

BIOAVAILABILITAS LOGAM BERAT Pb DAN Cu DALAM SEDIMEN DAN AKUMULASINYA DALAM BUAH PEDADA (*Sonneratia alba*) DI KAWASAN MANGROVE, KEDONGANAN

I M. R. Setiawan, I. E. Suprihatin*, dan I M. Siaka

*Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Udayana, Jimbaran, Bali, Indonesia
Email: eka_suprihatin@unud.ac.id

ABSTRAK

Ekomangrove Kedonganan merupakan salah satu tempat wisata di Desa Kedonganan. Selayaknya tempat wisata, kawasan mangrove tersebut banyak dipengaruhi oleh aktivitas manusia yang menyebabkan terjadinya pencemaran logam berat khususnya Pb dan Cu. Logam berat yang mengendap dalam sedimen dapat terserap dalam tumbuhan mangrove, terutama logam yang bersifat *bioavailable*. Logam yang masuk ke dalam tumbuhan dapat terdistribusi dan terakumulasi pada seluruh bagian tumbuhan, salah satunya yaitu buahnya. Tujuan penelitian ini yaitu untuk menentukan tingkat bioavailabilitas logam Pb dan Cu dalam sedimen serta konsentrasi totalnya dalam sedimen dan buah pedada (*Sonneratia alba*). Bioavailabilitas ditentukan melalui spesiasi logam dengan menggunakan metode ekstraksi bertahap sedangkan logam total dalam buah ditentukan dengan metode digesti basah yang kuantifikasinya dilakukan menggunakan *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS). Konsentrasi logam Pb dan Cu total dalam sedimen di Kawasan Mangrove Kedonganan berturut-turut yaitu 306,7680 – 333,9511 mg/kg dan 21,2510 - 33,2587 mg/kg. Kandungan Pb dan Cu dalam sedimen di kawasan tersebut didominasi oleh logam yang berpotensi *bioavailable* yaitu 69,75 – 75,03% untuk Pb dan 76,20 – 84,25% untuk Cu, kemudian diikuti oleh logam yang bersifat *bioavailable* berkisar 17,33 – 19,57% untuk Pb dan 9,91 – 14,76% untuk Cu, sedangkan logam yang bersifat *non-bioavailable* berkisar 7,64 – 10,68% untuk logam Pb dan 2,20 – 13,90% untuk logam Cu. Konsentrasi logam Pb dan Cu total yang terakumulasi dalam buah pedada berturut-turut yaitu 1,8592 – 10,7469 mg/kg dan 1,5348 – 2,2687 mg/kg. Buah pedada yang tumbuh di Kawasan Mangrove Kedonganan tercemar oleh logam Pb karena telah melewati ambang batas yang diperbolehkan dalam Surat Keputusan Dirjen Pengawas Obat dan Makanan yaitu 2,0 mg/kg.

Kata kunci: bioavailabilitas, ekomangrove, logam berat, *sonneratia alba*

ABSTRACT

Ecomangrove Kedonganan is one of the tourist attractions in Kedonganan village. Like a tourist spot, the mangrove area is heavily influenced by human activities which cause heavy metal pollution, especially Pb and Cu. Heavy metals that settle in sediments can be absorbed in mangrove plants, especially metals that are bioavailable. Metals absorbed by plants can be distributed and accumulated in all parts of the plant, including fruit. The purpose of this study was to determine the bioavailabilities of Pb and Cu in sediments and their total concentrations in sediments and pedada fruit (*Sonneratia alba*). The bioavailability was determined through metal speciation using the sequential extraction method and the determination of total metal in fruit was carried out by the wet digestion method, followed by the metals measurement using Atomic Absorption Spectrometry (AAS). The concentrations of Pb and Cu total in sediments at Kedonganan Mangrove area were 306.7680 – 333.9511 mg/kg and 21.2510 - 33.2587 mg/kg, respectively. Sediments in the area contained Pb and Cu which were dominated by the potentially bioavailable metals, namely 69.75 – 75.03% for Pb and 76.20 – 84.25% for Cu, followed by the metals that were bioavailable ranging from 17.33 – 19.57% for Pb and 9.91 – 14.76% for Cu, while the non-bioavailable metals ranged from 7.64 – 10.68% for Pb and 2.20 – 13.90% for Cu. The concentrations of Pb and Cu total accumulated in pedada fruit were 1.8592 – 10.7469 mg/kg and 1.5348 – 2.2687 mg/kg respectively. The pedada fruits collected from Kedonganan Mangrove area were contaminated by Pb because they contained Pb higher than the threshold in the regulation of the Director General of Drug and Food Control of 2.0 mg/kg.

Keywords: bioavailability, ecomangrove, heavy metals, *sonneratia alba*

PENDAHULUAN

Ekomangrove Kedonganan merupakan salah satu objek wisata bahari yang berlokasi di Desa Kedonganan, Badung, Bali. Prinasti dkk. (2020) melaporkan bahwa spesies tumbuhan mangrove yang mendominasi di kawasan tersebut salah satunya yaitu pedada (*Sonneratia alba*). Hutan mangrove tersebut dipengaruhi oleh aktivitas rumah tangga, industri tekstil, nelayan, serta pengolahan sampah yang dapat menghasilkan polutan atau limbah seperti logam berat. Logam berat memiliki sifat yang tidak dapat terdegradasi baik secara alami (*nondegradable*) maupun dengan bantuan organisme perairan sehingga logam berat tersebut dapat terakumulasi dan terendapkan pada dasar perairan serta bergabung dengan sedimen. Jika logam berat pada sedimen didominasi oleh fraksi *non-resistant* atau tersedia bagi reseptor lingkungan maka logam tersebut dapat terserap oleh biota (*bioavailable*).

Lingkungan Kawasan Mangrove Kedonganan banyak menerima masukan limbah dari aktivitas rumah tangga, industri tekstil, nelayan, dan pengolahan sampah sehingga berpotensi besar tercemar logam berat. Tumbuhan mangrove yang hidup di lingkungan yang tercemar oleh logam akan menyerap dan mengakumulasi logam berat yang ada melewati penyerapan dari akar, kemudian logam akan berikatan dengan protein membentuk senyawa kelat atau yang disebut fitokelatin. Senyawa kelat yang terbentuk akan terkumpul di dalam vakuola sel-sel tumbuhan dan terdistribusi ke organ tumbuhan mangrove seperti buahnya (Priyanto & Prayitno, 2007).

Buah pedada dengan nama latin *Sonneratia alba* merupakan salah satu jenis buah mangrove yang terdapat di Kawasan Mangrove Kedonganan dan sering dikonsumsi oleh masyarakat sekitar. Pada umumnya, buah pedada atau buah perapat dapat dikonsumsi secara langsung atau diolah menjadi produk pangan seperti minuman instan, jus, dodol, sirup, tepung dan lainnya. Selain produk pangan, buah mangrove tersebut juga dapat diolah menjadi sabun, sebab buah pedada mempunyai kandungan kimia yang mampu menghambat pertumbuhan serta membunuh bakteri. Kandungan fitokimia tersebut antara lain alkaloid, steroid, flavonoid, saponin, terpenoid, fenolik, dan tannin (Papatungan dkk., 2017).

Pencemaran logam berat pada sedimen dan terakumulasinya dalam buah pedada dipengaruhi oleh tingkat bioavailabilitas logam berat tersebut. Bioavailabilitas logam yaitu ketersediaan logam yang mampu diserap baik oleh organisme maupun tumbuhan yang menimbulkan respon fisiologis atau toksik. Bioavailabilitas logam dapat diukur melalui analisis spesiasi yaitu dengan mengekstraksi secara bertahap sedimen tersebut sehingga akan memberikan hasil kuantitatif berbagai spesies, fase, serta bentuk logam yang ada pada sedimen (Davidson dkk., 1998). Puspasari dkk. (2014) melaporkan bahwa persentase bioavailabilitas logam dalam sedimen muara Sungai Badung di Kawasan Taman Hutan Raya Ngurah Rai Denpasar Bali yaitu sebesar 35,59% untuk logam Cu dan 66,53% untuk logam Zn. Widari dkk. (2019) juga memperkuat bahwa sedimen dan buah pedada pada muara Sungai Badung tersebut sudah tercemar oleh logam berat Pb dan Cd karena melebihi ambang batas yang diperbolehkan. Penelitian serupa belum pernah dilakukan terhadap Kawasan Hutan Mangrove Kedonganan yang terletak di selatan Taman Hutan Raya tersebut.

Artikel ini melaporkan hasil penelitian tentang tingkat bioavailabilitas logam Pb dan Cu dalam sedimen serta akumulasinya dalam buah pedada di Kawasan Hutan Mangrove Kedonganan tersebut.

MATERI DAN METODE

Bahan

Sampel air, sedimen, serta buah pedada pada Kawasan Hutan Mangrove Kedonganan, CH_3COOH , $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$, H_2O_2 , HNO_3 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$, aquades, dan HCl. Semua bahan kimia yang digunakan berderajat proanalisis.

Peralatan

Peralatan gelas laboratorium, pH meter, *refractometer*, *ekman grab*, sendok polietilen, botol polietilen, botol semprot, kertas saring, mortar, *ultrasonic bath*, desikator, ayakan 230 Mesh, pisau, *hotplate*, blender, neraca analitik, *thermometer*, *shaker*, sentrifugasi, oven, *water bath*, serta *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) Shimadzu AA-7000.

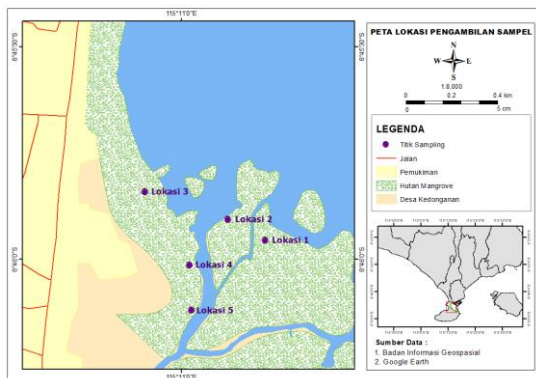
Cara Kerja

Pengambilan Sampel

Sampel air, sedimen dan buah pedada diambil di Kawasan Hutan Mangrove Kedonganan dengan pengambilan secara acak pada 5 titik yang dianggap mewakili kondisi kawasan hutan mangrove tersebut, dimana jarak antara tiap titiknya berkisar ± 100 m. Lokasi 1, 2, dan 3 merupakan jalur yang sering dilalui oleh perahu nelayan untuk wisata mangrove dan letaknya mengarah ke laut lepas. Lokasi 4 berada dekat dengan pemukiman dan industri tekstil, sedangkan lokasi 5 berada dekat dengan tempat pengolahan sampah. Berikut merupakan titik koordinat dari tiap lokasi pengambilan sampel.

Tabel 1. Koordinat Lokasi Sampling

Lokasi	Bujur (X)	Lintang (Y)
1	115°11'11.85"E	8°45'57.38"S
2	115°11'6.58"E	8°45'54.43"S
3	115°10'54.86"E	8°45'50.48"S
4	115°11'1.18"E	8°46'0.84"S
5	115°11'1.41"E	8°46'7.23"S



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel

Sebelum pengambilan sampel sedimen dan buah pedada, dilakukan pengukuran parameter pH, salinitas, dan suhu air pada setiap lokasi pengambilan sampel secara *in situ*. Sampel air diambil sebanyak 600 mL menggunakan botol polietilen, selanjutnya ditambahkan HNO₃ 1M hingga pHnya 2. Sampel sedimen diambil dengan menggunakan *ekman grab* pada setiap lokasi pengambilan dan dimasukkan ke dalam wadah plastik. Sampel buah pedada diambil secara acak dari pohon yang berbeda di Kawasan Hutan Mangrove Kedonganan sebanyak 10 buah dari setiap

lokasinya. Seluruh sampel disimpan di dalam *coolbox* untuk selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk dianalisis.

Preparasi Sampel

Sampel sedimen dikeringkan pada suhu 60°C di dalam oven hingga massanya konstan. Sampel selanjutnya digerus untuk mengembalikan ke bentuk dan ukuran aslinya. Sampel yang telah halus diayak dengan ayakan 230 Mesh kemudian disimpan untuk dianalisis selanjutnya.

Sampel buah pedada dikupas kulitnya kemudian bagian dagingnya dipotong hingga kecil. Sampel selanjutnya dikeringkan pada suhu 60°C di dalam oven hingga massanya konstan. Sampel buah yang telah kering diblender hingga halus kemudian disimpan untuk dianalisis selanjutnya.

Penentuan Total Suspended Solid (TSS) dalam Sampel Air

Sampel air dihomogenkan kemudian dipipet 100,0 mL dan disaring dengan kertas saring yang telah diketahui beratnya. Kertas saring yang berisi padatan tersuspensi dikeringkan di dalam oven pada temperatur 105°C selama 60 menit kemudian dimasukkan di dalam desikator hingga dingin. Kertas saring selanjutnya ditimbang dengan neraca analitik. Langkah pengeringan dan pendinginan diulangi hingga diperoleh berat yang konstan (Badan Standardisasi Nasional, 2004).

$$TSS \text{ (mg/L)} = \frac{(B - A) \times 10^6}{\text{Volume sampel (mL)}} \quad (1)$$

Keterangan :

A = Massa kertas saring (g)

B = Massa kertas saring + padatan tersuspensi (g)

Penentuan Total Dissolved Solid (TDS) dalam Sampel Air

Sampel air yang telah homogen dipipet 100,0 mL. Sampel air kemudian disaring dan filtratnya ditampung ke dalam beaker yang sudah diketahui beratnya. Filtrat yang diperoleh dalam beaker diuapkan dengan *hoteplate*. Kemudian beaker dikeringkan pada temperatur 180°C selama 60 menit di dalam oven. Beaker didinginkan di dalam desikator kemudian ditimbang dengan neraca analitik. Langkah pengeringan dan pendinginan diulangi

hingga diperoleh berat konstan (Badan Standardisasi Nasional, 2005).

$$\text{TDS (mg/L)} = \frac{(B - A) \times 10^6}{\text{Volume sampel (mL)}} \quad (2)$$

Keterangan :

A = Berat beaker kosong (g)

B = Berat beaker + padatan terlarut (g)

Ekstraksi Bertahap Sampel Sedimen

Ekstraksi Tahap 1 (Fraksi *Easily, Freely, Leachable and Exchangeable*)

Ditimbang teliti sebanyak 1 gram sampel sedimen kering dan dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer. Sampel ditambah 40 mL larutan CH_3COOH 0,1 M. Campuran kemudian digojog dengan *shaker* selama 120 menit lalu disentrifugasi selama 10 menit pada kecepatan 4000 rpm yang bertujuan untuk memisahkan fraksi padat dan cairnya. Fraksi cair disaring lalu ditampung di dalam labu ukur 50 mL. Larutan diencerkan dengan HNO_3 0,01 M hingga tanda batas. Absorbansi larutan tersebut diukur dengan AAS pada λ 283,20 nm untuk Pb dan λ 324,75 nm untuk Cu. Fraksi padat yang diperoleh digunakan untuk ekstraksi pada tahap selanjutnya.

Ekstraksi Tahap 2 (Fraksi Fe/Mn Oksida)

Fraksi padat dari ekstraksi tahap 1 ditambah 40 mL larutan $\text{NH}_2\text{OH.HCl}$ 0,1 M dan ditambah HNO_3 65% hingga pH 2. Campuran kemudian digojog dengan *shaker* selama 120 menit lalu disentrifugasi selama 10 menit pada kecepatan 4000 rpm. Fraksi cair disaring lalu ditampung di dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan dengan HNO_3 0,01 M hingga tanda batas. Absorbansi larutan tersebut diukur dengan AAS pada λ 283,20 nm untuk Pb dan λ 324,75 nm untuk Cu. Fraksi padat yang diperoleh digunakan untuk ekstraksi pada tahap selanjutnya.

Ekstraksi Tahap 3 (Fraksi Organik/Sulfida)

Fraksi padat dari ekstraksi tahap 2 ditambah 10 mL H_2O_2 8,8 M kemudian ditutup dengan kaca arloji. Campuran didiamkan pada suhu ruang selama 60 menit dan sesekali dikocok. Campuran dipanaskan pada suhu 85°C dengan *water bath* selama 60 menit, kemudian ditambah kembali 10 mL H_2O_2 8,8 M dan dipanaskan kembali selama 60 menit. Campuran kemudian didinginkan lalu ditambah 20 mL $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1 M dan HNO_3 65%

hingga pH 2. Selanjutnya, campuran digojog dengan *shaker* selama 120 menit dan disentrifugasi selama 10 menit pada kecepatan 4000 rpm. Fraksi cair disaring lalu ditampung di dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan dengan HNO_3 0,01 M hingga tanda batas. Absorbansi larutan tersebut diukur dengan AAS pada λ 283,20 nm untuk Pb dan λ 324,75 nm untuk Cu. Fraksi padat yang diperoleh digunakan untuk ekstraksi pada tahap selanjutnya.

Fraksi Resistant

Fraksi padat dari ekstraksi tahap 3 ditambah 10 mL campuran HNO_3 65% dan HCl 37% (3:1) (*reverse aquaregia*) lalu ditutup. Selanjutnya, campuran didigesti selama 45 menit pada suhu 60°C di dalam *ultrasonic bath* dan pemanasan dilanjutkan selama 45 menit pada suhu 140°C dengan *hotplate*. Hasil digesti disaring lalu filtratnya ditampung di dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan dengan aquades hingga tanda batas (Siaka dkk., 1998). Absorbansi larutan tersebut diukur dengan AAS pada λ 283,20 nm untuk Pb dan λ 324,75 nm untuk Cu.

Digesti dan Penentuan Konsentrasi Pb dan Cu dalam Buah Pedada

Ditimbang teliti 2 gram serbuk sampel buah pedada dan dimasukkan ke dalam gelas beaker. Sampel tersebut ditambah 5 mL larutan HNO_3 pekat. Sampel kemudian dipanaskan selama 120 menit pada suhu 90°C dengan *hotplate* dan suhunya dinaikkan menjadi 150°C hingga campuran mendidih. Kemudian ditambah 5 mL HNO_3 65% dan 5 mL H_2O_2 30% lalu pemanasan dilanjutkan sampai diperoleh larutan yang jernih. Hasil digesti didiamkan sampai dingin, kemudian disaring dan filtratnya ditampung di dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan dengan aquades hingga tanda batas. Absorbansi larutan tersebut diukur dengan AAS pada λ 283,20 nm untuk Pb dan λ 324,75 nm untuk Cu (Siaka, 2016).

$$M = \frac{C \times V \times f}{B} \quad (3)$$

Keterangan:

M = Konsentrasi Pb/Cu (mg/kg)

C = Konsentrasi berdasarkan absorbansi (mg/L)

V = Volume larutan (L)

B = Massa sampel (kg)

f = Faktor pengenceran

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas Perairan di Kawasan Hutan Mangrove Kedonganan

Penentuan kualitas perairan di Kawasan Mangrove Kedonganan dilakukan dengan melakukan pengukuran parameter suhu, pH, salinitas, TSS, dan TDS. Adapun hasil pengukuran kualitas perairan dipaparkan dalam Tabel 2.

Pada Tabel 2 terlihat bahwa suhu serta salinitas perairan di Kawasan Mangrove Kedonganan masih memenuhi baku mutu kualitas air yang ditetapkan pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021, sedangkan hasil pengukuran parameter pH dan TSS belum memenuhi baku mutu yang diperbolehkan.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Air di Kawasan Mangrove Kedonganan

Parameter	Hasil					Baku Mutu*
	Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3	Lokasi 4	Lokasi 5	
Suhu (°C)	30,2 ± 0,1	30,4 ± 0,1	30,6 ± 0,1	30,8 ± 0,1	31,0 ± 0,1	28 – 32
pH	6,9 ± 0,1	6,8 ± 0,1	6,7 ± 0,1	6,7 ± 0,1	6,7 ± 0,1	7 – 8,5
Salinitas (‰)	34	34	33	32	33	33 – 34
TSS (mg/L)	382,7 ± 1,5	217,0 ± 1,7	407,7 ± 2,5	436,0 ± 5,3	443,3 ± 1,5	80
TDS (mg/L)	8679,7 ± 1,5	7918,0 ± 4,6	9592,3 ± 5,1	9893,7 ± 6,0	9990,3 ± 4,6	–

*PP RI No. 22 Tahun 2021

Rendahnya nilai pH diduga karena pengaruh dari limbah bahan organik dari aktivitas masyarakat (limbah rumah tangga) yang dibuang di sekitar kawasan mangrove. Pemecahan bahan organik tersebut dapat menghasilkan karbondioksida (CO₂) yang bersifat asam sehingga menurunkan nilai pH perairan. Jika nilai pH rendah maka mobilitas logam berat yang terdapat di perairan tersebut berpotensi tinggi, karena logam berat akan cenderung berada dalam bentuk ion logamnya sehingga kelarutan dan bioavailabilitas logamnya juga meningkat (Siaka, 2016). Tingginya nilai total padatan tersuspensi (TSS) pada perairan hutan mangrove tersebut disebabkan masuknya bahan-bahan tersuspensi yang berasal dari hasil aktivitas daratan yang ikut terbawa oleh aliran sungai. Kandungan TSS mempunyai korelasi positif dengan toksisitas logam berat di kawasan tersebut. Logam berat yang terdapat di dalam perairan akan bereaksi dengan zat organik sehingga membentuk kompleks atau senyawa kelat. Senyawa kelat tersebut akan terakumulasi dalam padatan tersuspensi dan mengendap serta bergabung dengan sedimen melalui proses presipitasi dan adsorpsi sehingga akan bersifat lebih stabil (Islam dkk., 2015).

Kandungan total padatan terlarut (TDS) di perairan Kawasan Mangrove Kedonganan berkisar 7.918–9.990 mg/L. Nilai TDS tersebut memenuhi kriteria penilaian TDS untuk perairan payau menurut Effendi (2003) yaitu 1.001 – 10.000 mg/L. Pada lokasi 3, 4, dan 5 kadar TDS-nya tinggi, hal tersebut diduga karena lokasi pengambilan sampel yang berdekatan dengan pemukiman penduduk sekitar. Sumber utama masuknya padatan terlarut ke dalam perairan mangrove yaitu berasal dari limbah rumah tangga, industri tekstil, serta residu dari aktivitas pengolahan sampah. Tingginya nilai TDS dalam air akan mengakibatkan terjadinya perubahan salinitas dan komposisi ion-ion sehingga toksisitas logam berat juga meningkat (Ganiyu dkk., 2021).

Konsentrasi Logam Pb dan Cu Total dalam Sedimen

Konsentrasi logam timbal (Pb) serta tembaga (Cu) total di dalam sedimen menyatakan jumlah seluruh spesies geokimia Pb dan Cu yang ada di dalam sedimen.

Tabel 3. Konsentrasi Logam Pb dan Cu Total dalam Sampel Sedimen

Lokasi	[Pb] total (mg/kg)	[Cu] total (mg/kg)
1	306,7680	21,2510
2	318,1331	24,8859
3	327,5754	25,5529
4	324,2424	33,2587
5	333,9511	29,2881

Berdasarkan hasil penelitian ini, konsentrasi Pb total dalam sedimen di Kawasan Mangrove Kedonganan sangat tinggi yaitu berkisar 306,7680 – 333,9511 mg/kg. Konsentrasi tersebut telah melampaui batas maksimum logam Pb yang diperbolehkan dalam sedimen yaitu 30,2 mg/kg (Canadian Council of Ministers of The Environment, 2002). Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa sedimen di Kawasan Mangrove Kedonganan telah tercemar logam Pb. Tingginya logam Pb di kawasan mangrove tersebut diduga karena tingginya aktivitas wisata bahari yang menggunakan perahu bermesin. Dugaan ini didukung Palar (2008) yang menyatakan bahwa logam Pb dapat bergabung ke dalam perairan melalui emisi mesin perahu yang berbahan bakar bensin. Tingginya kandungan logam Pb pada lokasi 5 mungkin dipengaruhi oleh aktivitas pengolahan sampah, sebab air lindi (*leachate*) yang mengandung logam Pb dari aktivitas penimbunan sampah dapat masuk ke dalam perairan dan mengendap dalam sedimen (Udayani dkk., 2020).

Konsentrasi logam Cu total dalam sedimen di Kawasan Mangrove Kedonganan jauh lebih rendah dibandingkan dengan logam Pb yaitu berkisar 21,2510 – 33,2587 mg/kg. Konsentrasi logam Cu tersebut juga telah melampaui ambang batas logam Cu di dalam sedimen menurut Canadian Council of Ministers of The Environment (2002) yaitu 18,7 mg/kg, sehingga dapat dinyatakan bahwa sedimen di Kawasan Mangrove Kedonganan juga telah tercemar oleh logam Cu. Tingginya

konsentrasi logam Cu khususnya di lokasi 4 diduga karena aktivitas industri tekstil. Menurut Komarawidjaja (2017), logam Cu biasanya terkandung dalam zat pewarna yang digunakan di industri tekstil khususnya dalam jenis zat warna reaktif. Logam Cu yang masuk ke dalam perairan akan terendapkan di dalam sedimen dan terserap ke dalam sel tumbuhan.

Spesiasi dan Bioavailabilitas Logam Pb dan Cu dalam Sedimen

Penentuan spesiasi serta bioavailabilitas logam timbal dan tembaga di dalam sedimen bertujuan mengetahui spesies geokimia dari logam berat tersebut berdasarkan jenis ikatannya dalam sedimen serta ketersediaannya bagi organisme sekitar.

Hasil analisis spesiasi logam berat timbal dan tembaga di dalam sedimen pada Kawasan Mangrove Kedonganan disajikan pada Tabel 4. Terlihat bahwa fraksi organik/sulfida (*oxidizable*) > Fe/Mn oksida (*reducible*) > EFLE > *resistant*. Tingginya fraksi *oxidizable* pada sedimen disebabkan karena masukan dari aktivitas rumah tangga. Menurut Firda dkk. (2016), bahan organik sangat mempengaruhi keberadaan logam Pb dan Cu. Pada umumnya, bahan organik yang terdapat di dalam sedimen tersusun atas asam humat dan asam fulvat yang mempunyai beberapa gugus-gugus fungsional seperti –OH alkoholat, fenolat, enolat, –COOH, serta –C=O yang mampu membentuk senyawa kompleks dengan ion logam dan bergabung dengan sedimen. Secara umum, fraksi *resistant* dari logam Pb dan Cu pada penelitian ini sangat rendah dan mengindikasikan bahwa konsentrasi logam Pb dan Cu di kawasan mangrove tersebut didominasi oleh fraksi *non-resistant* yang berkisar ±90%. Fraksi ini sangat dipengaruhi oleh aktivitas manusia (*anthropogenic*) seperti aktivitas rumah tangga, wisata bahari, dan industri tekstil. Hal ini juga mengindikasikan bahwa logam Pb dan Cu di dalam sedimen Kawasan Mangrove Kedonganan berpotensi sangat tinggi terserap oleh tumbuhan khususnya mangrove.

Tabel 4. Konsentrasi Logam Pb dan Cu pada Tiap Fraksi

Lokasi	Fraksi	[Pb]		[Cu]	
		mg/kg	%	mg/kg	%
1	I (EFLE)	53,1542 ± 1,2699	17,33	3,1359 ± 0,0577	14,76
	II (<i>Reducible</i>)	74,5398 ± 6,4761	24,30	4,0367 ± 0,6512	19,00
	III (<i>Oxidizable</i>)	155,6369 ± 8,9811	50,73	13,6113 ± 0,4003	64,05
	IV (<i>Resistant</i>)	23,4371 ± 3,3340	7,64	0,4671 ± 0,0578	2,20
2	I (EFLE)	58,1492 ± 4,1027	18,28	3,4026 ± 0,4364	13,67
	II (<i>Reducible</i>)	81,7551 ± 3,8164	25,70	8,5066 ± 0,9015	34,18
	III (<i>Oxidizable</i>)	148,4062 ± 2,1959	46,65	12,4096 ± 0,7834	49,87
	IV (<i>Resistant</i>)	29,8228 ± 1,9232	9,37	0,5671 ± 0,0577	2,28
3	I (EFLE)	59,8156 ± 2,6715	18,26	3,1357 ± 0,2309	12,27
	II (<i>Reducible</i>)	91,4750 ± 2,3997	27,92	9,4072 ± 0,2655	36,81
	III (<i>Oxidizable</i>)	146,4622 ± 3,3645	44,71	11,3420 ± 0,5501	44,39
	IV (<i>Resistant</i>)	29,8226 ± 3,1521	9,10	1,6680 ± 0,3218	6,53
4	I (EFLE)	61,4817 ± 3,3576	18,96	3,3359 ± 0,0573	10,03
	II (<i>Reducible</i>)	87,0316 ± 1,7268	26,84	11,8424 ± 1,4575	35,61
	III (<i>Oxidizable</i>)	144,2401 ± 4,3079	44,49	16,1790 ± 0,8731	48,65
	IV (<i>Resistant</i>)	31,4889 ± 2,0939	9,71	1,9015 ± 0,2003	5,72
5	I (EFLE)	65,3676 ± 3,1446	19,57	2,9021 ± 0,2648	9,91
	II (<i>Reducible</i>)	90,6388 ± 2,0866	27,14	10,8747 ± 0,3223	37,13
	III (<i>Oxidizable</i>)	142,2912 ± 6,7669	42,61	11,4416 ± 1,6442	39,07
	IV (<i>Resistant</i>)	35,6536 ± 0,4820	10,68	4,0697 ± 0,1534	13,90

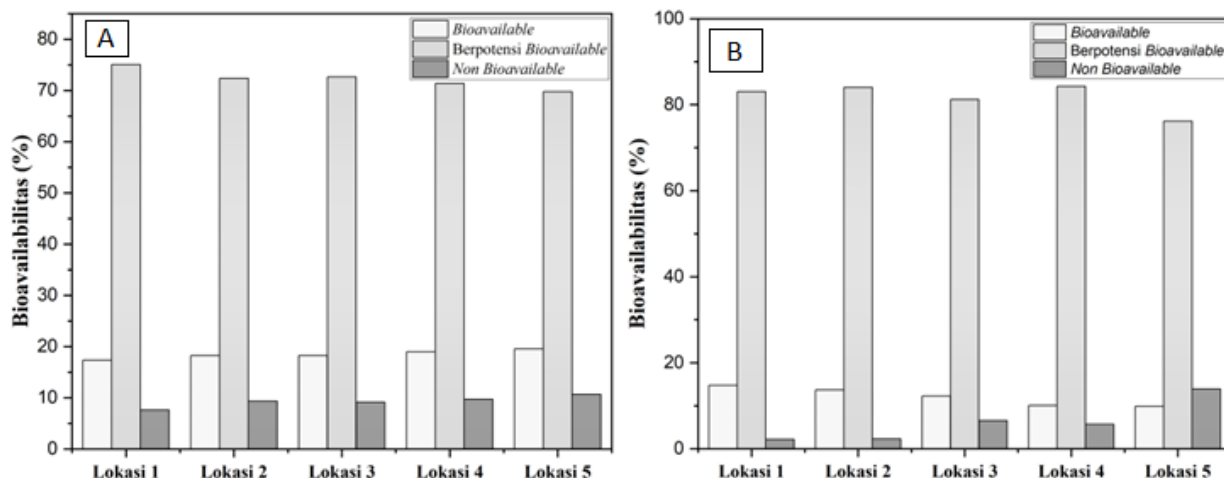
Logam Pb dan Cu dalam sedimen pada Kawasan Mangrove Kedonganan didominasi oleh fraksi *oxidizable* dan *reducible*. Kedua fraksi ini memiliki logam yang berpotensi *bioavailable* karena logam-logam tersebut berasosiasi atau terikat dengan Fe/Mn oksida dan organik/sulfida. Seperti terlihat pada Gambar 2, persentase logam Pb yang berpotensi *bioavailable* berkisar 69,75 – 75,03% dan logam Cu berkisar 76,20 – 84,25%. Logam Pb dan Cu pada spesies ini cukup aman karena tidak dapat terserap oleh hayati. Spesies ini memiliki sifat yang stabil dan ikatan antara logam dengan matriks dalam sedimennya cukup kuat. Spesies ini dapat tersedia bagi hayati jika terdapat reduktor atau oksidator yang bekerja pada sedimen di kawasan tersebut. Spesies ini juga dipengaruhi oleh aktivitas manusia terutama aktivitas rumah tangga.

Logam yang bersifat *bioavailable* dalam sedimen berkisar 12,33 – 19,57% untuk logam Pb dan 9,91 – 14,76% untuk logam Cu. Tingginya konsentrasi/persentase logam Pb pada fraksi ini diduga karena pengaruh emisi mesin perahu, aktivitas penimbunan sampah serta limbah industri tekstil. Emisi Pb yang berupa gas merupakan hasil sampingan dari mesin perahu dari senyawa tetrametil-Pb ((CH₃)₄Pb) dan tetraetil-Pb ((CH₃CH₂)₄Pb)

dalam bahan bakar kendaraan bermotor. Emisi Pb tersebut dapat meningkatkan jumlah Pb di udara dan dapat jatuh serta mengendap dalam sedimen. Aktivitas penimbunan sampah khususnya limbah yang berbahan logam seperti kaleng, cat, kabel dan baterai dapat menjadi sumber pencemaran Pb dan Cu. Air lindi hasil proses infiltrasi air hujan yang mengandung timbal dan tembaga dapat masuk ke dalam perairan serta akan terakumulasi di dalam sedimen (Udayani dkk., 2020). Logam berat pada spesies ini bersifat *bioavailable* karena sangat lemahnya ikatan antara logam dengan komponen atau senyawa yang ada pada sedimen sehingga logam berat akan mudah terlepas dan tingkat mobilitasnya tinggi. Tingginya mobilitas serta kelarutan suatu logam akan mempengaruhi akumulasi logam berat tersebut dalam tumbuhan mangrove. Rendahnya persentase logam Cu yang bersifat *bioavailable* pada lokasi 4 dan 5 dibandingkan dengan lokasi lainnya diduga disebabkan oleh faktor daya serap dan akumulasi dari tanaman mangrove yang tumbuh di lokasi tersebut. Hal tersebut dibuktikan dengan rendahnya persentase logam Cu yang *bioavailable*, seiring dengan tingginya logam Cu yang terakumulasi dalam buah pedada.

Logam Pb dan Cu yang bersifat *non-bioavailable* relatif rendah yaitu berkisar 7,64 – 10,68% untuk logam Pb dan 2,20 – 13,90% untuk logam Cu. Logam pada spesies ini berasal

dari aktivitas alam seperti pelapukan batuan. Spesies logam ini paling aman karena sifatnya yang sangat stabil terikat pada mineral-mineral primer dan tidak akan tersedia bagi hayati.



Gambar 2. Bioavailabilitas logam Pb (A) dan logam Cu (B)

Konsentrasi Logam Pb dan Cu dalam Buah Pedada

Penentuan konsentrasi logam timbal serta tembaga yang terkandung di dalam sampel buah pedada berguna untuk mengetahui jumlah total logam Pb dan Cu yang bisa terakumulasi pada bagian daging buah pedada serta untuk menentukan kelayakan konsumsi dari buah pedada di Kawasan Mangrove Kedonganan.

Tabel 5. Konsentrasi Logam Pb dan Cu dalam Sampel Buah Pedada

Lokasi	[Pb] ± SD (mg/kg)	[Cu] ± SD (mg/kg)
1	1,8592 ± 0,2405	1,5348 ± 0,1259
2	6,9973 ± 0,8667	2,2687 ± 0,2366
3	6,4420 ± 0,6365	1,2845 ± 0,1530
4	8,5249 ± 0,6354	1,6014 ± 0,1500
5	10,7469 ± 0,4803	2,1853 ± 0,2520

Surat Keputusan Dirjen POM No. 03725/B/SK/VII/89 menetapkan bahwa batas maksimal logam yang terkandung di dalam buah sebesar 2,0 mg/kg untuk timbal dan 5,0 mg/kg untuk tembaga. Buah pedada (*Sonneratia alba*) yang terdapat di Kawasan

Mangrove Kedonganan terdeteksi mengandung Pb yang cukup tinggi yaitu berkisar 1,8592 – 10,7469 mg/kg, sedangkan konsentrasi Cu yang terkandung lebih rendah yaitu berkisar 1,5348 – 2,2687 mg/kg. Konsentrasi logam Pb yang terdapat di dalam buah pedada telah melampaui batas maksimum yang diperbolehkan, sedangkan untuk konsentrasi logam Cu yang terkandung masih berada di bawah batas maksimum. Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa buah pedada pada Kawasan Mangrove Kedonganan telah tercemar logam Pb.

Berdasarkan penelitian Sanadi dkk. (2018), tumbuhan mangrove dengan spesies *S. alba* memiliki kemampuan biofilter. Tumbuhan tersebut mampu untuk menyaring, mengikat dan memerangkapkan polusi khususnya logam berat di lingkungannya. Kemampuan tersebut menjadikan mangrove tergolong sebagai tumbuhan hiperakumulator, sehingga sangat sesuai sebagai penyerap logam berat pada daerah pesisir/estuari yang banyak menerima cemaran logam berat.

Logam Pb merupakan logam *non-essential* atau tidak diperlukan oleh tubuh manusia dalam proses metabolisme. Oleh karena itu, logam Pb disarankan tidak terdapat di dalam produk makanan terutama di dalam buah-buahan. Logam Pb dapat menghalangi kinerja pembentukan hemoglobin sehingga akan menyebabkan terganggunya sistem ginjal, sistem saraf pusat dan tepi, sistem reproduksi, serta penurunan kecerdasan. Berbeda dengan

logam Pb, logam Cu merupakan salah satu logam yang bersifat *essential* atau diperlukan dalam proses metabolisme tumbuhan maupun manusia dalam jumlah yang sedikit, sehingga kehadirannya bermanfaat pada tingkat tertentu (Palar, 2008).

SIMPULAN

Konsentrasi logam Pb dan Cu total di dalam sedimen Kawasan Mangrove Kedonganan berturut-turut yaitu 306,7680 – 333,9511 mg/kg dan 21,2510 – 33,2587 mg/kg. Sedimen di kawasan tersebut didominasi oleh logam yang berpotensi *bioavailable* yaitu 69,75 – 75,03% untuk Pb dan 76,20 – 84,25% untuk Cu, kemudian diikuti oleh logam yang bersifat *bioavailable* berkisar 17,33 – 19,57% untuk Pb dan 9,91 – 14,76% untuk Cu, sedangkan logam yang bersifat *non-bioavailable* berkisar 7,64 – 10,68% untuk Pb dan 2,20 – 13,90% untuk Cu. Sedangkan pada buah pedada terdeteksi mengandung logam Pb berkisar 1,8592 – 10,7469 mg/kg dan Cu berkisar 1,5348 – 2,2687 mg/kg. Berdasarkan hasil penelitian, buah pedada yang tumbuh di Kawasan Mangrove Kedonganan tidak direkomendasikan untuk dikonsumsi, mengingat kandungan logam Pb-nya yang melampaui ambang batas.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. 2004. *Air dan Air Limbah – Bagian 3: Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solid, TSS) Secara Gravimetri (SNI 06-6989.3-2004)*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2005. *Air dan Air Limbah – Bagian 27: Cara Uji Kadar Padatan Terlarut Total Secara Gravimetri (SNI 06-6989.27-2005)*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. 2002. *Canadian Sediment Quality Guidelines for The Protection of Aquatic Life*. Manitoba Statutory. Winnipeg.
- Davidson, C. M., Duncan, A. L., Littlejohn, A. M. U., & 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. *Analytica Chimica Acta*. 393: 45–55.
- Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan. 1989. *Surat Keputusan Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan Nomor : 03725/B/SK/VII/89 Batas Maksimum Cemaran Logam dalam Makanan*. Dirjen POM. Jakarta.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air*. Kanisius. Sleman.
- Firda, Mulyani, O., & Yuniarti, A. 2016. Pembentukan, Karakterisasi Serta Manfaat Asam Humat Terhadap Adsorpsi Logam Berat (Review). *Soilrens*. 14(2): 9–13.
- Ganiyu, S. A., Oyadeyi, A. T., & Adeyemi, A. A. 2021. Assessment of Heavy Metals Contamination and Associated Risks in Shallow Groundwater Sources From Three Different Residential Areas within Ibadan Metropolis, Southwest Nigeria. *Applied Water Science*. 11(81): 1–20.
- Islam, M. S., Ahmed, M. K., Raknuzzaman, M., Habibullah-Al-Mamun, M., & Islam, M. K. 2015. Heavy Metal Pollution in Surface Water and Sediment: A Preliminary Assesment of An Urban River in A Developing Country. *Ecological Indicators*. 48: 282–291.
- Komarawidjaja, W. 2017. Paparan Limbah Cair Industri Mengandung Logam Berat pada Lahan Sawah di Desa Jelegong, Kecamatan Rancaekek, Kabupaten Bandung. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 18(2): 178–181.
- Palar, H. 2008. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Paputungan, Z., Wonggo, D., & Kaseger, B. E. 2017. Uji Fitokimia dan Aktivitas Antioksidan Buah Mangrove *Sonneratia alba* di Desa Nunuk Kecamatan Pinolosian Kabupaten Bolaang Mongondow Selatan. *Jurnal Media Teknologi Hasil Perikanan*. 5(3): 96–102.
- Prinasti, N. K. D., Dharma, I. G. B. S., & Suteja, Y. 2020. Struktur Komunitas Vegetasi Mangrove Berdasarkan Karakteristik Substrat di Taman Hutan Raya Ngurah Rai, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*. 6(1): 90–99.
- Priyanto, B., & Prayitno, J. 2007. Fitoremediasi sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat. *Jurnal Tanaman*. 1(2): 2–10.

- Puspasari, D. A., Suprihatin, I. E., & Dewi, I. G. A. K. S. P. 2014. Spesiasi dan Bioavailabilitas Logam Cu dan Zn dalam Perairan dan Sedimen Muara Sungai Badung pada Jalur Taman Hutan Raya Ngurah Rai Denpasar Bali. *Jurnal Kimia*. 8(2): 153–158.
- Sanadi, T. H., Schaduw, J. N. W., Tilaar, S. O., Mantiri, D., Bara, R., & Pelle, W. 2018. Analisis Logam Berat Timbal (Pb) pada Akar Mangrove di Desa Bahowo dan Desa Talawaan Bajo Kecamatan Tongkaina. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*. 2(1): 9–18.
- 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., Owens, C. M., & Birch, G. F. 1998. Evaluation of Some Digestion Methods For The Determination of Heavy Metals In Sediment Samples By Flame-AAS. *Analytical Letters*. 31(4): 703–718.
- Udayani, L. P. D., Suprihatin, I. E., & Gunamantha, I. M. 2020. Efektivitas Pengolahan Lindi (TPA Bengkala) dengan Kombinasi Trickling Filter dan Elektrokoagulasi. *CAKRA KIMIA (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*. 8(1): 51–58.
- Widari, N. K. D. S., Siaka, I. M., & Suprihatin, I. E. 2019. Kandungan Logam Berat Total Pb dan Cd dalam Sedimen dan Buah Pedada (*Sonneratia alba*) di Muara Sungai Badung. *Jurnal Kimia (Journal of Chemistry)*. 13(1): 40–43.