

Akumulasi Logam Pb dan Cu pada Akar, Daun dan Serasah Mangrove di Perairan Pekalongan

Nirwani Soenardjo* dan Refinda Juliant Mentari

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia
Email: nirwanisoenardjo@gmail.com

Abstrak

Pekalongan merupakan kota dengan kegiatan industri tekstil cukup besar, terutama industri batik. Kegiatan industri ini menghasilkan limbah (salah satunya logam berat) diduga dapat mencemari lingkungan. Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) adalah logam berat yang umum digunakan sebagai pewarna mordant dalam pewarnaan tekstil. Mangrove Park di Kota Pekalongan sangat penting karena vegetasi mangrove mampu mengakumulasi logam berat. *Rhizophora mucronata* digunakan sebagai fitoremediasor karena dapat mengakumulasi logam berat. Tujuan penelitian ini menganalisis potensi *R. mucronata* sebagai agen fitoremediasi logam berat Pb dan Cu. Metode purposive sampling digunakan untuk pengambilan data dan sampel dianalisis dengan alat AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*). Hasil analisis Pb dan Cu ditemukan dalam sampel air, sedimen, daun, akar dan serasah mangrove. Konsentrasi Pb lebih tinggi dibandingkan dengan Cu, bagian akar *R. mucronata* konsentrasi Pb lebih tinggi (3,658 mg/kg). Berdasarkan Nilai Bio Concentration Factor (BCF) < 1 dan Translocation Factors (FC) < 1, maka *R. mucronata* adalah tumbuhan *excluder* yang mempunyai mekanisme Rhizofiltrasi.

Kata kunci: Fitoremediasi, Rhizofiltrasi, *Rhizophora mucronata*

Abstract

Accumulation of Pb and Cu in Roots, Leaves and Mangrove Litter in Pekalongan Waters

Pekalongan city is widely known as a city with a fairly large-scale textile industry, especially batik industry. These industrial activities have produced wastes (one of them is heavy metal) that can pollute the environment. Copper (Cu) and Lead (Pb) were a heavy metal commonly used as a dye mordant in textile dyeing. The existence of Mangrove Park in Pekalongan city has an important role due to mangrove vegetation ability to accumulate heavy metals. *Rhizophora mucronata* was fairly used as phytoremediator due to its ability to accumulate heavy metals. This research purpose was conducted to analyze the potential of *R. mucronata* as phytoremediator agent for heavy metals such as Pb and Cu. Purposive sampling method was used for data collection and samples were analyzed by AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) method. The result of Pb and Cu analysis found in water samples, sediments, leaves, roots and mangrove litter. Pb concentration higher than Cu concentration, on *R. mucronata* roots were found that the Pb concentration as high as 3,658 mg/kg. Based on Bio Concentration Factor (BCF) < 1 and Translocation Factors (FC) < 1, mangrove *R. mucronata* is an *excluder* plant that has a rhizofiltration mechanism.

Keywords: Phytoremediator, Rhizofiltration, *Rhizophora mucronata*

PENDAHULUAN

Kegiatan industri umumnya menghasilkan limbah cair, jika dibuang tanpa dilakukan perlakuan akan mencemari lingkungan. Limbah

akan terbawa aliran air, kemudian bermuara ke laut. Agen pencemar yang masuk ke lingkungan laut dan pesisir secara terus menerus memberikan dampak bagi organisme-organisme yang hidup di dalamnya (Ernawati *et al.*, 2018). Logam berat Cu

*Corresponding author

DOI:10.14710/buloma.v12i3.48984

<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/buloma>

Diterima/Received : 15-09-2022

Disetujui/Accepted : 26-09-2023

(tembaga) dan Pb (timbal) adalah salah satu agen pencemar yang banyak terdapat di perairan.

Menurut Majanasastra *et al.* (2016) pencemaran Cu dapat terjadi di perairan, sumbernya berasal dari limbah yang mengandung ion Cu^{2+} . Permata *et al.* (2018) menjelaskan pencemaran Pb di lingkungan berasal dari limbah cair hasil pewarnaan tekstil atau cat. Perairan Kota Pekalongan terindikasi mengalami pencemaran logam berat, berdasarkan hasil penelitian Minarsih (2019) dibuktikan dengan adanya kandungan Cd (cadmium) dan Pb (timbal) pada *Perna viridis*. Hasil penelitian Yulianto *et al.* (2019), *Crassostrea gigas* yang diambil di Loji, Kota Pekalongan, mengandung logam berat Cd, Pb, Cu, dan Zn. Perairan yang tercemar logam berat tidak dikendalikan, dapat memberikan dampak negatif bagi biota perairan hingga manusia.

Mangrove sudah digunakan sebagai objek penelitian tentang fitoremediasi yaitu penggunaan tumbuhan untuk mengatasi permasalahan lingkungan seperti pencemaran logam berat. *Rhizophora* sp. sering diteliti sebagai tumbuhan yang dapat mengakumulasi logam berat, sehingga digunakan sebagai fitoremediator. Logam berat yang diserap oleh mangrove bisa mengurangi kadar logam berat di lingkungan. Hasil penelitian Luthansa *et al.* (2021), ekosistem mangrove mampu mengendalikan polutan Pb (timbal) dan Cu (tembaga). Sanadi *et al.* (2018), menjelaskan mangrove yang tumbuh di daerah pesisir mempunyai kemampuan sebagai akumulator logam berat.

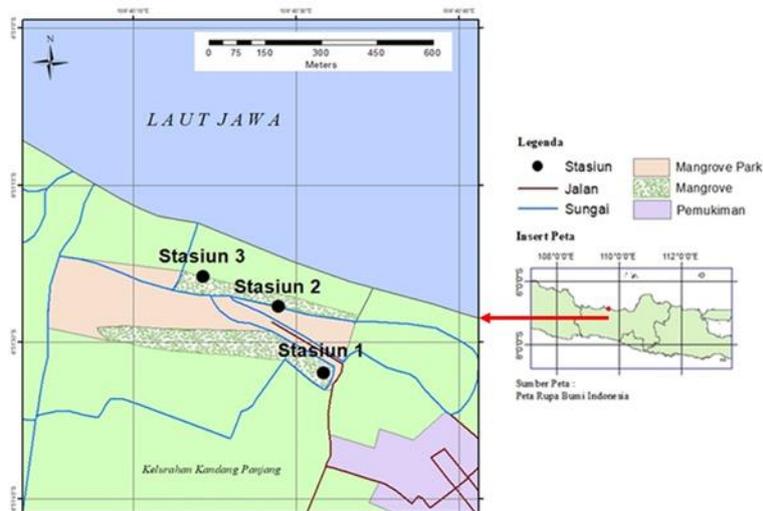
Mangrove Park di Pekalongan mempunyai fungsi sebagai tempat pembelajaran, restorasi

(pemulihan kondisi lingkungan), pariwisata, dan rekreasi. Lokasi Mangrove Park berdekatan dengan pemukiman warga yang memiliki industri batik skala rumah tangga , diduga menyebabkan masuknya agen pencemar ke dalam ekosistem mangrove. Menurut Supriyantini *et al.* (2017) di akar dan daun *Rhizophora* sp. yang diambil di Mangrove Park Pekalongan memiliki kandungan logam berat Pb. Logam berat ini diduga berasal dari limbah industri tekstil (pigmen / pewarna) yang dibuang langsung ke perairan yang ada disekitar lokasi dan terbawa masuk kedalam Mangrove Park.

Berdasarkan kondisi tersebut, perlu dilakukan penelitian untuk mengkaji potensi fitoremediasi terhadap logam berat Pb dan Cu, serta mengetahui tingkat pencemaran Pb dan Cu di Mangrove Park, Pekalongan.

MATERI DAN METODE

Materi penelitian berupa air, sedimen, akar, daun, dan serasah mangrove *Rhizophora mucronata* di Mangrove Park, Pekalongan. Metode deskriptif kuantitatif digunakan dengan pendekatan survei lapangan (field survey) dalam penelitian ini. Pengumpulan data dilakukan dengan pendekatan purposive sampling yaitu menentukan stasiun berdasarkan pertimbangan jarak dengan pemukiman (sumber pencemar). Stasiun 1 dekat dengan pemukiman (100m) dan aktivitas pariwisata, Stasiun 2 bekas tambak (200m dari stasiun 1) , dan Stasiun 3 dekat dengan pantai (paling jauh dari pemukiman) jarak 200m dari stasiun 2 (Gambar 1).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Pengambilan sampel secara langsung di 3 stasiun, menggunakan metode purposive sampling. Sampel air diambil sebanyak 500 ml dan ditampung dalam wadah botol gelas. Sampel sedimen diambil menggunakan pipa paralon sebanyak 600 gram dimasukkan dalam plastik zipper (Testi *et al.*, 2019). Pengambilan akar dan daun mangrove menggunakan alat pemotong (gunting) Sampel daun yang diambil berwarna hijau tua, seberat 250 gram. Sampel Akar mangrove diambil merupakan akar yang terendam air dan sedimen, dipotong dengan panjang 10 cm dari ujung akar, seberat 250 gram. Sampel serasah mangrove diambil dengan pemasangan jaring berukuran 1x1m di bawah kanopi pohon mangrove. Daun mangrove yang jatuh menjadi serasah, terkumpul pada jaring diambil dalam waktu dua minggu setelah pemasangan jaring (Dewi *et al.*, 2018).

Analisis kandungan logam berat Pb dan Cu pada sedimen, air, akar dan daun menggunakan alat *Atomic Absorbtion Spectrophotometry* (AAS). Preparasi sampel akar dan daun dipotong kecil-kecil lalu dikeringkan dalam oven dengan suhu 60 °C selama 3 hari. Sampel yang sudah kering kemudian dihaluskan menggunakan blender dan ditimbang sebanyak 5 gram. Sampel kemudian dilakukan proses pengabuan selama 4 jam dengan suhu 550 °C. Sampel yang sudah menjadi abu selanjutnya didestruksi asam yaitu sampel dilarutkan dengan aquademin sebanyak 30 ml dan ditambahkan 10 ml HNO₃. Larutan kemudian dididihkan setelah mendidih larutan tetap dipanaskan selama 10 menit. Setelah dingin larutan dimasukkan kedalam labu takar dan disaring menggunakan kertas saring. Larutan sampel tersebut ditambah dengan aquademin sampai volume mencapai 50 ml, sampel larutan divortex selama 1 menit. Sampel dimasukkan kedalam botol sampel kemudian diuji dengan menggunakan AAS.

Preparasi sampel sedimen (lumpur) yang bertekstur basah diambil sebanyak 30 ml ditambah aquademin 10 ml dan 10 ml HNO₃ kemudian dipanaskan hingga mendidih. Setelah mendidih larutan tersebut tetap dipanaskan dan ditunggu selama 10 menit. Sampel larutan dimasukkan kedalam labu takar dan disaring menggunakan kertas saring. Larutan tersebut ditambah aquademin sampai mencapai 50 ml dan divortex selama 1 menit. Sampel dimasukkan kedalam botol sampel kemudian diuji dengan menggunakan AAS.

Preparasi sampel air diambil sebanyak 100 ml ditambah 10 ml HNO₃ kemudian dipanaskan sampai mendidih. Setelah mendidih larutan tetap dipanaskan dengan gelas penutup dibuka (penguapan). Sampel larutan tersebut diuapkan hingga volume mencapai 50 ml. Sampel larutan kemudian dimasukkan kedalam labu takar dan disaring dengan menggunakan kertas saring. Larutan ditambahkan aquademin sampai volume kembali 50 ml dan divortex selama 1 menit. Sampel dimasukkan kedalam botol sampel lalu diuji menggunakan AAS.

Menurut Salavin (1978) konsentrasi logam berat sebenarnya dapat dihitung dengan rumus

$$K S \text{ (mg/kg)} = \frac{K AAS \left(\frac{mg}{l}\right) \times vol.pelarut \text{ (L)}}{Berat sampel \text{ (mg)}}$$

Keterangan: K S= Konsentrasi logam berat sebenarnya ; K AAS = Konsentrasi logam berat pada AAS; Vol. Pelarut = Vol yang digunakan untuk melarutkan (indukan); Berat sampel = Berat sampel yang digunakan

Pembuatan Larutan standar Pb dan Cu dibuat dari larutan stok dengan konsentrasi 1000 mg/L. Dilakukan pengenceran larutan stok Pb dan Cu hingga didapatkan konsentrasi 0,1–10 mg/L. Kurva kalibrasi dapat dibuat dengan cara mengamati serapan pada konsentrasi larutan standar dengan panjang gelombang 283,3 nm (Pb) dan 324,7 nm (Cu). Hasil destruksi basah diukur absorbansinya (Minarsih, 2019).

Faktor konsentrasi diukur untuk mengetahui akumulasi logam berat pada sedimen dan dibandingkan dengan konsentrasi logam berat pada kolom air. Menurut Suryani *et al.* (2018), faktor konsentrasi (CF) dapat dihitung dengan persamaan:

$$CF = \frac{\text{Logam berat sedimen}}{\text{Logam berat air}}$$

Faktor biokonsentrasi diukur untuk mengetahui kemampuan *Rhizophora mucronata* dalam menyerap Pb dan Cu. Nilai BCF untuk menentukan kemampuan yang dimiliki suatu tumbuhan dalam melakukan akumulasi logam berat dari lingkungan (air dan sedimen). Menurut Mac Farlane *et al.* (2007) nilai BCF dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$BCF = \frac{\text{Logam berat Pb atau Cu tumbuhan}}{\text{Logam berat Pb atau Cu dalam sedimen}}$$

Jika nilai, $BCF > 1$ maka Accumulator plant; $BCF = 1$ maka Indicator plant; $BCF < 1$ maka Excluder plant

Nilai *Translocation Factor* (TF) untuk mengetahui potensi tumbuhan sebagai fitoremediator. Menurut Manikasari dan Mahayani (2018), nilai TF menentukan kemampuan tumbuhan dalam mentranslokasikan logam dari akar ke bagian lain (tajuk). Nilai TF menunjukkan proses yang dilakukan oleh tumbuhan dalam mengurangi keberadaan logam berat, yaitu fitoekstraksi dan fitostabilisasi. Rumus yang digunakan untuk menghitung TF adalah :

$$TF \text{ Pb atau Cu} = \frac{\text{Logam berat Pb atau Cu pada daun}}{\text{Logam berat Pb atau Cu dalam akar}}$$

Jika nilai, $TF < 1$ = Tumbuhan dengan mekanisme rhizofiltrasi; $TF > 1$ = Tumbuhan dengan mekanisme fitoekstraksi

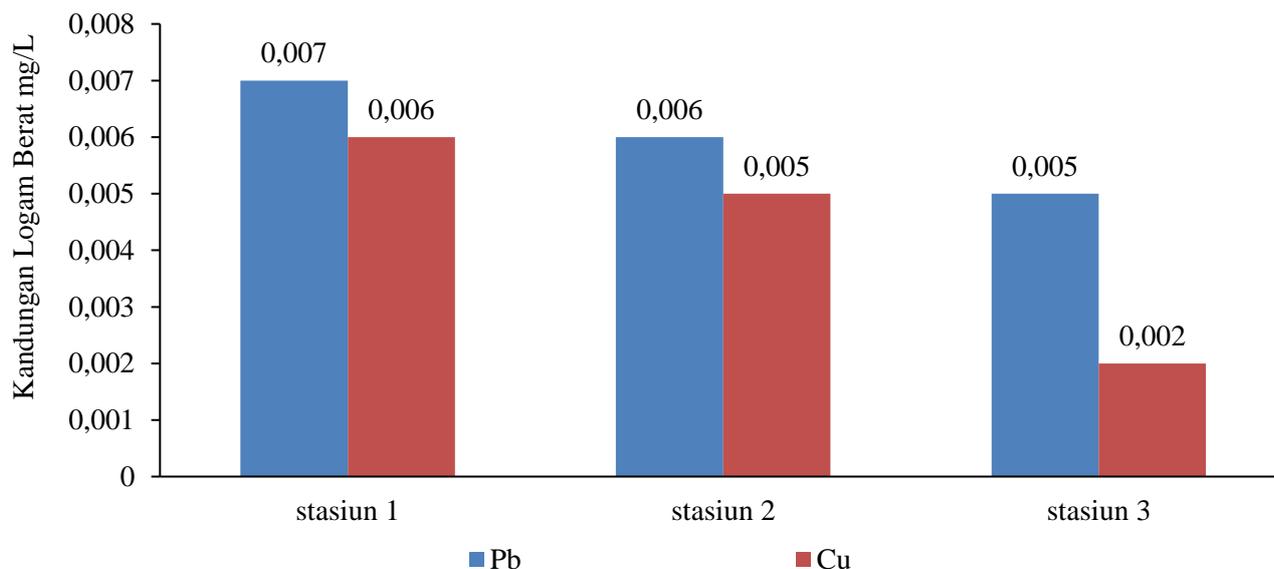
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis Pb dan Cu dalam lingkungan (air dan sedimen), akar, daun, dan serasah mangrove nilainya bervariasi. Logam berat yang ada di perairan dipengaruhi kondisi parameter

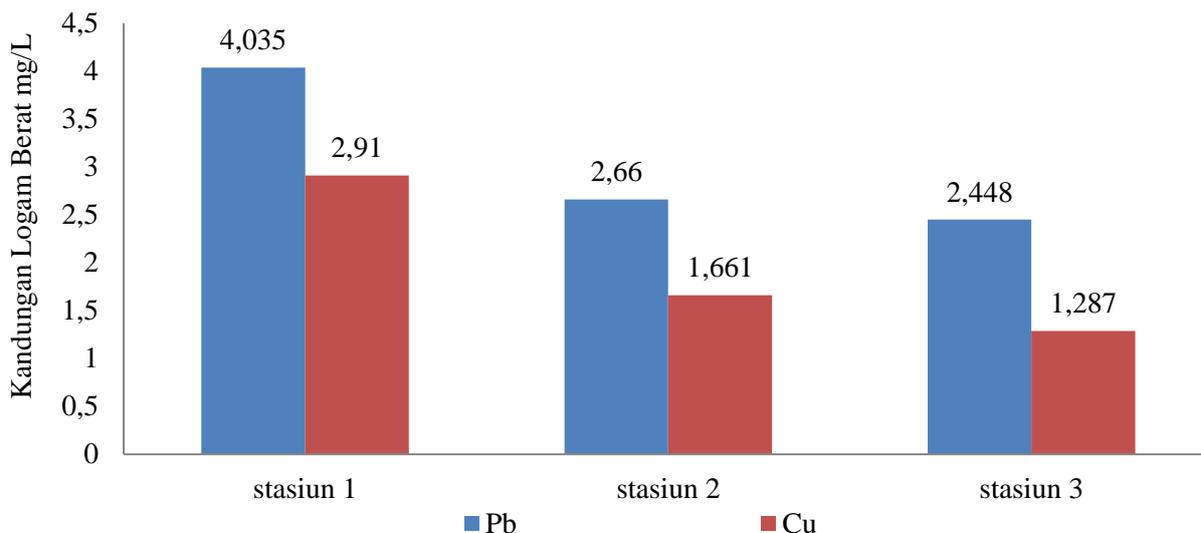
lingkungan. Hasil analisis Pb dan Cu di Stasiun 1 paling tinggi baik dalam air maupun sedimen. Hasil analisis konsentrasi Pb dan Cu dalam air sebesar 0,007 mg/l dan 0,006 mg/l. Stasiun 3 berdasarkan analisis konsentrasi Pb dan Cu paling rendah (Gambar 2). Kondisi ini disebabkan sebaran logam berat paling besar berada pada area pesisir dan jumlahnya akan semakin kecil saat dekat ke arah laut. Hasil penelitian ini masih dibawah ambang batas Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup no 51 tahun 2004 yaitu 0,008 mg/l.

Stasiun 1 konsentrasi Pb dan Cu dalam sedimen sebesar 4,035 mg/kg dan 2,910 mg/kg lebih tinggi jika dibandingkan dengan stasiun 2 dan 3. Berdasarkan NOAA kandungan Cu dan Pb masih dibawah ambang batas (Cu = 34 mg/kg dan Pb = 46,7 mg/kg). Kondisi ini disebabkan letak stasiun 1 dekat dengan sumber polutan yaitu kegiatan industri selain itu polutan belum mengalami pengenceran (Gambar 3).

Hasil perhitungan logam berat menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kandungan Pb dan Cu dalam air dan sedimen. Pb dan Cu yang terkandung pada sedimen lebih besar dibandingkan hasil analisis pada air. Hal ini dikarenakan sifat Pb sebagai logam berat non-esensial yang sulit terdegradasi dan mudah mengalami sedimentasi. Konsentrasi Pb lebih besar apabila dibandingkan dengan Cu di lingkungan hal ini disebabkan Cu merupakan logam berat esensial.



Gambar 2. Perbandingan Konsentrasi Pb dan Cu dalam Air



Gambar 3. Perbandingan Pb dan Cu dalam Sedimen

Tabel 1. Hasil Pengukuran Parameter Perairan di Mangrove Park

Parameter	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Baku Mutu
Suhu (°C)	33,5-34,8	31-33,2	31,5-32,4	28-30 *
pH	6,5-7,05	7,09-7,3	7-7,5	6,5-8,5*
Salinitas (‰)	30-32	31-32	31-32	35*
DO (mg/L)	4,9-5,2	5-5,5	5,3-5,6	>5*

Keterangan: *Nilai Baku Mutu Perairan berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 51 tahun 2004

Parameter perairan seperti suhu, pH, dan salinitas berpengaruh terhadap konsentrasi logam berat (Tabel 1). Stasiun 1 mempunyai kisaran suhu yang paling tinggi, yaitu 33,5-34,8°C dimana konsentrasi Pb dan Cu juga tinggi jika dibandingkan dengan stasiun 2 dan 3. Selain itu pada suhu tinggi, logam berat akan mudah terlarut dalam air, sehingga konsentrasi logam berat akan semakin tinggi. Hasil pengukuran pH menunjukkan Stasiun 1 memiliki kisaran pH yang paling rendah yaitu sebesar 6,5-7,05, tetapi konsentrasi Pb dan Cu lebih tinggi dibanding dua stasiun lainnya. Perairan yang memiliki pH rendah maka kelarutan logam tersebut semakin tinggi dan sifat toksisitasnya juga meningkat. Ghabeshi *et al.* (2021), menjelaskan jika air laut mempunyai derajat keasaman (pH) tinggi, maka kelarutannya dalam air akan menurun dan toksisitas menurun. Salinitas yang telah diukur pada ketiga stasiun adalah 30-32 ppt. Stasiun 1 salinitasnya paling rendah mempunyai nilai Pb dan Cu, paling tinggi,

diduga salinitas yang rendah akan mempengaruhi toksisitas dan akumulasi logam berat semakin tinggi. Kondisi ini sesuai dengan pendapat Natadisastra *et al.* (2018), apabila salinitas di suatu perairan menurun akan menyebabkan meningkatnya toksisitas dan akumulasi logam berat semakin besar.

Kandungan Pb dalam akar *Rhizophora mucronata* lebih tinggi dibandingkan daun, dan serasah. Stasiun 1 kandungan Pb (3,685 mg/kg) akar *R. mucronata*, Stasiun 2 kandungan Pb (2,407 mg/kg) dan Stasiun 3 kandungan Pb (2,153 mg/kg). Stasiun 1 kandungan Pb lebih tinggi dibandingkan dengan dua stasiun lainnya. (Tabel 2). Hal ini sesuai dengan kandungan Pb dalam air serta sedimen, di stasiun 1 lebih tinggi dibandingkan stasiun lainnya. Proses masuknya logam berat ke dalam tumbuhan adalah dalam bentuk kation atau anion. Logam Pb merupakan senyawa kation akan diserap oleh ujung akar *R. mucronata* terjadi pada epidermis akar. Ion-ion

tersebut akan bergerak menuju xylem melalui system sitoplasma dan bergerak dari sel ke sel. Proses penempelan zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap kedalam batang maka tumbuhan akan mentransformasi polutan di dalam substrat senyawa yang non toksik.

Hasil analisis kandungan Cu dalam akar *R. mucronata* lebih tinggi dibandingkan pada daun dan serasah (Tabel 3). Kondisi disebabkan akar memiliki kontak langsung dengan sedimen dan air yang telah terkontaminasi oleh logam berat yang mengendap. Selain itu kandungan ion yang lebih tinggi dibagian akar merupakan bukti kuat untuk proses lokalisasi ekstraseluler yang diduga adanya pengikatan fraksi pectin pada dinding sel. Kandungan Cu pada air, sedimen, daun, akar dan serasah di stasiun 1 lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun 2 dan 3.

Kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap/adsorpsi pengendapan dan mengakumulasi zat kontaminan agar menempel diakar. Proses penempelan zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap kedalam batang maka tumbuhan akan mentransformasi polutan didalam substrat senyawa yang non toksik. Zat-zat tersebut akan menempel erat pada akar sehingga tidak akan terbawa oleh aliran air dalam substrat. Oleh karena itu hasil analisis kandungan Pb dan Cu diakar lebih tinggi dibandingkan bagian tumbuhan yang lain.

Serasah mangrove dapat mengembalikan logam berat ke lingkungan melalui proses dekomposisi sehingga terjadi pelepasan baik bahan organik dan anorganik kedalam lingkungan. Proses

penguraian zat kontaminan ini dilakukan oleh mikroba yang berada disekitar tumbuhan tersebut. Hal ini ditunjukkan dari hasil analisis kandungan Pb dalam serasah mangrove lebih kecil dibandingkan dalam akar dan daun. Hal ini dikarenakan mangrove bisa mengembalikan logam berat lewat proses dekomposisi serasah. Salah satu mekanisme yang dimiliki oleh tumbuhan untuk menghadapi kondisi lingkungan yang toksik adalah dengan ekskresi.

Faktor Konsentrasi (CF), Faktor Biokonsentrasi (BCF), dan Faktor Translokasi (TF)

Hasil perhitungan CF Pb berkisar antara 443,33-576,42 dan perhitungan CF Cu berkisar antara 332,20-643,50 (Tabel 4). Nilai rata-rata CF Pb lebih besar dibandingkan Cu karena sifat Pb yang sulit didegradasi dan mudah terakumulasi dalam sedimen. Keadaan ini menjelaskan peranan sedimen sebagai *reservoir* bagi polutan (agen pencemar) di lingkungan. Nilai CF logam berat yang terdapat pada kolom air memberikan kontribusi atas meningkatnya konsentrasi logam berat pada sedimen. Hasil penelitian oleh Haryono *et al.* (2017), kandungan Pb dalam air lebih kecil apabila dibanding dengan kandungan Pb dalam substrat (sedimen).

Faktor biokonsentrasi (BCF) merupakan konsentrasi senyawa di dalam organisme dibagi dengan konsentrasi senyawa di dalam lingkungan (air atau sedimen). Tabel 5 merupakan hasil perhitungan nilai BCF Pb dan Cu pada akar, daun. Nilai BCF Pb dan Cu stasiun pada akar lebih tinggi dibandingkan pada daun. Stasiun 1 memiliki nilai

Tabel 2. Kandungan Pb pada Akar, Daun dan Serasah *Rhizophora mucronata*

Stasiun	Kandungan Pb		
	Akar (mg/kg)	Daun (mg/kg)	Serasah (mg/kg)
Stasiun 1	3,658	2,410	1,787
Stasiun 2	2,407	1,409	0,912
Stasiun 3	2,153	1,161	0,537

Tabel 3. Kandungan Cu pada Akar, Daun dan Serasah *Rhizophora mucronata*

Stasiun	Kandungan Cu		
	Akar (mg/kg)	Daun (mg/kg)	Serasah (mg/kg)
Stasiun 1	1,911	1,285	0,537
Stasiun 2	1,037	0,661	0,162
Stasiun 3	0,787	0,412	0,037

Tabel 4. Hasil Perhitungan Concentration Factor (CF) logam Pb dan Cu

Stasiun	CF Pb	CF Cu
Stasiun 1	576,42	485,00
Stasiun 2	443,33	332,20
Stasiun 3	489,60	643,50
Rata-rata	503,11	486,90

Tabel 5. Hasil Perhitungan Bioconcentration Factor (BCF) Pb dan Cu pada Akar, Daun *Rhizophora mucronata*

Stasiun	BCF Pb		BCF Cu	
	Akar	Daun	Akar	Daun
Stasiun 1	0,90	0,59	0,65	0,44
Stasiun 2	0,90	0,52	0,62	0,39
Stasiun 3	0,87	0,47	0,61	0,32

BCF tertinggi yaitu 0,90 pada akar dan 0,59 pada daun. Stasiun 2 memiliki nilai BCF 0,90 pada akar dan 0,52 pada daun. Stasiun 3 memiliki nilai BCF 0,87 pada akar dan 0,43 pada daun. Hasil perhitungan BCF Cu menunjukkan bahwa nilai BCF pada akar lebih besar daripada nilai BCF pada daun. Stasiun 1 memiliki nilai BCF tertinggi yaitu sebesar 0,65 pada akar dan 0,44 pada daun. Stasiun 2 memiliki nilai BCF sebesar 0,62 pada akar dan 0,39 pada daun. Stasiun 3 memiliki nilai BCF sebesar 0,61 pada akar dan 0,32 pada daun. Hasil penelitian Dewi *et al.* (2018) di Tambak Mangunharjo nilai BCF Pb (0,0202) dan Cu (0,0174) lebih rendah dibandingkan hasil penelitian ini

Nilai BCF logam berat pada bagian akar lebih besar dibandingkan bagian daun. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan akumulasi logam berat yang paling besar terdapat pada bagian akar. Logam berat yang telah melewati epidermis, selanjutnya akan memasuki korteks dan disimpan di endodermis. Fungsi endodermis pada bagian akar sebagai *partial barrier* dalam proses pemindahan logam berat dari akar. Penelitian Sasongko *et al.* (2020), menunjukkan hasil nilai BCF pada akar lebih besar daripada BCF pada daun. Penyebabnya adalah akar mangrove yang berinteraksi secara langsung dengan air dan sedimen yang memiliki kandungan logam berat.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat diketahui bahwa *Rhizophora mucronata* di Mangrove Park Pekalongan merupakan tanaman yang bersifat *excluder* terhadap logam berat Pb dan Cu karena

memiliki nilai $BCF < 1$. *Excluder* adalah sifat dimana tumbuhan dapat mencegah logam berat masuk bagian atas tumbuhan, namun konsentrasinya di bagian perakaran dan lingkungan masih tinggi. Menurut Hunt *et al.* (2014), *excluder* merupakan spesies tumbuhan yang mempunyai kandungan logam berat tinggi pada bagian akarnya, tapi hasil pembagian antara akar dan daunnya mempunyai nilai < 1 . Penelitian oleh Dewi *et al.* (2018), menunjukkan kemampuan akumulasi *Rhizophora mucronata* yang rendah. Rata-rata nilai BCF yang diperoleh sebesar 0,02.

Faktor penting lainnya untuk melihat potensi tumbuhan sebagai fitoremediator adalah nilai *Translocation Factor* (TF). Nilai TF menunjukkan kemampuan tumbuhan dalam mentranslokasikan unsur logam berat (*heavy metals*) dari akar ke bagian lain. Nilai TF logam berat Pb dan Cu terbesar terdapat pada Stasiun 1 dan kecil terdapat pada Stasiun 3. (Tabel 6). Penyebabnya adalah kandungan Pb dan Cu pada akar dan daun di Stasiun 1 lebih besar jika dibandingkan dengan kandungan logam berat pada akar dan daun di Stasiun 2 dan Stasiun 3. Nilai TF suatu logam berat akan berbanding lurus dengan kandungan logam berat yang terdapat dalam akar atau daun mangrove.

Nilai TF di tiga stasiun < 1 , *R. mucronata* mempunyai mekanisme rhizofiltrasi, yaitu kemampuan untuk penyerap, pengendapan dan mengakumulasi polutan (logam berat) untuk menempel pada akar dari lingkungan. Hal ini terjadi karena akar memiliki susunan jaringan

Tabel 6. Hasil Perhitungan Translocation Factor (TF) Pb dan Cu pada Daun , Akar *Rhizophora mucronata*

Stasiun	Konsentrasi Pb		TF	Konsentrasi Cu		TF
	Daun	Akar		Daun	Akar	
Stasiun 1	2,410	3,658	0,65	1,285	1,911	0,67
Stasiun 2	1,783	3,031	0,58	0,661	1,037	0,63
Stasiun 3	1,161	2,277	0,53	0,412	0,787	0,52

silinder pusat (stele) terdapat perisikel dan jaringan pengangkut (xylem dan floem). Jaringan ini memiliki fungsi mengakumulasi polutan (logam berat) pada bagian akar dan menjaganya tetap berada di zona perakaran. Kondisi inilah yang menjelaskan bahwa mangrove jenis *Rhizophora* memiliki fungsi sebagai agen Fitoremediasi. Menurut Nedjimi (2021), rhizofiltrasi adalah mekanisme yang dilakukan tumbuhan untuk mengurangi kandungan logam berat di lingkungan dengan cara penyerapan oleh akar. Hasil penelitian Azizah *et al.* (2021) menunjukkan nilai TF < 1 maka *R. mucronata* mempunyai mekanisme rhizofiltrasi terhadap logam berat Pb dimana akar mampu menyerap, pengendapkan polutan tersebut dari perairan.

KESIMPULAN

Kandungan Pb pada tumbuhan *Rhizophora mucronata* lebih tinggi dibandingkan Cu. Kandungan Pb dan Cu lebih tinggi di akar dibandingkan pada daun. *R. mucronata*. Nilai BCF < 1 artinya tumbuhan ini bersifat excluder terhadap Pb dan Cu. Nilai TF di semua stasiun < 1 artinya tumbuhan ini memiliki mekanisme rhizofiltrasi dan memiliki potensi sebagai fitoremediator. Hasil analisis kandungan logam berat Pb dan Cu masih dibawah baku mutu untuk kehidupan biota diperaian tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Azizah, D., Hamidy, R., Mubarak & Efriyeldi. 2021. Fitoakumulasi Logam Berat Pb dan Cr pada *Rhizophora mucronata* di Sekitar Kawasan Bekas Tambang Bauksit, Pulau Bintan. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 8(2):147-153.

Dewi, P.K., Hastuti E.D., & Budhiastuti, R. 2018. Kemampuan Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) pada Akar Mangrove Jenis *Avicennia marina* (Forsk.) dan *Rhizophora mucronata* (Lamk.) di Lahan Tambak. *Jurnal Akademika Biologi*, 7(4):14-19.

Ernawati, E.H., Suprayitno, & Yanuhar, U. 2018. Kajian Pencemaran Ekosistem Mangrove Jenis *Rhizophora mucronata* di Perairan Desa Kalianyar Bangil Pasuruan Jawa Timur. *Jurnal Ilmu-ilmu Pertanian Agrika*, 12(1):61-72.

Ghabeshi, S.S., Ruiz, X.F., Rodrigues, C.M., Gil, E.P. & Balic, F.C. 2021. Trace Element Levels in Native Plant Species around the Industrial Site of Puchuncavi-Ventanas (Central Chile) : Evaluation of the Phytoremediation Potential. *Applied Science*, 11(713):1-15.

Haryono, M.G., Mulyanto & Kilawati, Y. 2017. Kandungan Logam Berat Pb Air Laut, Sedimen, dan Daging Kerang Hijau Perna viridis. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(1):1-7.

Hunt, A.J., Anderson, C.W.N., Bruce, N., Gracia, A.M., Graedel, T.E., Hodson, M., Meech, J.A., Nassar, N.T., Parker, H.L., Rylott, E.L., Sotiriou, K., Zhang, Q., & Clark, J.H. 2014. Phytoextraction as a Tool for Green Chemistry. *Green Process Synth*, 3:3-22.

MENLH. 2004. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51/MENLH/2004.Tahun 2004 Tentang Penetapan aku Mutu Air Laut Dalam Himpunan Peraturan di Bidang Lingkungan Hidup. Jakarta

Luthansa, U.M., H. S. Titah and H. Pratikno. 2021. The Ability of Mangrove Plant on Lead Phytoremediation at Wonorejo Estuary, Surabaya, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*, 22(6) : 253-268.

Mac Farlane, G.R., Pulkownik & Burchett, M.D. 2007. Accumulation and Distribution of Heavy metals in grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk) Vierf. Biological Indication Potential. *Environmental Pollution*, 123 :139-151

Majanasastra, R.B.S. 2016. Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Hasil Proses Hydroforming pada Material Tembaga (Cu) C84800 dan Aluminium Al 6063. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(2):25-30.

Manikasari, G.K & Mahayani, N.P.D. 2018. Peran Hutan Mangrove sebagai Biofilter dalam

- Pengendalian Polutan Pb dan Cu di Hutan Mangrove Sungai Donan, Cilacap, Jawa Tengah. *Jurnal Nasional Teknologi Terapan*, 2(2):105-117.
- Minarsih, T. 2019. Penetapan Kadar Cadmium (Cd) dan Timbal (Pb) dalam Kerang Hijau (*Perna viridis*) dari Perairan Kota Pekalongan. *Jurnal Surya Muda*, 1(1):1-7.
- Natadisatra G.G., Hasan, Z., Sriati & Lili, W. 2018. Kemampuan Penyerapan Logam Berat Tembaga (Cu) pada Akar *Avicennia marina* di Perairan Karangsong, Kabupaten Indramayu. *Jurnal Perikanan dan Ilmu Kelautan*, 9(2):41-48.
- Nedjimi, B. 2021. Phytoremediation : a Sustainable Environmental Technology for Heavy Metals Decontamination. *SN Applied Science*, 3:1-19.
- Permata, M.A.D., Purwiyanto, A.I.S. & Diansyah, G. 2018. Kandungan Logam Berat Cu (Tembaga) dan Pb (Timbal) pada Air dan Sedimen di Kawasan Industri Teluk Lampung, Provinsi Lampung. *Journal of Tropical Marine Science*, 1(1):7-14.
- Sanadi, T.H., Schadu, 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.
- Salavin, M. 1978. Atomic Absorption Spectroscopy. Second Ed. John Wiley and Sons. New York
- Sasongko, A.S., Cahyadi, F.D., Yonanto, L., Islam, R.S., & Destiyani, N.F. 2020. Kandungan Logam Berat di Perairan Pulau Tunda Kabupaten Serang Provinsi Banten. *Manfish Journal*, 1(1):90-95.
- Supriyantini, E., Nuraini, R.A.T., & Dewi, C.P. 2017. Daya Serap Mangrove *Rhizophora* sp. terhadap Logam Berat Timbal (Pb) di Perairan Mangrove Park, Pekalongan. *Jurnal Kelautan Tropis*, 20(1):16-24.
- Yulianto, B., Oetari, P.S., Februhardi, S., Putranto, T.W.C., & Soegianto, A. 2019. Heavy Metals (Cd, Pb, Cu, Zn) Concentration in Edible Bivalves Harvested from Northern Coast of Central Java, Indonesia. *International Conference on Science and Technology for Environmental Protection*, 259:1-10.