4471 and 31.0796 mg/kg, respectively. Bioavailabilities of Pb and Cu in the soils were dominated by non bioavailable fractions, i.e. 43.69 and 76.11%, respectively, followed by the fractions of potentially bioavailable, and the lowest fractions were found as readily bioavailable.

Keywords : soils, Pb, Cu, sequential extraction, speciation, bioavailability

## PENDAHULUAN

Bedugul merupakan pusat produksi pertanian hortikultural dataran tinggi di Bali yang dikenal sebagai penghasil buah dan sayuran yang dikonsumsi oleh sebagian besar masyarakat di Bali. Stroberi merupakan salah satu buah yang paling banyak dihasilkan di daerah Bedugul. Untuk menjaga kualitas buah stroberi yang dihasilkan, petani stroberi menggunakan pupuk dan pestisida untuk dapat meningkatkan hasil produksi, meminimalisir gagal panen sehingga petani dapat meraih keuntungan yang maksimal, oleh karena itu penggunaan pupuk dan pestisida sangat penting dan tidak dapat dihindari (Setiyo, 2011). Suputra (2015) menyatakan bahwa petani-petani perkebunan stroberi di daerah Bedugul menggunakan pupuk dan pestisida secara intensif untuk menjaga pertumbuhan tanaman stroberi tersebut. Penggunaan pupuk pada tanaman stroberi biasanya di saat pertama bibit stroberi ditanam dan akan ditambahkan lagi setiap 2 minggu sekali dengan cara dicampurkan pada tanah tempat stroberi tersebut ditanam. Sedangkan penggunaan pestisida dengan cara disemprot secara rutin seminggu sekali untuk menjaga tanaman stroberi agar terhindar dari hama penyakit. Intensitas penambahan pestisida bisa ditambah apabila pada tanaman stroberi yang ditanam terindikasi terkena penyakit atau hama. Penambahan pupuk dan pestisida yang secara rutin dilakukan selama kurang lebih 3 bulan sampai tanaman stroberi siap panen, akan mengakibatkan terjadinya pencemaran pada buah stroberi dan tanah tempat tumbuh stroberi tersebut.

Pencemaran pada tanah menjadi pokok permasalahan yang memprihatinkan di dunia pertanian. Sebagian besar dari zat pencemar tanah berasal dari pupuk dan pestisida yang digunakan petani secara berlebihan berupa logam berat. Beberapa logam berat yang terkandung dalam berbagai jenis pupuk baik pupuk organik maupun anorganik adalah sebagai berikut: B, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, U, V, dan Zn terkandung dalam pupuk fosfat. Cd, Co, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, dan Zn terkandung dalam pupuk nitrat. B, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, dan Zn terkandung dalam pupuk kandang. B, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Sb, Se, V, dan Zn terkandung dalam kapur sedangkan Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb,

dan Zn terkandung dalam kompos (Habibi, 2009). Pestisida yang digunakan oleh para petani di daerah Bedugul juga mengandung logam berat seperti Cu, As, Co, Mn, Cr, Fe, Zn, Ni, Cd, Pb dan Hg. Adanya logam berat pada pestisida yang digunakan dapat terakumulasi pada buah dan sayuran yang mana jika kandungan logam yang terakumulasi tersebut berlebihan maka dapat berbahaya apabila dikonsumsi (Priyono, 2006).

Pb dan Cu merupakan dua diantara logam-logam berat yang terkandung di dalam pupuk dan pestisida yang digunakan oleh petani. Logam Pb dalam tanaman hanya sebagai pencemar dan sangat berbahaya sedangkan logam Cu dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah tertentu sebagai aktivator dari sistem enzim, membantu proses pembentukan vitamin, pembentukan klorofil dan memperlancar proses foto sintesis (Widowati, 2008).

Pengaplikasian pupuk yang berlebihan menyebabkan tingginya residu pupuk di dalam tanah yang akan berpengaruh pada kandungan logam berat Pb dan Cu yang merupakan kandungan dari pupuk dan pestisida tersebut (Widowati, 2008). Tingkat bioavailabilitas sangat mempengaruhi cemaran logam berat dalam tanah dan terserapnya logam berat oleh tanaman. Bioavailabilitas adalah ketersediaan sejumlah logam berat yang diserap oleh tanaman yang jika berlebihan akan menimbulkan respon toksik (Widaningrum *et al.*, 2007). Analisis spesiasi logam merupakan landasan yang berguna untuk mengetahui bioavailabilitas, yang mana spesies logam adalah suatu bentuk yang terdapat pada media, dalam hal ini yaitu tanah dan tanaman (Davidson *et al.*, 1998). Logam berat yang terakumulasi pada tanaman dapat mempengaruhi kesehatan manusia yang mengkonsumsinya.

Akumulasi logam berat Pb dan Cu pada tubuh manusia dapat dilihat dari beberapa gejala keracunan seperti sakit perut, pusing, mual diare, muntah dan dalam beberapa kasus berat dapat menyebabkan gagal ginjal dan kematian (Charlena, 2004). Oleh karena itu, kandungan logam berat Pb dan Cu total dalam buah stroberi dan tanah pertanian stroberi di daerah Bedugul perlu dipelajari lebih lanjut. Dilakukan juga spesiasi dan penentuan bioavailabilitas kedua logam dalam tanah pertanian stroberi sehingga diketahui tingkat pencemaran logam berat tersebut.

## MATERI DAN METODE

### Bahan

Bahan-bahan yang digunakan antara lain sampel tanah budi daya stroberi, sampel buah stroberi, aquades,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ,  $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ .

### Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah labu ukur, pipet volum, gelas ukur, gelas beaker, pipet ukur, pipet tetes, mortar, ayakan 63  $\mu\text{m}$ , kertas saring, corong, oven, cawan porselen, neraca analitik, desikator, furnace, botol semprot, penangas air, kantong plastik polietilen, thermometer, sentrifuge, pH meter, Spektrofotometer Serapan Atom (AAS).

### Cara Kerja

#### Preparasi Sampel Buah Stroberi

Sampel buah stroberi dicuci dengan aquades, dipotong kecil kemudian dioven pada suhu 60°C hingga mencapai massa konstan. Sampel yang sudah kering kemudian digerus hingga halus, diayak dengan ayakan 63  $\mu\text{m}$  lalu dimasukkan ke dalam botol untuk analisis logam totalnya.

#### Preparasi Sampel Tanah

Sampel tanah dioven pada suhu 60°C hingga mencapai massa konstan. Setelah kering, sampel tanah digerus dan diayak menggunakan ayakan 63  $\mu\text{m}$ . Sampel tanah halus kemudian disimpan di dalam botol untuk dianalisis lebih lanjut (Arifin dan Fadhlina, 2007).

#### Penentuan Konsentrasi Logam Pb dan Cu Total dalam Buah Stroberi

Sebanyak 1 gram serbuk buah stroberi dimasukkan ke dalam gelas beaker, kemudian ditambahkan dengan 10 mL larutan *reverse aquaregia* yang merupakan campuran dari  $\text{HCl}$  pekat dan  $\text{HNO}_3$  pekat dengan perbandingan 1 : 3. Campuran kemudian didigesti di dalam *ultrasonic bath* pada suhu 60° C selama  $\pm$  45 menit dan kemudian dipanaskan dengan *hotplate* pada suhu 140° C selama 45 menit. Larutan hasil digesti kemudian disentrifugasi hingga didapat supernatan. Supernatan yang diperoleh ditampung dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Larutan yang

diperoleh diukur absorbansinya menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) dengan panjang gelombang 217,0 nm untuk Pb dan 324,7 nm untuk Cu.

#### Penentuan Konsentrasi Logam Pb dan Cu Total dalam Tanah

Sebanyak 1 gram sampel tanah dimasukkan ke dalam gelas beaker, kemudian ditambahkan dengan 10 mL larutan *reverse aquaregia* yang merupakan campuran dari  $\text{HCl}$  pekat dan  $\text{HNO}_3$  pekat dengan perbandingan 1 : 3. Campuran kemudian didigesti di dalam *ultrasonic bath* pada suhu 60° C selama  $\pm$  45 menit dan kemudian dipanaskan dengan *hotplate* pada suhu 140° C selama 45 menit. Larutan yang diperoleh kemudian disaring, filtratnya ditampung dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Larutan yang diperoleh diukur absorbansinya menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) dengan panjang gelombang 217,0 nm untuk Pb dan 324,7 nm untuk Cu.

#### Ekstraksi Bertahap

Prosedur penelitian ekstraksi bertahap (*sequential extraction*) didasarkan atas metode yang diusulkan oleh Davidson *et al* (1998), yaitu :

**Ekstraksi Tahap I (Fraksi EFLE / Easily, Freely, Leachable and Exchangeable)** (Davidson *et al.*,1998)

Sebanyak 1 gram sampel tanah ditambahkan 40 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,1 M lalu digojog selama 2 jam dengan menggunakan penggojog listrik setelah itu disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 400 rpm. Cairan jernih yang dihasilkan didekantasi kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Absorbansi Pb dan Cu dalam filtrat yang didapat diukur dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) pada panjang gelombang 217,0 nm untuk Pb dan 324,7 nm untuk Cu. Residu yang dihasilkan digunakan untuk ekstraksi selanjutnya.

**Ekstraksi Tahap II (Fraksi Mn/Fe Oksida)** (Davidson *et al.*,1998)

Residu dari ekstraksi langkah I ditambahkan 40 mL  $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$  0,1 M pH 2 dengan menambahkan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) dan digojog selama 2 jam dengan penggojog listrik setelah itu disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 400 rpm. Cairan jernih yang dihasilkan didekantasi kemudian dimasukkan ke dalam labu

ukur 50 mL dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Absorbansi Pb dan Cu dalam filtrat kemudian diukur dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) pada panjang gelombang 217,0 nm untuk Pb dan 324,7 nm untuk Cu. Pada tahap ini akan dihasilkan fraksi tereduksi asam (*acid reducible*). Residu yang dihasilkan digunakan untuk ekstraksi selanjutnya.

**Ekstraksi Tahap III (Fraksi Organik/Sulfida)** (Davidson *et al.*, 1998)

Residu dari ekstraksi langkah II ditambahkan 10 mL larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 8,8 M kemudian campuran ditutup dengan kaca arloji dan didiamkan selama 1 jam. Selanjutnya campuran dipanaskan dalam penangas air pada suhu 85° C selama 1 jam. Campuran kemudian ditambahkan lagi dengan 10 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 8,8 M dan dipanaskan dengan panangas air pada suhu 85° C selama 1 jam. Setelah itu campuran didinginkan dan setelah dingin ditambahkan dengan 20 mL CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> 1 M. Selanjutnya campuran digojog selama 2 jam dengan penggojog listrik setelah itu disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 400 rpm untuk memisahkan fraksi padat dan cair. Cairan jernih yang dihasilkan didekantasi kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Absorbansi Pb dan Cu dalam filtrat kemudian diukur dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) pada panjang gelombang 217,0 nm untuk Pb dan 324,7 nm untuk Cu. Pada tahap ini akan dihasilkan fraksi teroksidasi oleh organik (*oxidisable organic*). Residu yang dihasilkan digunakan untuk ekstraksi selanjutnya.

**Ekstraksi Tahap IV (Fraksi Resistant)** (Davidson *et al.*, 1998)

Fraksi *resistant* ditentukan dengan prosedur yang sama dengan penentuan Pb dan Cu total. Larutan dari ekstraksi tahap I – IV selanjutnya diukur dengan AAS pada panjang gelombang 217,0 nm untuk logam Pb dan 324,7 nm untuk logam Cu.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penentuan Konsentrasi Pb dan Cu Total Dalam Sampel Tanah

Penentuan konsentrasi Pb dan Cu total dalam sampel tanah dilakukan dengan teknik kurva

kalibrasi. Kurva kalibrasi untuk logam Pb memiliki persamaan regresi linier  $y = 0,0378x + 0,0056$  dengan koefisien regresi (R) sebesar 0,9996, sedangkan logam Cu memiliki persamaan regresi linier  $y = 0,1910x - 0,0032$  dan koefisien regresi (R) sebesar 0,9969. Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang linier antara konsentrasi dan absorbansi. Persamaan regresi linier ini selanjutnya digunakan untuk menghitung konsentrasi Pb dan Cu total dalam sampel tanah tempat tumbuh stroberi. Perhitungan konsentrasi Pb dan Cu total dalam sampel tanah tempat tumbuh stroberi selengkapnya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan konsentrasi Pb total dalam sampel tanah pertanian stroberi di daerah Bedugul. Konsentrasi Pb total dari masing-masing lokasi pengambilan sampel tanah yaitu sebesar 20,7912 mg/kg pada tanah pertanian stroberi lokasi 1, pada lokasi 2 sebesar 31,8811 mg/kg, dan lokasi 3 sebesar 39,0144 mg/kg. Sedangkan untuk konsentrasi Cu total dari masing-masing lokasi pengambilan sampel tanah yaitu sebesar 42,6620 mg/kg pada tanah pertanian stroberi lokasi 1, pada lokasi 2 sebesar 41,4297 mg/kg, dan lokasi 3 sebesar 39,3154 mg/kg.

Dapat dilihat bahwa konsentrasi logam Pb total pada tanah pertanian stroberi lokasi 3 lebih tinggi dibandingkan dengan dua lokasi lainnya dan, untuk konsentrasi logam Cu total pada tanah tempat tumbuh stroberi lokasi 1 lebih tinggi dibandingkan dengan dua lokasi lainnya. Hal ini bisa disebabkan karena pemakaian jenis pupuk yang berbeda pada masing-masing tempat sehingga tingkat pencemarannya juga berbeda. Pada lokasi 1, petani menggunakan pupuk kandang yang dicampur dengan kapur dengan perbandingan pemakaian 1 : 2. Pupuk kandang memiliki kandungan logam Pb 1,1-27 ppm dan logam Cu 2-172 ppm sedangkan kapur memiliki kandungan logam Pb 2-125 ppm dan logam Cu 20-1250 ppm (Habibi, 2009). Dari campuran pupuk tersebut dapat dilihat bahwa kandungan Pb terdapat di dalamnya lebih sedikit apabila dibandingkan dengan Cu. Hal tersebut membuat pada lokasi 1 konsentrasi Pb lebih kecil yaitu 20,7912 mg/kg pada kandungan logam Cu sebesar 42,6620 mg/kg karena pupuk yang digunakan lebih banyak mengandung logam Cu.

Tabel 1. Konsentrasi Pb dan Cu Total Dalam Sampel Tanah

Sampel	Ulangan	[Pb] mg/kg	[Cu] mg/kg
Lokasi 1	I	21,0149	42,6884
	II	20,4536	42,6986
	III	20,9050	42,5990
	<b>Rata-rata</b>	<b>20,7912</b>	<b>42,6620</b>
Lokasi 2	I	31,7830	41,2897
	II	32,1429	41,5445
	III	31,7175	41,4548
	<b>Rata-rata</b>	<b>31,8811</b>	<b>41,4297</b>
Lokasi 3	I	38,9627	39,4435
	II	38,9006	39,2631
	III	39,1799	39,2396
	<b>Rata-rata</b>	<b>39,0144</b>	<b>39,3154</b>

Keterangan : Lokasi 1 = Sampel Tanah 1  
 Lokasi 2 = Sampel Tanah 2  
 Lokasi 3 = Sampel Tanah 3

Lokasi 2 memakai kapur dan pupuk kompos dengan perbandingan pemakaian 1 : 1. Kompos memiliki kandungan logam Pb sebesar 1,3 – 2240 ppm dan Cu sebesar 13 – 35800 ppm (Habibi, 2009). Hal tersebut membuat pada lokasi 2 terdapat kandungan logam Pb sebesar 31,8811 mg/kg dan logam Cu sebesar 42,4297 mg/kg. Lokasi 3 hanya menggunakan kompos pada lahannya. Hal tersebut menjadikan pada lokasi 3 terdapat kandungan logam Pb sebesar 39,0144 mg/kg dan logam Cu sebesar 39,3154 mg/kg.

Penggunaan kompos mengakibatkan meningkatnya KTK (Kapasitas Tukar Kation) yang berkaitan dengan kesuburan tanah. Tanah dengan KTK yang tinggi akan lebih mampu menyediakan unsur hara daripada tanah dengan KTK yang rendah. Dengan meningkatnya KTK tanah, pH tanah juga ikut meningkat. pH tanah yang asam akan merubah logam-logam yang ada di dalam tanah menjadi anion yang menyebabkan logam-logam tersebut mengendap pada tanah. Sedangkan pH tanah yang basa akan merubah logam-logam yang ada di dalam tanah menjadi kation yang membuat logam-logam tersebut dapat diserap oleh tanaman yang tumbuh di tanah tersebut (Habibi, 2009). Ion-ion ini yang nantinya akan berpengaruh pada besar kandungan logam yang terserap oleh tanaman.

Pemberian pupuk yang berlebih berdampak pada meningkatnya kapasitas tukar kation (KTK) yang akan menyebabkan meningkatnya pH tanah

(Darmono, 1995). Maka dari itu, pupuk yang digunakan dicampur dengan kapur. Dalam hal ini, kapur berfungsi sebagai penetral pH (Habibi, 2009). Disamping itu, lokasi dari tempat pertanian juga mempengaruhi tingkat pencemaran. Lokasi yang lebih dekat dengan jalan raya yang memiliki aktivitas kendaraan bermotor yang tinggi akan lebih tercemar. Ini dikarenakan kendaraan bermotor menghasilkan gas buangan yang bisa terbawa oleh udara dan terakumulasi di tanah (Alloway, 1995).

#### Penentuan Konsentrasi Pb dan Cu Total Dalam Sampel Stroberi

Penentuan konsentrasi Pb dan Cu total dalam sampel buah stroberi dilakukan dengan teknik kurva kalibrasi. Kurva kalibrasi untuk logam Pb memiliki persamaan regresi linier  $y = 0,0373x + 0,0167$  dan koefisien regresi (R) sebesar 0,9989., sedangkan logam Cu memiliki persamaan regresi linier  $y = 0,1915x - 0,0001$  dan koefisien regresi (R) sebesar 0,9967. Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang linier antara konsentrasi dan absorbansi. Persamaan regresi linier ini selanjutnya digunakan untuk menghitung konsentrasi Pb dan Cu total dalam sampel buah stroberi. Konsentrasi Pb dan Cu total dalam sampel stroberi selengkapnya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan konsentrasi rata-rata Pb dalam sampel buah stroberi di daerah Bedugul. Konsentrasi Pb masing-masing stroberi dari lokasi

pengambilan sampel tanah yaitu sebesar 2,7237 mg/kg pada tempat tumbuh stroberi lokasi 1, pada lokasi 2 sebesar 2,5903 mg/kg, dan lokasi 3 sebesar 9,2019 mg/kg. Konsentrasi rata-rata Cu dalam sampel buah stroberi di daerah Bedugul adalah 1,1567 mg/kg pada stroberi lokasi 1, pada lokasi 2 sebesar 0,8786 mg/kg, dan lokasi 3 sebesar 0,8744 mg/kg.

Pada sampel buah stroberi yang diambil dari lahan tempat tumbuh stroberi lokasi 1 konsentrasi logam Pb lebih tinggi dibandingkan dengan logam Cu. Hal ini disebabkan karena besarnya konsentrasi logam Pb yang mencemari tanah tempat tumbuh stroberi sehingga buah stroberi yang tumbuh di lahan tersebut juga ikut tercemar. Logam berat yang mencemari tanah sebagian besar diakumulasi pada organ tanaman salah satunya bagian buah. Perpindahan Pb dari tanah akan mengakibatkan pengaruh toksik pada proses fotosintesis dan pertumbuhan (Charlena, 2004). Sedangkan logam Cu digolongkan ke dalam logam berat esensial artinya meskipun Cu merupakan logam berat yang beracun, tetapi unsur ini sangat dibutuhkan meski dalam jumlah yang sedikit (Darmono, 1995).

Dari Tabel 2 terlihat bahwa konsentrasi rata-rata logam Pb dalam sampel buah stroberi dari masing-masing lokasi pengambilan sampel apabila dibandingkan dengan kandungan logam maksimum yang diperbolehkan oleh Direktur

Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan dalam Surat Keputusan Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan, Nomor : 03725/B/SK/VII/89 tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Dalam Makanan sebesar 2,0 mg/kg maka pada lahan pertanian stroberi lokasi 1, 2 dan 3 telah melewati batas maksimum yang diperbolehkan. Hal ini menandakan bahwa lokasi-lokasi tersebut telah tercemar oleh senyawa-senyawa yang mengandung logam berat Pb, dan konsentrasi rata-rata logam Cu dalam sampel buah stroberi dari masing-masing lokasi pengambilan sampel apabila dibandingkan dengan kandungan logam maksimum yang diperbolehkan oleh Keputusan Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan, Nomor : 03725/B/SK/VII/89 tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Dalam Makanan sebesar 5,0 mg/kg maka pada 3 lokasi pengambilan sampel tidak ada yang melewati batas maksimum yang diperbolehkan.

#### Hasil Spesiasi dan Bioavailabilitas Logam Pb dan Cu Dalam Sampel Tanah

Penentuan konsentrasi berbagai bentuk spesiasi serta bioavailabilitas suatu logam dalam tanah dapat dilakukan melalui ekstraksi bertahap. Ekstraksi bertahap dikembangkan oleh Tessier *et al.*, (1979) untuk mempartisi partikulat logam yang terdapat dalam lingkungan.

Tabel 2. Konsentrasi Pb dan Cu Total Dalam Sampel Stroberi

Sampel	Ulangan	[Pb] mg/kg	[Cu] mg/kg
Lokasi 1	I	2,4109	1,2002
	II	2,8139	1,2006
	III	2,9464	1,0695
<b>Rata-rata</b>		<b>2,7237</b>	<b>1,1567</b>
Lokasi 2	I	2,9470	0,8871
	II	2,5462	0,9397
	III	2,2777	0,8090
<b>Rata-rata</b>		<b>2,5903</b>	<b>0,8786</b>
Lokasi 3	I	9,2493	0,8094
	II	8,8419	0,8741
	III	9,5146	0,9397
<b>Rata-rata</b>		<b>9,2019</b>	<b>0,8744</b>

Keterangan : Lokasi 1 = Sampel Stroberi 1  
 Lokasi 2 = Sampel Stroberi 2  
 Lokasi 3 = Sampel Stroberi 3

Ekstraksi bertahap ini dapat digunakan untuk mengetahui fraksi logam 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*.

Bioavailabilitas logam Pb dan Cu dalam sampel tanah tempat tumbuh stroberi di daerah Bedugul dinyatakan dalam % logam terekstraksi. Untuk hasil konsentrasi Pb dan Cu yang terekstraksi pada masing-masing fraksi dan tingkat bioavailabilitasnya dapat dilihat dalam Tabel 3.

Konsentrasi logam Pb dan Cu terekstraksi dapat dilihat pada Tabel 3. Pada lokasi 1, logam Pb yang terekstraksi pada fraksi EFLE adalah sebesar 3,6589 mg/kg dan 1,3776 untuk logam Cu. Pada lokasi 2, sebesar 4,1035 mg/kg untuk logam Pb dan 0,9209 mg/kg untuk logam Cu. Sedangkan lokasi 3, sebesar 2,7210 mg/kg untuk logam Pb dan 1,4378 mg/kg untuk logam Cu. Hal tersebut menunjukkan bahwa potensi ketersediaan logam Pb dan Cu yang terserap atau bioavailabilitasnya adalah 17,60 % logam Pb dan 3,23 % logam Cu pada lokasi 1, pada lokasi 2 sebesar 12,87 % logam Pb dan 2,22 % logam Cu, sedangkan 6,97 % logam Pb dan 3,66 % logam Cu pada lokasi 3.

Fraksi EFLE merupakan fraksi yang mudah larut dalam air dan mudah ditukar (adsorpsi nonspesifik) logam dan kompleks organologam. Fraksi ini biasanya diperoleh dengan menggunakan satu pelarut, diantaranya air atau

larutan garam sangat encer, larutan garam netral tanpa kapasitas pH buffer, larutan garam dengan kapasitas pH buffer atau dengan menggunakan senyawa agen kompleks organik (Tessier *et al.*, 1979). Logam yang termasuk dalam fraksi ini akan mudah terionisasi, mudah bebas dalam bentuk ion serta mudah dipertukarkan. Fraksi ini merupakan fraksi yang langsung bioavailable. Fraksi langsung bioavailable dan fraksi berpotensi bioavailable merupakan fraksi yang berbahaya jika keberadaannya cukup besar dalam tanah tempat tumbuh stroberi, karena fraksi-fraksi ini memiliki ikatan yang lemah dalam tanah sehingga ketersediaannya mampu diserap oleh organisme dan tanaman (Gasparatos *et al.*, 2005).

Pada fraksi Fe/Mn Oksida, logam Pb yang terekstraksi pada lokasi 1 adalah sebesar 2,8112 mg/kg dan 3,2245 untuk Cu. Pada lokasi 2, sebesar 6,4234 mg/kg untuk logam Pb dan 2,5022 mg/kg untuk logam Cu. Sedangkan lokasi 3, sebesar 7,7612 mg/kg untuk logam Pb dan 3,8313 mg/kg untuk logam Cu. Hal tersebut menunjukkan bahwa potensi ketersediaan logam Pb dan Cu yang terserap atau bioavailabilitasnya adalah 13,52 % logam Pb dan 7,56 % logam Cu pada lokasi 1, pada lokasi 2, sebesar 20,15 % logam Pb dan 6,04 % logam Cu, sedangkan 19,89 % logam Pb dan 9,75 % logam Cu pada lokasi 3. Fraksi Fe/Mn oksida merupakan fraksi dimana logam dapat direduksi oleh asam (Gasparatos *et al.*, 2005).

Tabel 3. Konsentrasi dan % Logam Pb dan Cu Terekstraksi

Sampel	Fraksi	Konsentrasi Pb (mg/kg)	% Pb Terekstraksi	Konsentrasi Cu (mg/kg)	% Cu Terekstraksi
Lokasi 1	EFLE	3,6589	17,60	1,3776	3,23
	Fe/Mn Oksida	2,8112	13,52	3,2245	7,56
	Organik/Sulfida	6,3810	30,69	4,8280	11,32
	Resistant	7,9400	38,19	33,2319	79,90
Lokasi 2	EFLE	4,1035	12,87	0,9209	2,22
	Fe/Mn Oksida	6,4234	20,15	2,5022	6,04
	Organik/Sulfida	4,1931	13,15	5,5256	13,58
	Resistant	17,1611	53,83	32,3810	78,16
Lokasi 3	EFLE	2,7210	6,97	1,4378	3,66
	Fe/Mn Oksida	7,7612	19,89	3,8313	9,75
	Organik/Sulfida	13,2920	34,07	6,4203	16,33
	Resistant	15,2402	39,06	27,6260	70,27

Keterangan : T1 = Sampel Tanah 1  
T2 = Sampel Tanah 2  
T3 = Sampel Tanah 3

Pada fraksi organik sulfida, logam Pb yang terekstraksi pada lokasi 1 adalah sebesar 6,3810 mg/kg dan 4,8280 untuk Cu. Pada lokasi 2, sebesar 4,1931 mg/kg untuk logam Pb dan 5,5256 mg/kg untuk logam Cu. Sedangkan lokasi 3, sebesar 13,2920 mg/kg untuk logam Pb dan 6,4203 mg/kg untuk logam Cu. Hal tersebut menunjukkan bahwa potensi ketersediaan logam Pb dan Cu yang terserap atau bioavailabilitasnya adalah 30,69 % logam Pb dan 11,32 % logam Cu pada lokasi 1, pada lokasi 2 sebesar 13,15 % logam Pb dan 13,58 % logam Cu, sedangkan 34,07 % logam Pb dan 16,33 % logam Cu pada lokasi 3. Fraksi organik sulfida menunjukkan logam yang dapat teroksidasi (Gasparatos *et al.*, 2005). Fraksi ini merupakan fraksi yang berpotensi bioavailable.

Pada fraksi *resistant*, logam Pb yang terekstraksi pada lokasi 1 adalah sebesar 7,9400 mg/kg dan 33,2319 untuk Cu. Pada lokasi 2, sebesar 17,1611 mg/kg untuk logam Pb dan 32,3810 mg/kg untuk logam Cu. Sedangkan lokasi 3, sebesar 15,2402 mg/kg untuk logam Pb dan 27,6260 mg/kg untuk logam Cu. Hal tersebut menunjukkan bahwa potensi ketersediaan logam Pb dan Cu yang terserap atau bioavailabilitasnya adalah 38,19 % logam Pb dan 79,90 % logam Cu pada lokasi 1, pada lokasi 2 sebesar 53,83 % logam Pb dan 78,16 % logam Cu, sedangkan 39,06 % logam Pb dan 70,27 % logam Cu pada lokasi 3. Fraksi *resistant* adalah fraksi yang terikat kuat dalam mineral yang stabil seperti silikat dan ini menunjukkan bahwa logam masih tersisa di dalam tanah setelah melalui tahapan-tahapan ekstraksi sebelumnya. Fraksi ini merupakan fraksi logam yang non-bioavailable dan ini menunjukkan logam yang dihasilkan dari pelapukan batuan dan bukan berasal dari pencemaran akibat aktivitas manusia. Fraksi nonbioavailable adalah fraksi yang tidak berbahaya karena potensi ketersediaannya dalam tanah sangat kecil dan bahkan tidak sama sekali, sehingga tidak dapat diserap oleh organisme dan tanaman (Gasparatos *et al.*, 2005).

Logam yang berpotensi bioavailable dapat menjadi langsung bioavailable jika kadar bahan organik, pH tanah, KTK (Kapasitas Tukar Kation), dan keadaan oksidasi-reduksi berubah (Darmono, 1995). Penurunan pH tanah menyebabkan meningkatnya kation-kation logam dalam tanah, sehingga logam tersebut akan berubah menjadi bentuk-bentuk tersedia atau bioavailable. Berubah-

nya potensi bioavailable menjadi langsung bioavailable menyebabkan ketersediaan logam Pb dan Cu yang mampu diserap organisme dan tanaman menjadi semakin besar.

Besarnya kandungan logam Pb dan Cu pada fraksi *resistant* yang merupakan fraksi nonbioavailabel menunjukkan bahwa sebagian besar logam yang terkandung di dalam tanah tidak akan terserap oleh tanaman. Pencemaran oleh logam berat Pb sebagian besar adalah pencemaran yang berasal dari manusia seperti asap kendaraan, penggunaan pupuk yang berlebihan sedangkan pencemaran oleh logam berat Cu sebagian besar adalah pencemaran oleh alam, seperti pelapukan bebatuan.

Dengan mengetahui fraksi bioavailable Pb dan Cu pada tanah tempat tumbuh stroberi di daerah Bedugul dapat diperkirakan berapa banyak logam berat Pb dan Cu yang terserap oleh tanaman stroberi yang tumbuh di lahan tempat tumbuh stroberi tersebut. Fraksi-fraksi bioavailable Pb dan Cu pada tanah tempat tumbuh stroberi di daerah Bedugul berkisar dibawah 50 % yang menunjukkan bahwa tingkat cemaran lahan tempat tumbuh stroberi relatif rendah. Tetapi harus lebih diperhatikan, tingginya aktivitas kendaraan bermotor dan intensitas pemberian pupuk yang berlebihan dapat menjadi faktor tingginya logam pencemar pada lahan tempat tumbuh stroberi

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Konsentrasi logam Pb total dalam buah stroberi dan tanah tempat tumbuhnya adalah 2,5903 – 9,2019 mg/kg dalam buah dan 20,7912 – 39,0144 mg/kg dalam tanah tempat tumbuhnya. Konsentrasi logam Cu total dalam buah stroberi dan tanah tempat tumbuhnya adalah 0,8744 – 1,1567 mg/kg dalam buah dan 39,3154 – 42,6620 mg/kg dalam tanah tempat tumbuh stroberi di daerah Bedugul. Logam Pb dan Cu paling besar terdapat pada fraksi *resistant* yang merupakan fraksi nonbioavailabel menunjukkan bahwa sebagian besar logam yang terkandung di dalam tanah tidak akan terserap oleh tanaman, membuat buah stroberi hasil panen dari lokasi-lokasi tersebut aman untuk dikonsumsi.



## Saran

Saran yang dapat penulis sampaikan adalah perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap akumulasi logam berat selain Pb dan Cu dalam tanah tempat tumbuh stroberi di daerah Bedugul sehingga diketahui tingkat pencemaran akibat logam berat serta korelasi antara bioavailabilitas logam dalam tanah dengan konsentrasi logam dalam buah stroberi yang ditanam di tanah tempat tumbuh stroberi tersebut. Dapat disarankan juga untuk petani agar lebih memperhatikan jenis pupuk yang akan dipakai dan intensitas pengaplikasian pupuk agar tanah dan buah hasil panen tidak tercemar logam-logam berat yang terkandung di dalam pupuk.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Melalui kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada Bacudewa Krisna, Bagus Mahendra, Ayu Susilawati, Putri Cintya, dan Indra Dwitama yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini

## DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B.J., 1995, *Heavy Metals in Soil*, Univ. of Sydney Library, Sydney.
- Arifin, Z., dan Fadhlina, D., 2009, Fraksinasi Logam Berat Pb, Cd, Cu dan Zn Dalam Sedimen dan Bioavailabilitasnya Bagi Biota Perairan Teluk Jakarta, *Ilmu Kelautan*, 14 (1) : 27-32.
- Charlena, 2004, *Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) pada Sayur-Sayuran*, Program Pasca Sarjana/S3/IPB, Bogor.
- Darmono, 1995, *Logam dalam Sistem Biologi Makhluh Hidup*, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Davidson, C.M., Duncan, A.L., Littlejohn, D., Ure, A.M., and Garden, L.M., 1998, A Critical Evaluation of The Three-Stage BCR Sequential Extraction Procedure to Assess The Potential Mobility and Toxicity of Heavy Metals in Industrially-Contaminated Land, *Analitica Chimica Acta* 393 : 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 Cemaran Logam Dalam Makanan, <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/32161/1/Appendix.pdf>, diakses pada 27 Juni 2015.
- Gasparatos, D., Haidouti, C., Adrinopoulos, and Areta, O., 2005, *Chemical Speciation and Bioavailability of Cu, Zn, and Pb in Soil From The natural Garden of Athes*, Proceeding : International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes Island, Greece.
- Habibi, L., 2009, *Pembuatan Pupuk Kompos Dari Limbah Rumah Tangga*, Penerbit Titian Ilmu, Bandung.
- Priyono, J., 2006, *Kimia Tanah*, Mataram University Press, Mataram.
- Setiyo, Y., 2011, Bioremediasi In Situ lahan Tercemar Pestisida Oleh Mikroba Yang Ada Pada Kompos, *Skripsi*, Universitas Udayana, Bukit Jimbaran.
- Suputra, W., 2015, *Komunikasi Pribadi*, Bedugul, 12 Februari 2015.
- Tessier, A., Campbell, P.G.C., and Bisson, M., 1979, Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals, *Analytical Chemistry* 51 : 844-851.
- 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., 2008, *Efek Toksik Logam*, Penerbit Andi, Yogyakarta