

Potensi Fitoremediasi Mangrove *Rhizophora mucronata* Terhadap Logam Berat Tembaga (Cu) di Kawasan Mangrove Park, Pekalongan

Refinda Juliant Mentari, Nirwani Soenardjo, Bambang Yulianto

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedarto S.H, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia
*Corresponding author, e-mail: drfndmn@gmail.com

ABSTRAK: Pekalongan merupakan kota dengan kegiatan industri tekstil yang cukup besar, terutama industri batik. Banyaknya kegiatan industri menghasilkan limbah yang cukup besar sehingga dapat mencemari lingkungan, salah satunya adalah cemaran logam berat. Tembaga (Cu) adalah logam berat yang umumnya digunakan sebagai pewarna *mordant* dalam pewarnaan tekstil. Fitoremediasi merupakan penggunaan tumbuhan untuk proses dekontaminasi polutan atau masalah pencemaran lingkungan. Mangrove *Rhizophora* sp. sering diteliti sebagai tumbuhan yang dapat mengakumulasi logam berat, sehingga dapat digunakan sebagai fitoremediator. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi *Rhizophora mucronata* sebagai fitoremediator logam berat Cu. Analisis kandungan logam berat dari sampel air, sedimen, daun, akar, dan serasah mangrove dilakukan dengan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*). Hasil penelitian menunjukkan adanya kandungan Cu dalam sampel air, sedimen, daun, akar dan serasah mangrove. Berdasarkan perhitungan Faktor Biokonsentrasi dan Fator Translokasi, mangrove *R. mucronata* merupakan tumbuhan *excluder* yang mempunyai mekanisme rhizofiltrasi.

Kata Kunci: Cu; Fitoremediasi; Logam Berat; *Rhizophora mucronata*

Phytoremediation Potential of Rhizophora mucronata for Copper (Cu) at Mangrove Park, Pekalongan

ABSTRACT: *Pekalongan has quite large industrial activities, for example is the textile industry. Industrial activities produce large amounts of waste that can pollute the environment, for example heavy metals. Copper (Cu) is commonly used as dye mordant in textile dyeing. Phytoremediation is the use of plants for the process of decontamination of pollutants. Mangrove Rhizophora sp. is often studied as a plant that can accumulate heavy metals, so it can be used as a phytoremediator. This research was conducted to determine the potential of R. mucronata as a phytoremediation agent for heavy metals (Cu). Samples of water, sediment, leaves, roots, and mangrove litter were analyzed for heavy metals content using the AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry) method. The results showed that water, sediment, leaves, roots, and mangrove litter contained heavy metals Cu. Based on the calculation of bioconcentration factor and translocation factor, R. mucronata is an excluder plant that has rhizofiltration mechanism.*

Keywords: *Cu; Heavy Metals; Rhizophora mucronata*

PENDAHULUAN

Pekalongan merupakan kota dengan kegiatan industri tekstil yang cukup besar, terutama industri batik. Banyaknya kegiatan industri menghasilkan limbah yang cukup besar sehingga dapat mencemari lingkungan, salah satunya adalah logam berat. Pembuangan limbah mengakibatkan pencemaran logam berat (*heavy metals*) pada badan air dan substrat. *Heavy metals* (logam berat) jika terbawa badan air, pada akhirnya akan masuk ke lingkungan perairan dalam bentuk terlarut atau mengendap pada sedimen. Lewat rantai makanan, logam berat akan mengalami perpindahan dari lingkungan ke dalam tubuh organisme organisme dan antar organisme (Sasongko *et al.*, 2020).

Tembaga (Cu) adalah golongan logam yang mempunyai nomor atom 29 dan massa atom 63,546. Tembaga tergolong ke dalam logam berat esensial. Hal ini karena tembaga diperlukan dalam jumlah sangat sedikit untuk proses fisiologis dalam tubuh organisme, tapi jika ditemukan dalam konsentrasi yang berlebihan akan memberikan efek negatif. Tembaga umumnya digunakan sebagai pewarna *mordant* dalam pewarnaan tekstil. Pewarna *mordant* adalah ion logam polivalen yang mempunyai kemampuan untuk membentuk kompleks koordinasi dengan pewarna tertentu sehingga bisa melekat. Penggunaan *mordant* berfungsi agar warna terikat dan tidak mudah luntur (Azka *et al.*, 2021).

Fitoremediasi merupakan penggunaan tumbuhan untuk proses dekontaminasi polutan atau masalah pencemaran lingkungan. Tumbuhan mangrove mempunyai akar yang kuat dan dapat berfungsi sebagai perangkap sedimen. Mangrove juga mempunyai fungsi ekologis untuk mengabsorpsi logam berat yang ada di lingkungan. Penelitian oleh Luthansa *et al.* (2021), menunjukkan keberadaan ekosistem mangrove mampu mengendalikan polutan Pb (timbal) dan Cu (tembaga). Mangrove *Rhizophora* sp. sering diteliti sebagai tumbuhan yang dapat mengakumulasi logam berat, sehingga dapat digunakan sebagai fitoremediator (Paz-Alberto *et al.*, 2014; Supriyantini *et al.*, 2017; Kumar *et al.*, 2021; Babak *et al.*, 2022).

Di Kota Pekalongan, terdapat Kawasan Wisata Mangrove Park Pekalongan yang dapat berperan sebagai pengendali pencemaran logam berat. Mangrove Park terletak di Kelurahan Kandang Panjang, berbatasan dengan Pantai Krematorium. Mangrove Park letaknya berdekatan dengan pemukiman warga, sehingga kualitas lingkungan sangat dipengaruhi oleh aktivitas manusia. Terdapat berbagai aktivitas manusia di sekitar Mangrove Park yang dapat mempengaruhi tingkat pencemaran logam berat, salah satunya adalah industri batik skala rumah tangga yang menghasilkan limbah cair. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui potensi fitoremediasi mangrove *Rhizophora mucronata* terhadap logam berat tembaga (Cu) di Mangrove Park, Pekalongan.

MATERI DAN METODE

Penelitian dilakukan bulan Januari sampai Februari 2021 dengan mengambil lokasi studi di Mangrove Park, Pekalongan, Jawa Tengah. Proses *sampling* dilakukan pada bulan Januari 2021. Lokasi *sampling* dibagi menjadi tiga stasiun berdasarkan jaraknya dengan pemukiman (sumber agen pencemar). Stasiun 1 yang paling dekat dengan pemukiman dan aktivitas pariwisata, Stasiun 2 adalah bekas tambak, dan Stasiun 3 yang paling dekat dengan pantai (paling jauh dari pemukiman).

Materi dalam penelitian ini diantaranya berupa air, sedimen, akar, daun, dan serasah mangrove *Rhizophora mucronata* serta di Mangrove Park, Pekalongan. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *purposive sampling*. Sampel air diambil sebanyak 500 ml dan ditampung dalam wadah botol. Sampel sedimen diambil menggunakan pipa paralon sebanyak 600 gram dan ditampung dalam wadah botol. Pengambilan akar dan daun mangrove menggunakan alat pemotong (gunting) dari masing-masing stasiun. Daun yang diambil berwarna hijau tua, terletak pada bagian terbawah dari tegakan pohon, dengan jumlah berat 250 gram. Sampel Akar mangrove yang diambil merupakan akar yang terendam pada air dan sedimen, dipotong dengan panjang 10 cm dari ujung akar. Sampel akar diambil seberat 250 gram. Sampel serasah mangrove diambil dengan melalui pemasangan jaring waring dengan ukuran 1 x 1 meter di bawah kanopi pohon mangrove. Selanjutnya, jatuhnya daun mangrove yang menjadi serasah, yang terkumpul pada jaring diambil dalam waktu dua minggu setelah pemasangan jaring waring.

Analisis kandungan logam berat Cu menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Sampel selain air perlu melewati proses destruksi basah sebelum dianalisis menggunakan AAS. Larutan standar Cu dibuat dari larutan stok dengan konsentrasi 1000 mg/L. Dilakukan pengenceran pada larutan stok Cu hingga didapatkan konsentrasi 0,1–10 mg/L. Kurva kalibrasi dapat dibuat dengan cara mengamati serapan pada konsentrasi larutan standar dengan panjang gelombang 324,7 nm (Cu). Hasil destruksi basah diukur absorbansinya. Pengukuran logam berat dilakukan menggunakan metode AAS. Faktor konsentrasi diukur untuk

mengetahui akumulasi logam berat pada sedimen dan dibandingkan dengan konsentrasi logam berat pada kolom air. faktor konsentrasi (CF) dapat dihitung menurut Suryani *et al.* (2018).

Faktor biokonsentrasi diukur dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan *Rhizophora mucronata* dalam menyerap Cu. Nilai BCF digunakan untuk menentukan kemampuan yang dimiliki suatu tumbuhan dalam melakukan akumulasi logam berat dari lingkungan (air dan sedimen). menghitung BCF menurut Rachmawati *et al.* (2018). Jika nilai, $BCF > 1 = Accumulator\ plant$; $BCF = 1 = Indicator\ plant$; $BCF < 1 = Excluder\ plant$

Faktor penting lainnya untuk melihat potensi tumbuhan sebagai fitoremediator adalah nilai *Translocation Factor* (TF). Menurut Manikasari dan Mahayani (2018), dari nilai TF dapat ditentukan kemampuan tumbuhan dalam mentranslokasikan logam dari akar ke bagian lain (tajuk). Nilai TF dapat menunjukkan proses yang dilakukan oleh tumbuhan dalam mengurangi keberadaan logam berat, dapat berupa fitoekstraksi dan fitostabilisasi. Jika nilai, $TF < 1 = Tumbuhan\ dengan\ mekanisme\ rhizofiltrasi$; $TF > 1 = Tumbuhan\ dengan\ mekanisme\ fitoekstraksi$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis Cu dalam lingkungan (air dan sedimen), akar, daun, dan serasah mangrove nilainya bervariasi. Logam berat yang ada di perairan dipengaruhi kondisi parameter lingkungan. Stasiun 1 mengandung Cu yang paling besar. Hasil analisis Cu pada Stasiun 1 dalam air sebesar 0,006 mg/l dan sedimen sebesar 2,910 mg/kg. Hasil penelitian Kusuma *et al.* (2015), menunjukkan bahwa sebaran logam berat paling besar berada pada area pesisir dan jumlahnya akan semakin kecil saat dekat ke arah laut. Akar menjadi bagian yang paling banyak memiliki kandungan Cu. Akar pada Stasiun 1 mengandung Cu sebesar 1,911 mg/kg. Akar pada Stasiun 2 mengandung Cu sebesar 1,037 mg/kg. Akar pada Stasiun 3 mengandung Cu sebesar 0,787 mg/kg. Akar Stasiun 1 mengandung Cu yang paling tinggi jika dibandingkan dengan dua stasiun lainnya. Penyebabnya adalah kandungan logam berat pada air dan sedimen di Stasiun 1 juga tinggi, sehingga logam berat yang terakumulasi semakin besar.

Parameter perairan berpengaruh pada kadar logam berat. Misalnya suhu, pH, dan salinitas. Stasiun 1 mempunyai kisaran suhu yang paling tinggi, yaitu 33,5-34,8°C, diikuti Stasiun 2 sebesar 31-33,2 °C, dan Stasiun 3 sebesar 31,5-32,4 °C. Stasiun 1 yang mempunyai kisaran suhu paling tinggi juga memiliki kandungan Cu yang paling tinggi dalam air. Hasil pengukuran pH menunjukkan Stasiun 1 memiliki kisaran pH yang paling rendah yaitu sebesar 6,23-7,05, Stasiun 2 memiliki kisaran pH sebesar 7,09-7,3 dan Stasiun 3 mempunyai pH yang paling tinggi yaitu sebesar 7-7,5. Stasiun 1 yang mempunyai pH paling rendah Cu yang lebih tinggi dibanding dua stasiun lainnya. Salinitas yang telah diukur pada ketiga stasiun adalah 30-32 ppt. Stasiun 1 yang salinitasnya paling rendah mempunyai nilai Cu yang paling tinggi.

Tabel 1. Kandungan Cu pada Air, Sedimen, Akar, dan Daun

Stasiun	Kandungan Cu			
	Air (mg/kg)	Sedimen (mg/l)	Daun (mg/kg)	Akar (mg/kg)
Stasiun 1	0,006	2,910	1,285	1,911
Stasiun 2	0,005	1,661	0,661	1,037
Stasiun 3	0,002	1,287	0,412	0,787

Tabel 2. Hasil Pengukuran Parameter Perairan

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

Hasil perhitungan CF Cu berkisar antara 332,20-643,50 (Tabel 3). Suryani *et al.* (2018), menyatakan nilai CF menunjukkan bahwa logam berat yang terdapat pada kolom air memberikan kontribusi atas meningkatnya konsentrasi logam berat pada sedimen. Hal ini menunjukkan peranan sedimen sebagai *reservoir* bagi polutan (agen pencemar) di lingkungan. Logam berat yang awalnya mengalami proses pengenceran dalam air diabsorpsi oleh partikel halus dan mengalami proses sedimentasi.

Faktor biokonsentrasi (BCF) merupakan konsentrasi senyawa yang ada di dalam organisme dibagi dengan konsentrasi senyawa yang ada di dalam lingkungan (air atau sedimen). Hasil perhitungan BCF Cu menunjukkan bahwa nilai BCF pada akar lebih besar daripada nilai BCF pada daun (Tabel 4). 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.

Nilai BCF logam berat pada bagian akar lebih besar pada 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. Penelitian oleh 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 Cu karena memiliki nilai BCF < 1. *Excluder* adalah sifat dimana tumbuhan dapat mencegah logam berat masuk bagian atas tumbuhan, namun konsentrasinya di bagian perakaran 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 (Loste *et al.*, 2020; Silvestri *et al.*, 2021)

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 Cu yang terbesar terdapat pada Stasiun 1 yaitu 0,67, selanjutnya pada Stasiun 2 sebesar 0,63, dan pada Stasiun 3 sebesar 0,52. Penyebabnya adalah kandungan Cu pada akar dan daun di Stasiun 1 yang lebih besar jika dibandingkan dengan kandungan logam berat pada akar dan daun di Stasiun 2 dan Stasiun 3.

Nilai TF pada ketiga stasiun < 1, maka dapat disimpulkan bahwa *Rhizophora mucronata* mempunyai mekanisme rhizofiltrasi. Hal ini membuktikan *Rhizophora mucronata* mengakumulasi polutan (logam berat) pada bagian akar dan menjaganya tetap berada di zona perakaran. Menurut Rachmawati *et al.* (2018), mekanisme fitostabilisasi cara kerjanya adalah mengubah kondisi lingkungan dengan kemampuan penyerapan pada bagian perakaran. Tumbuhan dapat

Tabel 3. Hasil Perhitungan CF Cu

Stasiun	CF Cu
Stasiun 1	485,00
Stasiun 2	332,20
Stasiun 3	643,50
Rata-rata	486,90

Tabel 4. Hasil Perhitungan BCF Cu

Stasiun	BCF Cu	
	Akar	Daun
Stasiun 1	0,65	0,44
Stasiun 2	0,62	0,39
Stasiun 3	0,61	0,32

menghentikan pergerakan logam yang diakumulasi pada bagian akar, lalu diendapkan ke dalam zona akar. Menurut Nedjimi (2021), rhizofiltrasi adalah mekanisme yang dilakukan tumbuhan untuk mengurangi kandungan logam berat di lingkungan dengan cara penyerapan oleh akar.

KESIMPULAN

Stasiun 1 memiliki kandungan Cu yang paling tinggi. Kandungan Cu pada akar *Rhizophora mucronata* lebih besar daripada Cu pada daun. CF Cu berkisar antara 332,20-643,50. *R. mucronata* di Mangrove Park Pekalongan merupakan tanaman yang bersifat *excluder* terhadap Cu karena memiliki nilai BCF < 1. Nilai TF pada ketiga stasiun < 1, maka dapat disimpulkan bahwa *R. mucronata* mempunyai mekanisme rhizofiltrasi. *R. mucronata* mempunyai potensi sebagai fitoremediasi dengan mekanisme rhizofiltrasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Azka, E.N., Mandasari, A.A. & Santoso, S.D. 2021. Perbandingan Pewarna Alami dari Ekstrak Bunga Telang (*Clitoria ternatea* L) sebagai Pengganti *Methylen Blue* pada Pengecatan *Diff Quik*. *Procedia of Engineering and Life Science*, 1(2):1-5. DOI: 10.21070/pels.v1i2.990
- Babak, B.A., Kiani, S.M., Lorestani, B., Cheraghi, M. & Sobhan A.S. 2022. Phytoremediation of Heavy Metals Nickel, Cadmium and Lead in the Coasts of the Persian Gulf Using Mangrove (*Avicennia marina*). *Environment and Water Engineering*, 8(1):74-86.
- 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 Processing and Synthesis*, 3:3-22. DOI: 10.1515/gps-2013-0103
- Kumar, M., Mohapatra, S., Karim, A.A. & Dhal, N.K., 2021. Heavy metal fractions in rhizosphere sediment vis-à-vis accumulation in Phoenix paludosa (Roxb.) mangrove plants at Dhamra Estuary of India: assessing phytoremediation potential. *Chemistry and Ecology*, 37(1):1-14. SOI: 10.1080/02757540.2020.1836165
- Kusuma, A.H., Prartono, T., Atmadipoetra, A.S. & Arifin, T. 2015. Sebaran Logam Berat Terlarut dan Terendapkan di Perairan Teluk Jakarta pada Bulan September 2014. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 6(1):41-49. DOI: 10.24319/jtpk.6.41-49
- Loste, N., Roldán, E. & Giner, B. 2020. Is Green Chemistry a feasible tool for the implementation of a circular economy?. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(6):6215-6227. DOI: 10.1007/s11356-019-07177-5
- Luthansa, U.M., Titah, H.S. & Pratikno, H. 2021. The Ability of Mangrove Plant on Lead Phytoremediation at Wonorejo Estuary, Surabaya, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*, 22(6):253-268. DOI: 10.12911/22998993/137675
- 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. DOI: 10.22146/jntt.42721
- Nedjimi, B. 2021. Phytoremediation: a Sustainable Environmental Technology for Heavy Metals Decontamination. *SN Applied Science*, 3:1-19. DOI: 10.1007/s42452-021-04301-4
- Paz-Alberto, A.M., Celestino, A.B. & Sigua, G.C., 2014. Phytoremediation of Pb in the sediment of a mangrove ecosystem. *Journal of soils and sediments*, 14(1):251-258. DOI: 10.1007/s11368-013-0752-9
- Rachmawati R., Yona, D. & Kasitowati, R.D. 2018. Potensi Mangrove *Avicennia alba* sebagai Agen Fitoremediasi Timbal dan Tembaga di Perairan Wonorejo, Surabaya. *Jurnal Ilmu-ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 7(3):227-236. DOI: 10.13170/depik.7.3.10555
- 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.

- Silvestri, C., Silvestri, L., Forcina, A., Di Bona, G. & Falcone, D. 2021. Green chemistry contribution towards more equitable global sustainability and greater circular economy: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 294:p.126137. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126137
- 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. DOI: 10.14710/jkt.v20i1.1349
- Suryani, A., Nirmala, K. & Djokosetyanto, D. 2018. Akumulasi Logam Berat (Timbal dan Tembaga) pada Air, Sedimen, dan Ikan Bandeng di Pertambakan Ikan Bandeng Dukuh Tapak, Kelurahan Tugurejo, Kota Semarang. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 8(3):271-278. DOI: 10.29244/jpsl.8.3.271-278