

Kemampuan *Avicennia alba* untuk Menurunkan Konsentrasi Tembaga (Cu) di Muara Sungai Wonorejo, Surabaya

Bintang Respati Dwi Harnani dan Harmin Sulistiyaning Titah

Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: harmin_st@its.ac.id

Abstrak—Peningkatan jumlah industri dan pertumbuhan penduduk menjadi sumber pencemar utama di wilayah muara sungai. Muara sungai merupakan tempat penampungan limbah terakhir sebelum menuju laut lepas. Sungai Wonorejo merupakan satu dari tujuh sungai yang bermuara ke Pantai Timur Surabaya yang berpotensi mengandung banyak logam berat. Pada penelitian ini diukur konsentrasi Cu yang terdapat pada sedimen dan akar mangrove *Avicennia alba* di muara Sungai Wonorejo. Selanjutnya akan dihitung nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) dari mangrove *A. alba* yang ada di muara sungai Wonorejo. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode transek untuk menentukan titik pengambilan sampel akar mangrove *A. alba* dan sedimennya. Akar mangrove dan sedimen diekstrak menggunakan metode destruksi basah dengan Aqua Regia. Sampel yang didapatkan kemudian dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrofotometer* (AAS). Parameter pendukung yang diukur meliputi suhu menggunakan termometer, salinitas menggunakan salinometer dan pH menggunakan pH meter untuk tanah. Konsentrasi rata-rata Cu yang ada di sedimen muara Sungai Wonorejo pada sedimen disekitar *A. alba* yaitu 24,85 mg/kg, Konsentrasi Cu pada mangrove *A. alba* sebesar 51,5 mg/kg Nilai BCF pada *A. alba* adalah 1, 13- 2, 89. Hal ini menunjukkan bahwa *A. alba* merupakan tumbuhan hiperakumulator logam berat Cu.

Kata Kunci—*A. alba*, Cu, Mangrove, Muara, Wonorejo.

I. PENDAHULUAN

PENCEMARAN laut dapat dibedakan menjadi pencemaran daerah pantai, estuaria dan lepas pantai. Pencemaran pantai dapat disebabkan karena limbah industri, sampah, sedimentasi dan kegiatan pertanian [1]. Sungai Wonorejo merupakan sungai yang bermuara di Pantai Timur Surabaya. Sungai Wonorejo merupakan terusan dari Kali Jagir yang dalam alirannya membawa limbah industri.

Daerah Pantai Timur Surabaya mempunyai ekosistem hutan mangrove yang tergolong rapat. Daerah ini mempunyai kadar salinitas yang tinggi dan berada pada ketinggian 0-3 m diatas permukaan air laut [2]. Kandungan Cu yang terukur pada muara Sungai Wonorejo pada tahun 2009 sekitar 3,186 mg/L.

Muara sungai Wonorejo memiliki ketebalan hutan mangrove sekitar 10 – 20 meter [3]. Kawasan muara sungai Wonorejo memiliki jenis mangrove yang beragam. Jenis mangrove yang ada di sekitar Sungai Wonorejo antara lain jenis *Avicennia marina*, *Avicennia alba*, *Excoecaria agalocha*,

Avicennia officinalis [4]. Mangrove memiliki toleransi yang tinggi terhadap logam berat. Akumulasi logam berat terjadi pada bagian akar, batang dan daun mangrove [5].

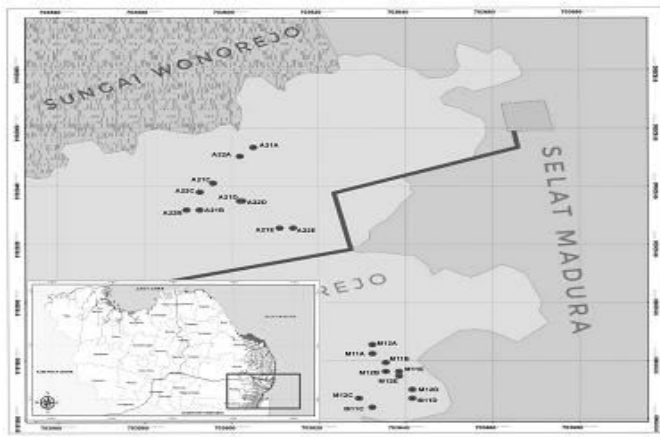
Remediasi logam berat menggunakan tumbuhan merupakan salah satu solusi dengan biaya yang murah, dan hemat tenaga tetapi membutuhkan waktu yang lama [6]. Muara sungai Wonorejo merupakan tempat yang berbatasan dengan laut sehingga mempunyai tingkat salinitas yang relative tinggi sehingga diperlukan tumbuhan yang cocok untuk proses remediasi. Mangrove cocok diterapkan di wilayah tersebut karena dapat hidup di wilayah salinitas tinggi dan merupakan tumbuhan yang paling dominan tumbuh di sekitar muara sungai [7].

Pada penelitian ini akan diukur berapa kandungan Cu yang terdapat sedimen muara Sungai Wonorejo dan bagian akar mangrove *A. alba* yang ada di sekitar muara Sungai Wonorejo. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar mangrove dapat mengakumulasi logam berat Cu. Pemilihan jenis mangrove berdasarkan jumlah populasi dominan yang ada di sekitar muara sungai Wonorejo.

II. METODE PENELITIAN

A. Persiapan Sampling

Langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah melakukan survey lapangan untuk menentukan tempat pengambilan sampling. Setelah tempat pengambilan sampling ditetapkan dilakukan pemilihan jenis mangrove jenis *A. alba* yang akan diambil sampel akar. *Plotting* dilakukan untuk menentukan titik pengambilan sampel yang diambil nantinya. Titik pengambilan sampel dipilih berdasarkan persebaran mangrove *A. alba* yang ada di muara Sungai Wonorejo. Sampel pohon mangrove yang dipilih harus memiliki diameter lebih dari 5 cm hal ini berkaitan dengan umur mangrove dan kemampuan mangrove dalam menyerap logam berat. Mangrove yang memiliki diameter di atas 5 cm memiliki sistem perakaran yang kuat. Sistem perakaran yang kuat dapat menunjang kemampuan penyerapan logam berat [8]. Hal lain yang diperhatikan dalam *plotting* yaitu tentang titik pengambilan sampel harus selalu terkena pasang surut air laut. *Plotting* dilakukan dengan pada tanggal 2 Maret 2017 pukul 13.00 WIB saat air laut surut. Pada saat *plotting* dilakukan juga identifikasi mangrove.



Gambar 1. Persebaran Titik sampling.

Identifikasi mangrove meliputi bentuk warna daun, batang, dan bunga jika ada. Peta pengambilan titik sampling dapat dilihat pada Gambar 1. Mangrove *A. alba* terletak dibagian atas pada peta dengan simbol A21A-A22E. Pada muara Sungai Wonorejo letak *A. alba* berbatasan langsung dengan Selat Madura. *A. alba* merupakan salah satu mangrove pionir yang berfungsi untuk memecah gelombang laut dan melindungi mangrove-mangrove yang ada dibelakangnya.

Tabel 1. Katagori Nilai BCF [9][10]

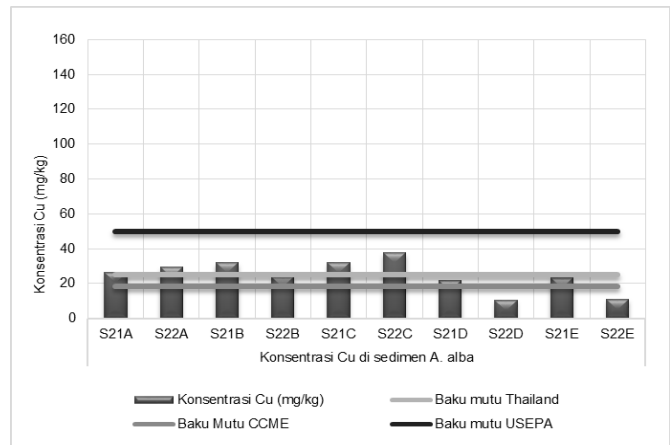
| Katagori | Rentang |
|---------------------------|------------|
| Tanaman akumulator tinggi | 1-10 |
| Tanaman akumulator sedang | 0,1 – 1 |
| Tanaman akumulator rendah | 0,01 – 0,1 |
| Tanaman bukan akumulator | < 0,01 |

A. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan dengan mencatat titik koordinat mangrove menggunakan GPS. GPS yang digunakan dalam percobaan ini adalah tipe Garmin GPSmap 765Sx. Sampel yang diambil berjumlah 20 yang terdiri dari 10 sampel sedimen disekitar *A. alba* dan 10 sampel akar *A. alba*.

Pengambilan sampel sedimen dilakukan secara random sampling dengan kedalaman 0-30 cm menggunakan bor dan berjarak sekitar 30 cm dari pohon mangrove yang diambil sampel akarnya. Kandungan Cu pada sedimen semakin dalam akan semakin tinggi, terutama pada kedalaman 25 cm [11]. Sedimen yang dibawa aliran sungai semakin lama semakin banyak dan mengendap di muara sungai hal ini dikarenakan proses sedimentasi. Sampel sedimen dimasukkan ke dalam plastik kemudian diberi label dan disimpan dalam coolbox untuk dibawa ke laboratorium. Pada saat pengambilan sampel sedimen dilakukan pengukuran suhu sedimen yang diambil menggunakan thermometer dan pH sedimen menggunakan soil meter

Sampel sedimen maupun akar amangrove *A. alba* yang sudah diambil kemudian dilakukan proses destruksi. Proses destruksi menggunakan metode destruksi basah dengan larutan Aqua Regia. Aqua regia merupakan percampuran HCl dan HNO₃ dengan perbandingan 1:3. Sampel dikeringkan didalam oven selama 24 jam kemudian diambil 1 gram untuk ditambahkan 28 ml aqua regia. Sampel didiamkan selama 24 jam setelah itu dipanaskan dengan kompor listrik hingga



Gambar 2. Konsentrasi Cu Sedimen.

volume sampel sekitar 5 ml. Setelah itu ditambahkan 20 ml aquades dan disaring dengan kertas saring. Hasil saringan diencerkan sampai 50 ml kemudian sampel siap diukur dengan AAS [12].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

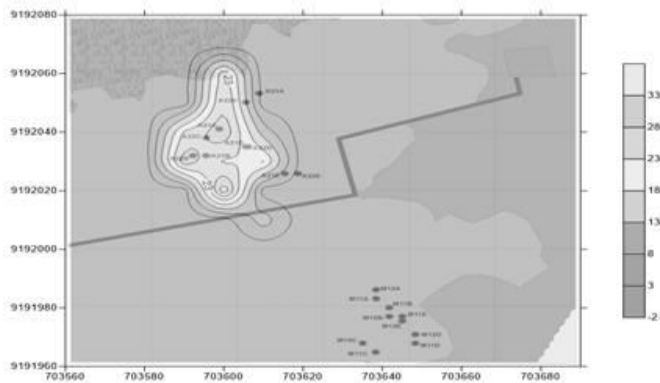
A. Konsentrasi Cu di Sedimen

Rata-rata konsentrasi Cu di sedimen sekitar *A. alba* sebesar 44,8 mg/kg. Indonesia belum memiliki baku mutu untuk sedimen kawasan pesisir. Pada Gambar 2 konsentrasi Cu di sedimen sangat berfluktuatif. Di sekitar *A. alba* lebih sering terjadi turbulensi arus air laut. Kawasan *A. alba* merupakan tempat bertemunya air tawar dari sungai dan air laut yang mengakibatkan pengendapan logam berat sulit terjadi. Konsentrasi logam berat di wilayah tersebut akan cenderung berubah-ubah. Indonesia hanya memiliki baku mutu tentang air laut yang tertulis dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 tahun 2004 yang dibagi menjadi 3 katagori yaitu untuk kawasan pelabuhan, wisata bahari dan biota laut. Oleh karena itu, pada penelitian ini baku mutu yang digunakan mengacu pada berbagai negara yang sudah mempunyai baku mutu sedimen kawasan pesisir, diantaranya yaitu *Canadian council of Ministers for Environment (CCME)* dari Kanada, *Pollution Control Department of Thailand*, dan USA.

Baku mutu untuk CCME ditetapkan sebesar 18,7 mg/kg, baku mutu dari Thailand untuk sedimen yaitu 25 mg/kg dan dari USEPA digunakan 50 mg/kg untuk sedimen tercemar berat.

Tingginya konsentrasi Cu yang ada di sedimen muara Sungai Wonorejo berasal dari polutan logam berat yang terbawa oleh aliran sungai. Sumber polutan yang terbanyak adalah limbah domestik dan industri yang terdapat di sepanjang aliran Sungai Wonorejo. Disamping itu, limbah dari pertanian yang mengandung insektisida, cat kapal dan juga aktifitas pengisian bahan bakar dari kapal nelayan menambah polutan yang ada di muara sungai [13].

Distribusi logam berat Cu pada sedimen juga dipengaruhi oleh tekstur sedimen. Sedimen di muara pantai Timur Surabaya didominasi oleh stuktur tanah liat [2]. Sedimen yang didominasi oleh tanah liat mengandung kontaminan logam berat yang lebih tinggi daripada sedimen jenis pasir [14].



Gambar 3. Persebaran Konsentrasi Cu di Sedimen.

Tanah liat dapat mengikat logam berat Cu lebih baik dibandingkan tanah jenis pasir atau lumpur.

Hasil penelitian kemudian diplotkan dalam sebuah aplikasi untuk melihat persebaran Cu di sedimen sekitar *A. alba*. Dari hasil penelitian didapatkan semakin mendekati muara sungai konsentrasi Cu disedimen semakin kecil hal ini terjadi karena arus pertemuan antara sungai dan laut cukup besar yang menjadikan Cu sulit mengendap

A. Konsentrasi Cu di Akar *A. alba*

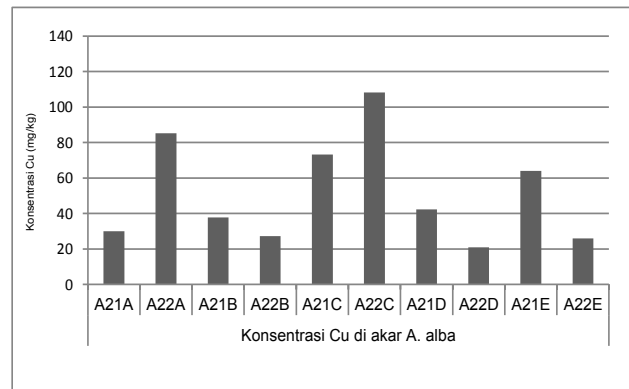
Konsentrasi rata-rata Cu yang terakumulasi di dalam akar *A. alba* sebesar 51,5 mg/kg. Setiap jenis mangrove mempunyai kemampuan yang berbeda-beda dalam menyerap logam berat. Perbedaan konsentrasi logam berat yang ada pada mangrove berkaitan dengan proses fisiologis mangrove tersebut. Logam berat Cu dapat diserap oleh mangrove melalui mekanisme absorpsi dan dengan translokasi. Cu yang masuk ke akar akan disimpan di vakuola dan ditranslokasikan ke jaringan lainnya seperti batang dan daun mangrove [15].

Perbedaan penyerapan setiap mangrove dalam mengakumulasi logam berat berbeda. Faktor yang dapat mempengaruhi mangrove menyerap logam berat antara lain jenis spesiesnya, tingkat pertumbuhannya, faktor non biologi seperti suhu, salinitas, pH, umur tanaman dan musim [16]. Pada musim penghujan konsentrasi Cu pada sedimen akan semakin rendah jika dibandingkan pada musim kemarau. Pada musim kemarau pH sedimen semakin asam yang menyebabkan kelarutan Cu semakin bertambah [17].

Penyerapan logam berat yang dilakukan oleh tumbuhan mangrove dapat melalui sedimen dan kolom air [18]. Logam berat tembaga (Cu) yang diserap tumbuhan harus dalam bentuk ion atau Cu^{2+} . Akar mangrove yang menyerap logam berat akan mendistribusikan kebagian jaringan-jaringan yang lain seperti batang daun, dan buahnya.

Mekanisme akar dalam menyerap logam berat bisa dibagi menjadi 3 bagian:

1. Akar dapat menyerap logam berat jika logam berat dalam bentuk ion terlarut dalam hal ini Cu^{2+} .
2. Logam berat Cu yang sudah terabsorpsi kemudian ditranslokasikan ke jaringan tumbuhan yang lain. Setelah logam berat menembus endodermis akar, kemudian diedarkan kebagian lain tumbuhan melalui jaringan transportasi (xylem dan floem).



Gambar 4. Konsentrasi Cu pada akar Mangrove *A. alba*.

3. Logam berat yang sudah masuk dalam mangrove kemudian ditempatkan di beberapa sel dan jaringan. Bagian mangrove yang mengakumulasi logam berat terbanyak adalah akar. Hal ini dikarenakan logam berat yang berlebihan bisa mengganggu metabolisme mangrove itu sendiri [19].

B. Parameter pH, Salinitas, dan Suhu

Kondisi derajat keasaman (pH) sedimen disekitar *A. alba* cukup berfluktuatif. Nilai pH sedimen sekitar *A. alba* berkisar 6. Baku mutu yang mengatur tentang pH sedimen di Indonesia belum ada. pH sedimen yang berkisar 6-7 masih tergolong normal [20]. Kelarutan Cu akan meningkat tajam jika pH turun drastis yaitu sekitar 5 [21].

Tinggi rendahnya pH sedimen dapat mempengaruhi kelarutan logam berat. Semakin rendah pH akan meningkatkan kelarutan logam berat dan meningkatkan penyerapan logam berat oleh mangrove [7].

Nilai salinitas di sekitar *A. alba* adalah 1-2 ppt. Penurunan salinitas di sekitar *A. alba* dikarena letak *A. alba* yang dekat dengan muara sungai sehingga air tawar dari sungai menurunkan salinitas di sekitar *A. alba*. Hal yang dapat berpengaruh terhadap perbedaan salinitas adalah penguapan dan curah hujan [22]. Mangrove jenis *Avicennia* dapat hidup pada kadar salinitas sampai dengan 30 ppt [23]. Kadar salinitas yang terukur masih memenuhi rentang hidup mangrove. Salinitas untuk rentang hidup mangrove adalah sampai dengan 34 ppt [24]. Selain itu, nilai salinitas juga berpengaruh terhadap logam berat Cu yang ada.

Salinitas di lingkungan perairan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pola sirkulasi air, penguapan, curah hujan dan aliran sungai. Pada perairan yang dekat dengan muara sungai salinitas sangat dipengaruhi oleh adanya air laut dan air tawar [25].

Pada pengukuran suhu yang dilakukan terhadap sedimen didapatkan hasil suhu pada sedimen di sekitar mangrove jenis *A. alba* berkisar 28-31⁰C. Parameter suhu juga dihubungkan dengan konsentrasi logam berat Cu yang ada di sedimen. Peningkatan suhu perairan cenderung meningkatkan akumulasi dan toksisitas Cu, hal dikarenakan meningkatnya laju metabolisme dari organisme air [22].

Tabel 2.
Uji Parameter

| Mangrove | Sampel | pH | Suhu | Salinitas |
|----------|--------|-----|------|-----------|
| A. alba | S21A | 6.4 | 29 | 1.9 |
| | S22A | 6.6 | 29 | 2.25 |
| | S21B | 6.8 | 28.5 | 2.56 |
| | S22B | 6.8 | 29 | 2.5 |
| | S21C | 6.4 | 29 | 3.31 |
| | S22C | 6.8 | 30 | 3.63 |
| | S21D | 6.4 | 29 | 2.51 |
| | S22D | 6.8 | 29 | 2.46 |
| | S21E | 6.8 | 28.5 | 2.91 |
| | S22E | 6.8 | 29 | 2.7 |

Tabel 3.
Nilai BCF

| No | Nama mangrove | Simbol | Sedimen (mg/kg) | Akar (mg/kg) | BCF |
|----|---------------|--------|-----------------|--------------|------|
| 1 | A. alba | A21A | 26.5 | 30 | 1.13 |
| 2 | | A22A | 29.5 | 85.25 | 2.89 |
| 3 | | A21B | 32 | 37.75 | 1.18 |
| 4 | | A22B | 24 | 27.25 | 1.14 |
| 5 | | A21C | 32 | 73.25 | 2.29 |
| 6 | | A22C | 37.5 | 108.25 | 2.89 |
| 7 | | A21D | 22 | 42.25 | 1.92 |
| 8 | | A22D | 10.5 | 21 | 2.00 |
| 9 | | A21E | 23.5 | 64 | 2.72 |
| 10 | | A22E | 11 | 26 | 2.36 |

A. Biokonsentrasi Faktor

Nilai BCF merupakan ratio kandungan konsentrasi logam berat yang terdapat didalam akar atau daun dengan medianya. Biokonsentrasi faktor diukur untuk mengetahui kemampuan mangrove dalam mengabsorpsi logam berat yang ada di sedimen. Nilai BCF mangrove A. alba adalah 1,13 – 2,89. Dari hasil tersebut nilai BCF dari A. alba rata-rata lebih besar dari 1 (>1). Sehingga dapat disimpulkan bahwa A. alba merupakan tumbuhan yang mempunyai efisiensi tinggi sebagai tumbuhan hiperakumulator logam berat Cu [26]. Besar kecilnya nilai BCF dipengaruhi oleh beberapa hal seperti jenis logam berat, organisme yang ada, lama pemaparan dan kondisi perairan [10].

Nilai BCF yang besar juga menunjukkan bahwa akumulasi logam berat Cu relatif besar dari sedimen ke akar mangrove. Konsentrasi nilai Cu di sedimen dipengaruhi oleh suhu salinitas, pH dan masukan limbah dari berbagai sumber seperti industri dan limbah domestik.

Penelitian ini membuktikan bahwa rata-rata kandungan akar yang ada pada mangrove A. alba lebih besar dari kandungan sedimen yang berada di sekitarnya. konsentrasi logam berat pada jaringan tumbuhan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi sedimen [27].

IV. KESIMPULAN

Konsentrasi sedimen rata-rata logam berat Cu yang terdapat di muara Sungai Wonorejo pada sedimen di sekitar A. alba yaitu 24,85 mg/kg Untuk kandungan konsentrasi Cu pada akar A. alba di muara Sungai Wonorejo sekitar 51,5 mg/kg.

Nilai Bioconsentrasi Factor (BCF) dari mangrove A. alba rata-rata mempunyai nilai sebesar 1,13 – 2,89 Nilai BCF menunjukkan kedua mangrove merupakan tumbuhan hiperakumulator terhadap logam berat karena nilai BCF melebihi 1 sehingga mangrove A. alba termasuk tumbuhan hiperakumulator.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Taftazani, "Distribusi Konsentrasi Logam Berat Hg Dan Cr Pada Sampel Lingkungan Perairan Surabaya," in *Prosiding PPI – PDIPTN2*, 2007.
 [2] Arisandi, "Mangrove Jenis Api-api (Avicennia marina) Alternatif Pengendalian Logam Berat Pesisir," 2001.

[3] H. Adiwijaya, "Kondisi Mangrove Pantai Timur Surabaya dan Dampaknya Terhadap Lingkungan Hidup," *J. Ilm. Tek. Lingkung.*, 2008.
 [4] Badan Lingkungan Hidup Koata Surabaya, "Laporan Pengendalian Kawasan Pesisir dan Laut Tahun 2012," Surabaya, 2012.
 [5] G. R. MacFarlane and M. D. Burchett, "Photosynthetic Pigments and Peroxidase Activity as Indicators of Heavy Metal Stress in the Gray Mangrove, Avicennia marina (Forsk) Vierh," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 42, no. 3, pp. 233–240, 2001.
 [6] L. Q. Ma, K. M. Komar, C. Tu, and W. A Zang, "A fern that Hyperaccumulator arsenic," *Nature*, p. 409:579, 2001.
 [7] M. F. Y. Tam and Y. S. Wong, "Accumulation and Distribution of Heavy Metal in a Simulated Mangrove System Tread with Sawege," in *Asia Pasifik Conference on Science and Managemant of Coastal Environment*, 1997.
 [8] W. J. Zheng, X. Y. Chen, and P. Lin, "Accumulation and biological cycling of heavy metal elements in Rhizophora stylosa mangroves in Yingluo Bay, China," *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, vol. 159, pp. 293–301, 1997.
 [9] C. L. Bini, L. Gentili, B. Maleci, and O. Vaselli, "Trace elements in plant and soils of urban parks," *Annex. tocontaminated soil prost*, 1995.
 [10] H. S. Titah *et al.*, "Screening and Identification of Plants at a Petroleum Contaminated Site in Malaysia For Phytoremediation," *J. Environ. Sci. Manag.*, vol. 19, no. 1, pp. 27–36, 2014.
 [11] A. R. A. Usman and H. M Mohamed, "Effect of microbial inoculation and EDTA on uptake and translocation of heavy metals by corn and sunflower," *Chemosphere*, vol. 76, pp. 893–899, 2009.
 [12] B. W. Tukura, N. L. Usman, and H. B. Mohammed, "Aqua Regia and Ethyldiaminetetracetic Acid (EDTA) Trace Metal Levels in Agricultural Soil," *J. Environ. Chem. Ecotoxicol.*, vol. 5, no. 11, pp. 284–291, 2013.
 [13] E. C. Peters, N. J. Gassman, J. C. Firman, R. H. Richmond, and E. A. Power, "Ecotoxicology of tropical marine ecosystems," *Env. Toxicol Chem*, vol. 16, pp. 12–40, 1997.
 [14] M. F. Y. Tam and Y. S. Wong, "Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps," *Environ. Pollut.*, vol. 110, pp. 192–205, 2000.
 [15] A. J. Baker and P. I. Walker, *Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants*. In: Shaw, A.J. (Ed.), *Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects*. Florida: CRC Press, 1990.
 [16] C. A. N. D'mello and G. N. Nayak, "Assessment of metal enrichment and their bioavaibility in sediment and bioaccumulation by mangrove plant pneumatophores in a tropical (Zauri), estuary, west coast of India," *Mar. Polution Bull.*, vol. 110, pp. 221–230, 2016.
 [17] S. Pakzadtoochaei and F. Einollahipeer, "Monsoon effects on Variation of heavy metals in Gwatr mangrove forests of Iran," *Int. Res. J. Appl. Basic Sci.*, vol. 4, no. 7, pp. 1946–1952, 2013.
 [18] B. Amin, E. Afriyani, and M. A. Saputra, "Distribusi Spasial Logam Pb dan Cu pada Sedimen dan Air Laut Permukaan di Perairan Tanjung Buton Kabupaten Siak Propinsi Riau," *J. Teknol.*, vol. II, pp. 1–8, 2011.

- [19] N. T. M. Martuti, W. Budi, and Y. Bambang, "Copper Accumulation on *Avicennia Marina* in Tapak, Tugurejo," *Waste Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 40–45, 2016.
- [20] M. S. Li, Y. P. Luo, and Z. Y. Su, "Heavy metal concentrations in soils and plant accumulation in a restored manganese mineland in Guangxi, South China," *Env. Pollutan.*, vol. 147, pp. 168–175, 2007.
- [21] R. A. Wuana and F. E. Okieimen, "Heavy Metal in Contaminated Soil: A Review of Sources, Chemistry, Risk and Best Available Strategies for Remediation," *Int. Sch. Res. Netwok*, vol. 20, 2011.
- [22] A. Nontji, *Laut Nusantara*. Jakarta: Djambatan, 2007.
- [23] D. M. Alongi, "Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change," *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, vol. 76, pp. 1–13, 2008.
- [24] Menteri Lingkungan Hidup, "Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51," 2004.
- [25] H. P. Hutagalung and Sutomo, "Kandungan Pb, Cd, Cu, Zn dalam Air, Sedimen dan Kerang Darahdi Periran Teluk Banten, Jawa Barat," Jakarta, 1996.
- [26] H. Setiawan and E. Subiandono, "Konsentrasi Logam Berat pada Air dan Sedimen di Perairan Pesisir Propinsi Sulawesi Selatan," *For. Rehabil. J.*, vol. 3, no. 1, 2015.
- [27] R. J. Krupadam, R. Ahuja, and S. R. Wate, "Heavy metal binding fractions in the sediments of the Godavari estuary, East Coast of India," *Env. Model Assess.*, vol. 12, pp. 145–155, 2007.