

Potensi *Rhizophora mucronata* sebagai Bioindikator Pencemaran Kadmium dan Besi di Pelabuhan Lembar, Lombok Barat

Potential of *Rhizophora mucronata* as a Bioindicator of Cadmium and Ferrum Pollution in Lembar Port, West Lombok

Niechi Valentino^{1*}

¹(Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian Universitas Mataram, Mataram, Indonesia.

*corresponding author, email: niechivalentino@gmail.com / niechivalentino43@unram.ac.id

ABSTRAK

Pencemaran logam berat di ekosistem pesisir telah menjadi persoalan multidimensional yang tidak hanya mengancam keberlanjutan ekologis, tetapi kesehatan masyarakat pesisir. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui konsentrasi dan kemampuan akumulasi logam Kadmium dan Besi oleh *Rhizophora mucronata* di Pelabuhan Lembar, Lombok Barat. Metode yang digunakan adalah *systematic sampling with random start* sebanyak 24 plot pada tiga stasiun. Sampel berupa akar dan daun diuji kandungan logamnya di Laboratorium BRMP. Hasil menunjukkan konsentrasi tertinggi logam berada di akar, yaitu 590,93 ppm (Fe) dan 9,76 ppm (Cd), sedangkan pada daun sebesar 43,89 ppm (Fe) dan 2,08 ppm (Cd). Kandungan logam ini telah melebihi ambang batas baku mutu. Nilai faktor translokasi (TF) menunjukkan bahwa *R. mucronata* bersifat fitoekstraktor terhadap Cd (TF > 4) dan bersifat fitostabilisator terhadap Fe (TF < 1). Kerapatan pohon *R. mucronata* berhubungan signifikan dengan konsentrasi Fe ($p < 0,05$) dengan kontribusi sebesar 80,3% ($R^2 = 0,803$), tetapi tidak signifikan terhadap Cd ($p > 0,05$; $R^2 = 13,1\%$). Parameter lingkungan tidak menunjukkan hubungan signifikan terhadap konsentrasi logam, meskipun memberikan sedikit pengaruh terhadap akumulasi Cd dan Fe.

Kata kunci: kadmium; besi; *rhizophora_mucronata*; fitoekstraktor; fitostabilisator

ABSTRACT

Heavy metal pollution in coastal ecosystems has become a multidimensional problem that not only threatens ecological sustainability, but also the health of coastal communities. The purpose of this study was to determine the concentration and accumulation capacity of Cadmium and Iron metals by *Rhizophora mucronata* in Lembar Port, West Lombok. The method used was *systematic sampling with random start* of 24 plots at three stations. Samples in the form of roots and leaves were tested for metal content at the BRMP Laboratory. The results showed that the highest concentration of metals was in the roots, which were 590.93 ppm (Fe) and 9.76 ppm (Cd), while in the leaves it was 43.89 ppm (Fe) and 2.08 ppm (Cd). This metal content has exceeded the standard quality threshold. The translocation factor (TF) value shows that *R. mucronata* is a phytoextractor for Cd (TF > 4) and a phytostabilizer for Fe (TF < 1). The density of *R. mucronata* trees was significantly related to Fe concentration ($p < 0.05$) with a contribution of 80.3% ($R^2 = 0.803$), but not significant to Cd ($p > 0.05$; $R^2 = 13.1\%$). Environmental parameters did not show a significant relationship to metal concentrations, although they had a slight effect on Cd and Fe accumulation.

Keywords: cadmium; ferrum; *Rhizophora_mucronata*; phytoextractor; phytostabilizer

PENDAHULUAN

Pencemaran logam berat di ekosistem pesisir telah menjadi persoalan multidimensional yang tidak hanya mengancam keberlanjutan ekologis, tetapi kesehatan masyarakat pesisir. Sebagai polutan yang bersifat toksik, persisten, dan non-biodegradable, logam berat seperti kadmium (Cd) dan besi (Fe) memiliki kemampuan untuk terakumulasi dalam sedimen serta jaringan biota akuatik dan darat, sehingga berpotensi masuk ke dalam rantai makanan (Ali *et al.* 2019; Tang *et al.* 2022). Kondisi ini tidak hanya mengganggu kestabilan struktur trofik, tetapi juga meningkatkan risiko gangguan kesehatan kronis bagi masyarakat pesisir yang memanfaatkan hasil laut sebagai sumber pangan.

Di Indonesia, berbagai wilayah pesisir mengalami peningkatan tekanan pencemaran, terutama akibat aktivitas pelabuhan, perikanan, industri, dan limbah domestik yang dibuang ke laut tanpa pengolahan yang memadai (Tuahatu *et al.* 2022). Salah satu kawasan yang menunjukkan gejala awal degradasi ekologis adalah Labuan Tereng, Lombok Barat. Kawasan ini berada dalam jalur aktivitas transportasi laut, permukiman padat, dan kegiatan perikanan skala kecil, yang semuanya berpotensi melepaskan polutan logam berat ke lingkungan pesisir.

Dalam konteks ini, hutan mangrove memiliki peran ekologis yang sangat penting. Selain sebagai benteng alami terhadap abrasi dan intrusi air laut, ekosistem mangrove juga dikenal mampu bertindak sebagai biofilter alami yang menyerap logam berat dari air dan sedimen (Alongi, 2012). Struktur perakaran mangrove yang kompleks memungkinkan penangkapan logam berat dari kolom air dan sedimen melalui mekanisme biogeokimia dan adaptasi fisiologis tertentu (Dewi *et al.* 2018). Beberapa spesies mangrove, termasuk *Rhizophora mucronata*, telah dilaporkan memiliki kemampuan bioakumulasi terhadap berbagai jenis logam berat, menjadikannya kandidat potensial dalam upaya mitigasi pencemaran melalui pendekatan fitoremediasi (Analuddin *et al.* 2020).

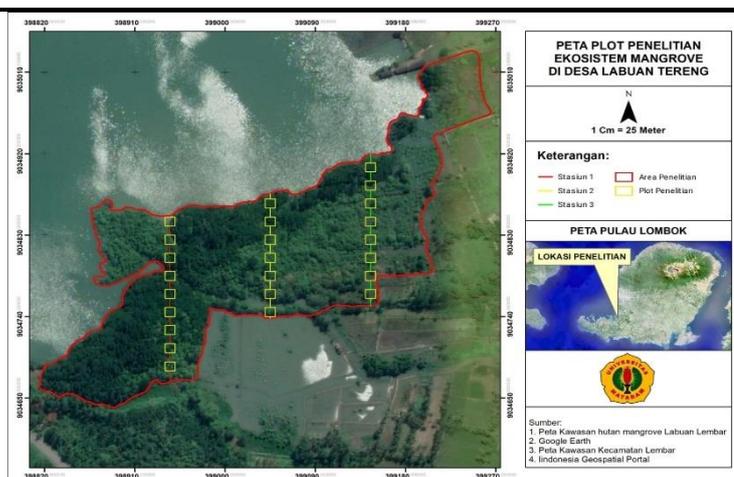
Penelitian-penelitian terdahulu telah mengkaji akumulasi logam berat oleh tanaman mangrove di berbagai wilayah pesisir Indonesia dan Asia Tenggara. Sebagai contoh, Khan *et al.* (2020) melaporkan bahwa *Rhizophora apiculata* mampu mengakumulasi logam berat di wilayah urban pesisir semenanjung Malaysia dan Ariyanto *et al.* (2021) juga melaporkan bahwa *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata* memiliki kemampuan sama di Pantai timur Asahan, Sumatera Utara. Sementara di Indonesia, studi oleh Rozirwan *et al.* (2025) menunjukkan bahwa kandungan logam berat dalam jaringan mangrove bervariasi tergantung pada jenis spesies, karakteristik substrat, dan tingkat paparan pencemaran. Namun demikian, sebagian besar studi masih terfokus pada kawasan industri besar atau muara sungai besar (estuaria), dan belum banyak dilakukan di kawasan pesisir kepulauan kecil seperti NTB yang memiliki karakteristik lingkungan dan tekanan antropogenik yang berbeda.

Selain itu, belum banyak penelitian yang secara integratif mengkaji hubungan antara tingkat pencemaran logam berat di sedimen dengan kemampuan akumulasi antar organ tanaman (*root-stem-leaf accumulation gradient*) pada *Rhizophora mucronata*. Informasi ini penting untuk memahami kapasitas tanaman sebagai bioindikator serta menentukan bagian tanaman yang paling efektif untuk monitoring dan remediasi lingkungan. Celah ini menandai pentingnya riset berbasis lokasi spesifik (*site-specific study*) di kawasan seperti Labuan Tereng untuk mendukung kebijakan pengelolaan pesisir yang berbasis data ilmiah setempat.

BAHAN DAN METODE

Tempat Penelitian

Studi ini dilaksanakan selama periode Juni-Agustus 2024 yang berada di ekosistem mangrove Desa Labuan Tereng, Nusa Tenggara Barat dengan luas mangrove yang diteliti sebesar 6,021 ha (**Gambar 1**). Analisis bagian tanaman mangrove diuji pada Laboratorium Pengujian Badan Perakitan dan Modernisasi Pertanian (BRMP) Narmada, Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat.



Gambar 1. Peta Lokasi dan stasiun pengamatan

Alat dan Bahan

Alat-alat seperti *Global Positioning System* (GPS), peta wilayah studi, kertas stiker, *phiband*, tali rafia, meteran gulung, *haga hypsometer*, parang, digicam (*digital camera*), DO (*Dissolved Oxygen*), *pH meter*, *Refraktometer*, Plastik sampel, Termometer, ATK, dan *tally sheet* digunakan dalam penelitian ini. Sementara itu objek utama sekaligus bahan dalam penelitian ini yaitu spesimen (akar dan daun mangrove) di kawasan Labuan Tereng.

Perlakuan dan Desain Penelitian

Survey dilaksanakan pada wilayah pesisir yang terletak di sekitar Pelabuhan Lembar. Pengambilan titik stasiun dan plot pengamatan dilakukan dengan metode sistematis yang diawali secara acak (*systematic sampling with random start*). Selanjutnya Tegakan mangrove diamati berdasarkan Teknik *purposive sampling* dengan pertimbangan tertentu yang diambil berdasarkan tujuan penelitian serta karakteristik lapangan, yaitu jarak dari garis pantai. Sehingga wilayah kajian terbagi dalam 3 stasiun yang terdiri dari 24 plot pengamatan dengan menarik transek lurus kearah pantai dan memotong formasi mangrove. Setiap petak contoh yang disurvei pada masing-masing stasiun berjarak 10 m dengan setiap petak contoh berbentuk persegi (10 m x 10 m), adapun jarak antara satu stasiun dengan stasiun lainnya adalah 100 m yang diukur dari tengah jalur (Sengkey *et. al.* 2015; Valentino *et al.* 2024).

Pengambilan sampel dilakukan setelah pengukuran vegetasi dan diameter pohon, sampel yang diambil berjumlah 6 tegakan dimana setiap tegakan di ambil 2 sampel yang terdiri dari akar dan daun sehingga total sampel secara keseluruhan berjumlah 12 sampel bagian tumbuhan. Sampel tersebut dipilih atas keterwakilan tegakan di setiap jarak berdasarkan panjang garis pantai pada kawasan yang ada.

Pada setiap stasiun pengamatan, dilakukan pengambilan sampel berupa akar, daun mangrove, serta pengukuran parameter mutu air. Daun *Rhizophora apiculata* yang dijadikan sampel diperoleh dari percabangan pertama pohon yang memiliki panjang daun $\pm 10-20$ cm dan diambil sebanyak 500 gram. Daun yang telah diambil kemudian dimasukkan ke plastik dan ditandai dengan kertas label (Romadhotin, 2016).

Pengambilan sampel akar diambil pada bagian akhir diluar bidang sedimen serta terdapat pada pangkal yang dekat dengan sedimen. Akar diambil dengan panjang sekitar 10 cm sehingga untuk memudahkan pengujian sampel di laboratorium dan dilakukan pengambilan sebanyak 500 gram dengan menggunakan alat pemotong dan disimpan pada plastik klip serta ditandai dengan kertas label (Amin *et al.* 2019).

Analisis Data

Sampel tanaman mangrove yang sudah diambil akan dianalisis untuk melihat konsentrasi logam berat Cd maupun Fe. Sampel tersebut dibawa dan dianalisis di Laboratorium Pengujian Badan Perakitan dan Modernisasi Pertanian (BRMP) Nusa Tenggara Barat. Selanjutnya hasil uji konsentrasi logam berat dari laboratorium diolah secara deskriptif untuk menggambarkan distribusi konsentrasi antar lokasi. Proses pengolahan dilakukan dengan mengelompokkan dan menghitung total akumulasi berdasarkan stasiun sampling. Analisis deskriptif akhir dilakukan dengan membandingkan hasil konsentrasi terhadap nilai ambang batas baku mutu lingkungan yang

mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup mengenai baku mutu air laut untuk biota laut.

Selain itu untuk mengetahui kemampuan *R. mucronata* mentranslokasikan logam Cd dan Fe dari akar ke daun menggunakan rumus faktor translokasi yang mengacu pada penelitian Manikasari & Mahayani (2018), Rachmawati *et al.* (2018). Secara detail yaitu:

$$TF = \frac{\text{Konsentrasi Logam Pada Daun}}{\text{Konsentrasi Logam Pada Akar}}$$

Pengaruh antara kerapatan mangrove dengan logam berat Cd maupun Fe dianalisis memakai regresi menggunakan software SPSS 22 (*Statistical Program for Social Science*) dan *software Excel* dengan jumlah sampel yang telah ditetapkan. Selanjutnya untuk mengevaluasi hubungan antara kerapatan vegetasi mangrove dengan kandungan konsentrasi logam Cd dan Fe pada akar dan daun *R. apiculata*, dilakukan pendekatan analisis regresi statistik. Analisis regresi yang dilakukan yaitu regresi linier sederhana untuk memahami seberapa besar pengaruh parameter lingkungan dan kerapatan vegetasi mangrove. Hasil perhitungan pengaruh antar variable tersebut dapat dilihat dari nilai koefisien determinasi (0 sampai dengan 1) (Maharani, 2017). Persamaan yang digunakan yaitu:

$$Y = ax + b$$

dimana:

$$a = \frac{(\Sigma y)\Sigma x^2 - (\Sigma x)(\Sigma xy)}{n \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$$

$$b = \frac{n \Sigma xy - (\Sigma x)(\Sigma y)}{n \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$$

Dalam menterjemahkan model regresi yang yang diperoleh dari sampel penelitian digunakan koefisien determinasi rumus yaitu:

$$R^2 = \frac{a \Sigma y + b \Sigma xy - n(Y)^2}{\Sigma y^2 - n(Y)^2}$$

Keterangan:

X: Variabel independen, atau sering disebut juga sebagai variabel yang nilainya tidak terpengaruh variabel lain, meliputi kerapatan mangrove dan parameter lingkungan).

Y: Variabel dependen, adalah kebalikan dari variable independen, dengan kata lain terpengaruh oleh variabel lain, meliputi konsentrasi Cd dan Fe pada bagian tanaman mangrove).

a dan b: konstanta

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Mutu Air Pada Ekosistem Mangrove Labuan Tereng

Kegiatan pengukuran mutu air dilakukan pada tiga stasiun pengamatan dalam lingkup ekosistem mangrove Labuan Tereng, dengan mengamati parameter fisik dan kimia perairan meliputi *dissolved oxygen* (DO), salinitas, suhu dan pH. Parameter-parameter digunakan sebagai indikator kondisi lingkungan yang mendukung pertumbuhan *R. mucronata* dan berperan dalam mempengaruhi distribusi logam berat di perairan. Seluruh hasil pengukuran mutu air disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Rata-rata Pengukuran Kondisi Lingkungan Ekosistem Mangrove Labuan Tereng

No	Stasiun	Jarak	Rata-rata Parameter Fisika dan Kimi			
			Suhu Air (°C)	pH Air	Salinitas(%)	DO (mg/l)
1	I	0-100	27.6	7.16	32.8	4.43
		100-200	27.2	7.14	33.5	5.13
2	II	0-100	26.8	7.14	32.0	3.95
		100-200	27.0	7.11	27.5	3.54
3	III	0-100	20.0	7.11	30.9	4.51

Sumber: Data Primer (diolah) 2024.

Kondisi lingkungan dapat mempengaruhi penyerapan dan akumulasi kandungan logam pada pohon. Hasil pengukuran parameter lingkungan pada stasiun I memiliki suhu rata-rata sebesar 27,6°C jarak (0-100 m) dan 27,2°C dari jarak (100-200 m), untuk pH nilai yang jarak 0-100 m lebih tinggi yaitu sebesar 7,16. Sedangkan untuk salinitas dan DO di stasiun I ini lebih tinggi di jarak (100 -200 m) yang di mana nilai salinitas sebesar 33,5 ppt dan DO sebesar 5,13. Nilai rata – rata terhadap parameter fisika dan kimia pada stasiun II yaitu memiliki nilai suhu

sebesar 26,8°C yang jarak (0-100 m) dan sebesar 27,0°C dari jarak (100-200 m), sedangkan pH, salinitas dan DO memiliki nilai tertinggi pada jarak (0-100 m) dimana nilai pH sebesar (7,14), nilai salinitas sebesar (32,0 ppt) dan nilai DO sebesar (3,95). Selanjutnya kondisi lingkungan di stasiun III yang memiliki nilai suhu 20,0°C, nilai pH sebesar 7,11, salinitas sebesar 30,9 ppt dan nilai DO sebesar 4,51.

Hasil pengukuran rata-rata kondisi lingkungan pada parameter lingkungan dimana nilai suhu air tertinggi berada di stasiun I dengan nilai rata-rata sebesar 27,6°C pada jarak 0-100 m. Nilai pH paling tinggi berada pada stasiun I dengan jarak yang sama dengan suhu yaitu 0-100 m sebesar 7,16. Sedangkan salinitas dan DO nilai paling tinggi berada di stasiun I pada jarak 100-200 m dengan nilai salinitas 33,5 ppt dan nilai DO sebesar 5,13. kondisi cuaca ketika dilakukan pengukuran suhu pada stasiun I ini yaitu cerah. Berdasarkan ketentuan baku mutu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup mengenai baku mutu air laut untuk biota laut, suhu yang diperoleh dari hasil pengukuran menunjukkan jika semua stasiun pengamatan suhu airnya tidak melebihi nilai baku mutu di mana nilai baku mutu untuk suhu pada peraturan tersebut yaitu berkisar antara 28-32°C. Suhu kaitannya dengan kondisi perairan memiliki peran yang penting untuk mengetahui keadaan suatu perairan. Perairan dengan pH antara 6-9 merupakan perairan dengan kesuburan tinggi dan tergolong produktif karena memiliki kisaran pH yang dapat mendorong proses pembongkaran bahan organik yang ada dalam perairan menjadi mineral-mineral yang dapat diasimilasi oleh fitoplankton (Hutami *et al.* 2018). Adapun menurut Wantasen (2013) nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimiawi perairan, misalnya proses nitrifikasi akan berakhir pada pH yang rendah. Apabila pH turun, maka yang akan terjadi beberapa hal seperti penurunan oksigen terlarut.

Tingginya nilai suhu yang didapatkan disebabkan pada saat pengecekan di lokasi penelitian dilakukan pada siang hari sekitar jam 11.00-13.00. Suhu merupakan salah satu faktor eksternal yang paling mudah untuk diteliti dan ditentukan. Aktivitas metabolisme serta penyebaran organisme air banyak dipengaruhi oleh suhu air (Schaduw, 2018). Untuk salinitas di daerah sekitar mangrove berada di atas kisaran baku mutu. Hal ini sesuai dengan pendapat Septiani *et al.* (2019), dimana kisaran salinitas optimum yang dibutuhkan mangrove untuk tumbuh berkisar 10% - 30% ppt. Selain itu, salinitas yang tinggi (> 35%) dapat berpengaruh buruk bagi vegetasi mangrove, karena dampak dari tekanan osmotik yang negatif (Barik *et al.* 2017).

Konsentrasi Logam Berat Cd dan Fe pada Bagian Akar dan Daun

Hasil pengukuran konsentrasi logam berat Cd dan Fe pada akar dan daun mangrove menunjukkan konsentrasi yang diperoleh dari analisis logam berat Cd dan Fe disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Konsentrasi logam Cd dan Fe pada akar dan daun pohon *R. mucronata*

Logam	Stasiun	Jarak	Konsentrasi logam (ppm)		Baku mutu * (ppm)
			Akar	Daun	
Cd	I	0-100	9,76	1,19	0,001*
		100-200	0,81	0,91	
	II	0-100	0,63	0,98	
		100-200	0,25	1,21	
	III	0-100	0,60	2,08	
Fe	I	0-100	319,23	25,84	0,3*
		100-200	590,93	43,89	
	II	0-100	88,69	26,17	
		100-200	50,13	27,12	
	III	0-100	36,13	35,94	

*) Ambang Batas Baku Mutu Air Laut Untuk Biota Laut.
 Sumber: Data Primer (diolah) 2024.

Berdasarkan lokasi pengambilan sampel, kandungan logam berat Cd pada tumbuhan mangrove memiliki akumulasi pada akar relatif lebih tinggi dibandingkan dengan akumulasi logam berat pada daun, baik pada jarak 0-100 m maupun 100-200 m dari garis pantai (**Tabel 2**). Hasil pengukuran kandungan logam berat kadmium (Cd) pada *R. mucronata* menunjukkan bahwa akumulasi tertinggi terdapat pada bagian akar (9,76 ppm) di stasiun I dengan jarak 0-100 m dari garis pantai. Hal ini sesuai dengan penelitian Arisandy *et al.* (2012) yang menyatakan bahwa akar memiliki nilai logam yang tinggi karena akar merupakan bagian yang kontak langsung dengan sedimen yang tercemar, kemudian ditranslokasikan ke bagian lain. Nilai akumulasi logam berat Cd pada tumbuhan

mangrove di lokasi penelitian jauh lebih tinggi dari ambang batas yang ditetapkan, sehingga kondisi lingkungan di sekitar lokasi penelitian mempunyai tingkat pencemaran logam berat yang telah melebihi ambang batas.

Hasil analisis kandungan logam berat Fe pada bagian *Rhizophora mucronata* menunjukkan bahwa akumulasi tertinggi terdapat pada bagian akar (590,93 ppm) di stasiun I pada jarak 100-200 m dari garis pantai. Tingginya akumulasi logam berat pada tumbuhan mangrove menunjukkan bahwa pencemaran logam berat di lokasi penelitian telah melebihi ambang batas, baik terhadap akar dan daun. Sampel tumbuhan mangrove yang diambil dari stasiun I di sekitar pelabuhan Lembar memiliki kandungan logam Fe tertinggi. Hal tersebut disebabkan lokasi ini berdekatan dengan pelabuhan serta aktivitas bidang perkapalan yang tinggi. Akumulasi logam Fe tertinggi terdapat pada akar karena akar merupakan bagian langsung terkontaminasi dengan sidemen dan air laut yang tercemar. Tingginya konsentrasi logam Fe pada akar sesuai dengan penelitian Rezaei *et al.* (2021) bahwa kandungan logam berat pada mangrove lebih banyak ditemukan di perakaran mangrove. Kondisi ini diduga karena bagian akar mempunyai interaksi langsung dengan sedimen dan air yang telah terkontaminasi oleh logam berat yang mengendap, kemudian ditranslokasikan ke bagian lain.

Secara keseluruhan, kisaran kandungan logam Cd pada kar, yaitu 0,25-9,76 ppm dan 0,21-2,08 ppm pada daun. Kandungan Cd tertinggi (9,76 ppm) dimiliki oleh akar *Rhizophora mucronata* pada stasiun I dengan jarak 0-100 m dari garis Pantai. Kandungan logam Fe pada akar berkisaran dari 36,13 - 590,93 ppm dan 25,84 – 43,89 ppm pada daun. Kandungan Fe tertinggi (590,93 ppm) dimiliki oleh akar *Rhizophora mucronata* pada jarak 100-200 m dari garis pantai. Mangrove dapat menyerap polutan organik maupun non organik dari lingkungannya kedalam tubuhnya menggunakan membran sel. *Rhizophora mucronata* merupakan salah satu jenis tumbuhan mangrove yang dapat berperan sebagai agen bioremediasi logam berat.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan logam berat Cd berbeda pada bagian akar dan daun. Kandungan logam berat Cd di stasiun I pada akar relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan logam berat pada daun dengan jarak 0-100 m sedangkan jarak 100-200 pada daun lebih tinggi. Stasiun II pada jarak 0-100 daun lebih tinggi dibandingkan dengan akar, tapi pada jarak 100-200 akar lebih tinggi dibandingkan daun. Untuk stasiun III hanya ditemukan jenis *Rhizophora mucronata* pada jarak 0-100 m di mana daun relatif tinggi. Kandungan logam berat Fe pada akar relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan logam berat pada daun, baik pada jarak 0-100 m maupun 100-200 m dari garis pantai. Jika dibandingkan berdasarkan stasiun dan jarak, kandungan logam berat Fe pada stasiun I dengan jarak 100-200 m dari garis pantai lebih tinggi, baik untuk akar maupun daun sedangkan stasiun II kandungan Fe akar pada jarak 0-100 m lebih tinggi (88,69 ppm) dibandingkan jarak 100-200 m (50,13 ppm). Kandungan Fe daun pada jarak 100-200 m lebih tinggi (27,12 ppm). Kandungan logam berat Fe stasiun III lebih tinggi pada organ akar. Menurut Karamina *et al.* (2017) menyatakan bahwa ada beberapa faktor yang mempengaruhi penyerapan logam berat, antara lain: (1) lingkungan (pH tanah, suhu air, intensitas cahaya matahari); (2) persaingan antara spesies tanaman; (3) ukuran partikel; (4) sistem perakaran; dan (5) ketersediaan logam dalam tanah.

Pengaruh Jarak Garis Pantai terhadap Perbedaan Konsentrasi Logam Cd dan Fe pada Organ Akar dan Daun

Selanjutnya perlu dilakukan uji lanjut untuk mengetahui pengaruh jarak dari garis pantai terhadap perbedaan konsentrasi logam Cd dan Fe di kawasan mangrove Labuan Tereng. Perhitungan dengan menggunakan data SHP yang telah dilakukan pada panjang garis pantai kurang dari 200 m di setiap stasiun. Berdasarkan kondisi asli kawasan mangrove di Desa Labuan diperoleh jarak dari garis pantai 0-100 m dan jarak 100-200 m. Hasil uji perbedaan t menunjukkan Cd dan Fe pada jarak yang berbeda dari garis pantai dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil uji perbedaan konsentrasi logam berat Cd dan Fe organ akar dan daun pada jarak 0-100 m dan 100-200 m dari garis pantai

No	Logam berat	Stasiun	Akar		Daun	
			0-100	100 -200	0-100 m	100-200 m
1	Cd	I	9,76 ^a	0,81 ^a	1,19 ^a	0,91 ^a
		II	0,63 ^a	0,25 ^a	0,98 ^a	1,21 ^a
		III	0,60 ^a	-	2,08 ^a	-
2	Fe	I	319,23 ^a	590,93 ^a	25,84 ^a	43,89 ^a
		II	88,69 ^a	50,13 ^a	26,17 ^a	27,12 ^a
		III	36,13 ^a	-	35,94 ^a	-

Keterangan: “Angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak adanya perbedaan nilai kandungan logam berat”.

Berdasarkan hasil uji perbedaan menunjukkan tidak adanya perbedaan antara kandungan logam berat Cd dan Fe terhadap akar dan daun pada jarak 0-100 m maupun pada jarak 100-200 m dari garis pantai (**Tabel 3**). Tidak adanya perbedaan nyata ini disebabkan karena sampel akar dan daun berasal dari pohon dengan kelas diameter yang sama. Ketiga stasiun dengan jarak yang berbedaan di kawasan tersebut juga berasal pada satu hamparan dan mendapat sumber air dari aliran yang sama yaitu aliran air laut. Kegiatan manusia yang merata pada pinggir pelabuhan Lembar juga dapat menyebabkan tidak adanya perbedaan nyata kandungan logam pada kedua jarak tersebut. Sepanjang jarak kawasan yang berbatasan dengan air laut dimanfaatkan masyarakat untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, salah satu kegiatan yang dilakukan adalah memancing di sekitar pelabuhan dan mencari kerang yang berada pada samping kawasan penelitian. Selain itu, terdapat banyak kapal bermotor dan kapal yang aktif dalam beraktivitas di sekitar kawasan serta diparkirkan di pinggir pantai. Dermawan *et al.* (2019) menyatakan bahwa ada beberapa cara atau mekanisme masuknya logam berat pada lingkungan akuatik, yaitu melalui presipitasi (pengendapan), pengenceran, dan disperse (penyebaran). Selain dapat terakumulasi pada sedimen, logam berat dapat terakumulasi pada struktur mangrove.

Faktor Translokasi

Nilai faktor translokasi logam Cd dan Fe digunakan untuk melihat translokasi logam dari akar ke daun, yang dihitung dengan membagi konsentrasi logam dibagian daun dengan bagian akar. Nilai TF yang diperoleh akan dibandingkan dengan standar nilai TF yang menyatakan bahwa tanaman yang memiliki nilai TF > 1 merupakan tanaman yang memiliki mekanisme fitoekstraksi, sedangkan tanaman yang memiliki nilai TF < 1 merupakan tanaman fitostabilisasi. Nilai TF logam Cd dan Fe pada *Rhizophora mucronata* ditunjukkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Nilai faktor translokasi Cd dan Fe dari akar ke daun *R. mucronata*

Logam	Stasiun	Jarak dari garis pantai (m)	Faktor translokasi
Cd	I	0-100	0,122
		100-200	1,123
	II	0-100	1,556
		100-200	4,840
	III	0-100	3,467
	Fe	I	0-100
100-200			0,074
II		0-100	0,295
		100-200	0,540
III		0-100	0,994

Sumber: Data Primer (diolah) 2024.

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai faktor translokasi atau Translocation Factor (TF) yang memiliki nilai lebih dari 1 dan ada yang kurang dari 1 (**Tabel 4**). Nilai TF pada Cd di stasiun I sebesar 0,122 (0-100 m) dan 1,123 (100-200 m). Sedangkan pada stasiun II nilai TF sebesar 1,123 (0-100 m) dan 4,840 (100-200 m) dan stasiun III nilai TF sebesar 3,467 dengan jarak 0-100 m. Nilai TF Cd paling tinggi berada di stasiun II pada jarak 100-200 m (4,840). Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan mobilisasi logam berat dari akar menuju daun pada kawasan 100-200 m ini lebih tinggi. Hal ini diduga karena lokasi ini mendapatkan paparan logam berat terlarut lebih besar, karena berbatasan langsung dengan laut yang kemudian diakumulasikan pada bagian daun.

Selain itu, untuk nilai TF logam Fe di setiap stasiun memiliki nilai kurang dari 1, di mana stasiun I dengan jarak (0-100 m) nilai TF sebesar 0,080 dan jarak 100-200 m sebesar 0,074. Pada stasiun II nilai TF logam Fe sebesar 0,295 jarak (0-100 m) dan 0,540 (100-200 m). Stasiun III memiliki nilai TF sebesar 0,994 jarak (0-100 m) dari garis pantai. Nilai TF Fe paling tinggi berada di stasiun III pada jarak 0-100 m (0,994). Hal ini terlihat nilai TF < 1 pada logam Fe, yang berarti tanaman mangrove *Rhizophora mucronata* yang terdapat dalam penelitian bersifat fitostabilisasi. Bakshe & Jugade (2023) menjelaskan fitostabilisasi menggunakan kemampuan akar mengubah kondisi lingkungan. Tumbuhan akan menghentikan pergerakan logam yang diserap dan diakumulasi oleh akar, kemudian diserap dan diendapkan ke dalam substrak tanah. Fitostabilisasi menunjukkan bahwa tumbuhan melakukan imobilisasi polutan dengan cara mengakumulasi, mengadsorpsi pada permukaan akar dan mengendapkan polutan pada zona akar. Ini sesuai dengan temuan konsentrasi logam Fe yang terbanyak pada bagian akar dibandingkan dengan daun.

Nilai TF pada Cd ini mendapatkan hasil TF > 1, bahkan mencapai nilai 4 untuk logam Cd. Nilai TF > 1 menunjukkan bahwa *Rhizophora mucronata* memiliki mekanisme fitoekstraksi. Fitoekstraksi yang dapat disebut fitoakumulasi ini merupakan proses penyerapan logam berat oleh akar tanaman yang kemudian dapat ditranslokasikan menuju organ lain seperti batang dan daun. Fitoekstraksi merupakan salah satu cara untuk fitoremediasi, yaitu pemulihan lahan yang tercemar oleh logam berat secara biologi dengan menggunakan tanaman, sehingga dapat mengubah zat kontaminan (pencemar/polutan) menjadi kurang atau tidak berbahaya (Irhamni *et al.* 2017). Pada dasarnya tumbuhan melakukan penyerapan oleh akar, baik yang berasal dari sedimen maupun air, kemudian terjadi translokasi ke bagian tumbuhan yang lain dan lokalisasi atau menimbulkan logam pada jaringan tertentu. Bagian penting dalam proses translokasi logam berat ke dalam tubuh tumbuhan dari akar menuju daun adalah pembuluh xylem pada akar (Collin *et al.* 2022). Logam berat Cd ditranslokasikan dari akar ke seluruh mangrove, termasuk daun melalui pembuluh xylem. Akan tetapi untuk logam Fe hanya mengakumulasi logam pada bagian akar tidak ada proses translokasi ke bagian daun mangrove.

KESIMPULAN

Konsentrasi logam berat Fe pada organ daun maupun akar *Rhizophora mucronata* lebih tinggi dibandingkan konsentrasi logam Cd, yaitu sebesar 590,93 ppm (Fe) dan sebesar 9,76 ppm (Cd). Sedangkan pada organ daun, sebesar 43,89 ppm (Fe) dan 2,08 ppm (Cd). Hasil uji t menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nyata antara kandungan logam Fe dan Cd pada organ akar dan daun *Rhizophora mucronata* pada jarak 0-100 dan jarak 100-200 dari garis pantai. Hasil nilai faktor translokasi menunjukkan *Rhizophora mucronata* memiliki sifat fitoekstraksi dengan nilai TF > 4 untuk logam Cd sedangkan *Rhizophora mucronata* memiliki sifat fitostabilisasi untuk logam besi (Fe) dengan nilai TF < 1.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam mendukung kelancaran penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. 2019. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals. *Journal of Chemistry*, 2019, 6730305. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- Alongi, D.M. 2012. Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Management*, 3(3): 313-322. <https://doi.org/10.4155/cmt.12.20>
- Amin, A. A., Baihaqi, V. K., Prawitma, R. & Kurniawan, A. 2019. Analisis daya serap mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora mucronata* terhadap logam berat (Zn) di kawasan mangrove Wonorejo, Surabaya, Jawa Timur. Prosiding Seminar Nasional Kelautan (SEMINAKEL) XIV, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah, 11 Juli 2019, Surabaya, Indonesia, pp: 7-15. <https://prosidingseminakel.hangtuah.ac.id/index.php/jurnal/article/view/38/24>
- Analuddin, K., Sharma, S., Jamili., Septiana, A., Sahidin, I., Riansa, U., Nadaoka, K. 2017. Heavy metal bioaccumulation in mangrove ecosystem at the coral triangle ecoregion, Southeast Sulawesi, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*. 125(1-2): 472-480. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.07.065>
- Arisandy, K. R., Herawati, E. Y. & Suprayitno, E. (2012). Akumulasi logam berat timbal (pb) dan gambaran histologi pada jaringan *Avicennia marina* (forsk.) Vierh di perairan pantai Jawa Timur. *Jurnal Penelitian Perikanan*, 1(1): 15–24. <https://doi.org/10.21107/jk.v1i1.3341>
- Ariyanto, D., Gunawan, H., & Purba, W. 2021. Absorption of cadmium (cd) in *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. and *Rhizophora apiculata* Blume mangroves in the east coast of Sumatra, Indonesia. *Plant Archives*. 21(1): 699-703. <https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2021.v21.S1.105>
- Bakshe, P., & Jugade, R. 2023. Phytostabilization and rhizofiltration of toxic heavy metals by heavy metal accumulator plants for sustainable management of contaminated industrial sites: A comprehensive review. *Journal of Hazardous Materials Advances*. 10(100293): 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100293>
- Barik, J., Mukhopadhyay, A., Ghosh, T., Mukhopadhyay, S. K., Chowdhury, S. M., & Hazra, S. (2017). Mangrove species distribution and water salinity: an indicator species approach to Sundarban. *Journal of Coastal Conservation*. 22: 361–368. <https://doi.org/10.1007/S11852-017-0584-7>

- Collin, S., Baskar, A., Geevarghese, D.M., Ali, M.N.V.S., Bahubali, P., Chodhari, R., Lvov, V., Tovar, G.I., Senatov, F., Koppala, S., & Swamiappan, S. 2022. Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects in plants: A review. *Journal of Hazardous Materials Letters*. 3(100064): 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.hazl.2022.100064>
- Dermawan, W. C., Prayogo, & Rahardja, B. S. (2019). Analysis of cadmium (cd) heavy metal on sediment and mangrove leaves *Avicennia marina* at mangrove ecotourism Wonorejo, Surabaya. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 6 October 2018, IOP Publishing, East Java, Indonesia: pp: 012964. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/236/1/012064/pdf>
- Dewi, P.K., Hastuti, E.D., & Budihastuti, 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. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/biologi/article/view/22296>
- Hutami, G. H., Muskananfolo, M. R., & Sulardiono, B. (2018). Analisis kualitas perairan pada ekosistem mangrove berdasarkan kelimpahan fitoplankton dan nitrat fosfat di desa Bedono Demak. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*. 6(3): 239-246. <https://doi.org/10.14710/marj.v6i3.20582>
- Irhamni, P. S., Purba, E. & Hasan, W. (2017). Kajian akumulator beberapa tumbuhan air dalam menyerap logam berat secara fitoremediasi. *Jurnal Serambi Engineering*. 1(2): 75–84. <https://ojs.serambimekkah.ac.id/jse/article/view/498/456>
- Karamina, H., Fikrinda, W., & Murti, A. T. (2017). Kompleksitas pengaruh temperatur dan kelembaban tanah terhadap nilai ph tanah di perkebunan jambu biji varietas kristal (*Psidium guajava* L.) Bumiaji, Kota Batu. *Kultivasi*. 16(3): 430–434. <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v16i3.13225>
- Khan, W.R., Rasheed, F., Zulkifli, S.W., Roslan, M., Zimmer, M., Pazi, A.M., Kamrudin, N.A., Zafar, Z., I. Faridah-Hanum, I., & Nazre, M. 2020. Phytoextraction potential of *Rhizophora apiculata*: A case study in Matang mangrove forest Reserve, Malaysia. *Tropical Conservation Science*. 13(1): 1-8. <https://doi.org/10.1177/1940082920947344>
- Maharani. (2017). Analisis hubungan kerapatan mangrove dan kepadatan Bivalvia untuk menunjang restorasi di Pesisir Tampo, Kabupaten Muna, Provinsi Sulawesi Tenggara. (Skripsi, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia). Brawijaya Knowledge Garden. https://repository.ub.ac.id/id/eprint/135737/1/Laporan_Skripsi.pdf
- Manikasari, G. P. & 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 (JNTT)*. 2(2): 105–117. <https://doi.org/10.22146/jntt.42721>
- Rachmawati, Yona, D. & Kasitowati, R. D. (2018). Potensi mangrove *Avicennia alba* sebagai agen fitoremediasi timbal (Pb) dan tembaga (Cu) di perairan Wonorejo, Surabaya. *DEPIK Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir, dan Perikanan*. 7(3): 227–236. <https://doi.org/10.13170/depik.7.3.10555>
- Rezaei, M., Kafaei, R., Mahmoodi, M., Sanati, A.M., Vakilabadi, D.R., Arfaeina, H., Dobaradaran, S., Sorial, G.A., Ramavandi, B., & Boffito, D.C. 2021. Heavy metals concentration in mangrove tissues and associated sediments and seawater from the north coast of Persian Gulf, Iran: Ecological and health risk assessment. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 15(9): 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100456>
- Romadhotin, S. N. 2016. Analisis kandungan logam berat merkuri (Hg) pada akar dan daun mangrove *Sonneratia caseolaris* di muara sungai Porong, Jabon, Sidoarjo. (Skripsi, Universitas Brawijaya Malang, Indonesia). Brawijaya Knowledge Garden. https://repository.ub.ac.id/id/eprint/134940/1/LAPORAN_SKRIPSI_SITI_NAFI'ATUL_ROMADHOTIN_125080100111099_MSP.pdf
- Rozirwan., Khotimah, N.N., Putri, W.A.E., Fauziyah., Aryawati, R., Diansyah, G., & Nugroho, R.Y. 2025. Biomarkers of heavy metals pollution in mangrove ecosystems: Comparative assessment in industrial impact and conservation zones. *Toxicology Reports*. 14(102011): 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2025.102011>
- Schaduw, J. N. W. (2018). Distribusi dan karakteristik kualitas perairan ekosistem mangrove pulau kecil Taman Nasional Bunaken. *Majalah Geografi Indonesia*, 32(1): 40–49. <https://doi.org/10.22146/mgi.32204>

- Senkey, F.E., Langi, M.A., & Tasirin, J.S. 2015. Struktur dan komposisi hutan mangrove Likupang kabupaten Minahasa Utara provinsi Sulawesi Utara. *COCOS*. 6(13): 1–17. <https://doi.org/10.35791/cocos.v6i13.8663>
- Septiani, M., Mulyani, Y., Riyantini, I., & Prihadi, D. J. (2019). Pengaruh kondisi mangrove terhadap kelimpahan kepiting biola (*uca sp.*) di Karangsong kabupaten Indramayu. *Jurnal Perikanan Kelautan*, 10(1): 84-91. <https://jurnal.unpad.ac.id/jpk/article/view/23047/11248>
- Tang, D., Luo, S., Deng, S., Huang, R., Chen, B., & Deng, Z. 2022. Heavy metal pollution status and deposition history of mangrove sediments in Zhanjiang Bay, China. *Front. Mar. Sci.* 9:989584. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.989584>
- Tuahatu, J.W., Tubalawony, S. & Kalay, D.E. 2022. Konsentrasi logam berat Pb dan Cd dalam sedimen pada ekosistem mangrove di Teluk Ambon. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 14(3): 379-393. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v14i3.37461>
- Valentino, N., Nurfadilah., Prasetyo, A.R., & Hadi, M.A. 2024. Ekostruktur dan status regenerasi tegakan mangrove di sekitar pelabuhan Lembar provinsi Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Forest Island*. 2(2): 25-38. <https://doi.org/10.33387/foris.v2i2.159>
- Wantasen, A. S. (2013). Kondisi kualitas perairan dan substrat dasar sebagai faktor pendukung aktivitas pertumbuhan mangrove di pantai pesisir desa Basaan I, kabupaten Minahasa Tenggara. *Jurnal Ilmiah Platax*. 1(4): 204-209. <https://doi.org/10.35800/jip.1.4.2013.3704>