

## Accumulation of Heavy Metal Cd and Fe in *Rhizophora apiculata* Stand Around Lembar Port West Lombok Regency

Niechi Valentino<sup>1\*</sup>, Andrie Ridzki Prasetyo<sup>1</sup>, Muhammad Anwar Hadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

<sup>2</sup>Komunitas Liana Foundation, Mataram, Indonesia

### Article History

Received : January 08<sup>th</sup>, 2025

Revised : February 15<sup>th</sup>, 2025

Accepted : March 14<sup>th</sup>, 2025

\*Corresponding Author:

**Niechi Valentino**

Jurusan Kehutanan Fakultas  
Pertanian Universitas Mataram,  
Indonesia

Email:

[niechivalentino@gmail.com](mailto:niechivalentino@gmail.com)

**Abstract:** The mangrove ecosystem in the Labuan Tereng area needs to be protected and preserved. Mangrove ecosystems have an important role as carbon absorbers and play a role in environmental detoxification through their ability to absorb heavy metals in their surroundings. This study seeks to analyze the ability of *Rhizophora apiculata* to absorb and retain cadmium (Cd) and iron (Fe) concentrations in the Labuan Tereng mangrove habitat. A systematic sampling approach with a random start was applied, involving 24 plots distributed over three designated stations. Roots and leaves were sampled at each station. Heavy metal concentration analysis for Cd and Fe was conducted at the BSIP Laboratory for Agricultural Instrument Standardization. The study results reveal that root tissues contained the highest concentration levels, namely 615,23 ppm (Fe) and 0,98 ppm (Cd). Therefore, in leaf organs as large as 35,85 ppm (Fe) and 1,09 ppm (Cd). The concentration of heavy metals in *R. apiculata* has surpassed the permissible limits set by environmental quality standards. Result T-test shows that no significance between Fe and Cd metal in a distance of 0-100 and 100-200 m from the coastline. The translocation factor value of *Rhizophora apiculata* has phytoextraction properties with a TF value >2 for Cd metal, while for Fe metal, it has phytostabilization properties with a TF value <1. The influence of density on the level of trees and saplings does not have a significant relationship with Cd and Fe metals, where the t-count is > 0.05 and the effect is very weak on Cd and Fe metals.

**Keywords:** Accumulation, Heavy Metal, Mangrove, *Rhizophora apiculata*

### Pendahuluan

Ekosistem mangrove merupakan salah satu sistem ekologis paling produktif yang tumbuh alami di zona pasang surut pantai tropis dan subtropis. Selain produktif, ekosistem ini juga dikenal sebagai ekosistem yang sangat dinamis, kompleks dan labil (Heriyanto & Subiandono, 2016; Mughofar *et al.* 2018; Valentino *et al.* 2022). Keunikan sistem perakaran, struktur vegetasi yang padat dan endapan lumpur, disertai dengan kemampuan adaptif terhadap lingkungan dan iklim tertentu menjadikan mangrove sebagai ekosistem yang sangat dinamis dan resilien sebagai penyokong utama keseimbangan lingkungan pesisir (Valentino *et al.* 2022; Anu *et al.* 2024). Kemampuan ini tidak hanya berperan dalam penyediaan habitat bagi berbagai biota akuatik

dan terestrial (Dudani *et al.* 2017), tetapi juga dalam fungsi ekologis penting seperti penyimpanan karbon (Alongi, 2014; Chatting *et al.* 2022; Choudhary *et al.* 2024) dan perlindungan garis Pantai (van Hespén *et al.* 2023), serta penyerapan dan akumulasi polutan (Nguyen, 2024; Xu *et al.* 2024) termasuk logam berat. Selanjutnya kompleksitas ekosistem ini tercermin pada hubungan biotik dan abiotik yang membentuk jejaring interaksi multifungsi dalam bentuk siklus nutrien dan aliran energi dari darat ke laut (Alongi 2018; Aprilia *et al.* 2020). Akan tetapi, kompleksitas ini membuat ekosistem mangrove juga sangat sensitif terhadap tekanan dari luar. Diantara berbagai tekanan tersebut, polusi yang diakibatkan oleh logam berat, menjadi salah satu ancaman paling serius.

Logam berat pada dasarnya dapat dijumpai secara alami pada lingkungan dengan

konsentrasi yang rendah. Akan tetapi seiring berjalannya waktu konsentrasi logam berat terutama pada ekosistem mangrove akan semakin meningkat apabila didukung oleh adanya aktivitas antropogenik yang dapat menimbulkan pencemaran (Roziwan *et al.* 2025). Beberapa aktivitas-aktivitas antropogenik yang dapat memasok logam berat adalah: kegiatan pertambangan, Pembuangan limbah domestik, limbah industri dan praktik pertanian yang tidak berkepanjangan (Syawal *et al.* 2016), serta aktivitas pelabuhan (Razi *et al.* 2023; Putri & Purwiyanto, 2016). Berlebihnya Konsentrasi Logam berat pada lingkungan pesisir dapat mengganggu fungsi ekologis mangrove yang dapat mengakibatkan stress oksidatif (Nguyen *et al.* 2020), dan mengurangi pertumbuhan dan perkembangan mangrove (Koka *et al.* 2025). Selain itu juga, karakteristiknya yang beracun, bioakumulatif, dan tahan lama di lingkungan, membuatnya perlu mendapat perhatian serius (Choudhary *et al.* 2024). situasi ini semakin memperkuat dugaan bahwa ekosistem mangrove di berbagai tempat berkemungkinan telah tercemar dan perlu dikaji statusnya.

Ekosistem mangrove Labuhan Tereng termasuk salah satu dari sekian banyak ekosistem mangrove yang memerlukan perhatian serius. Hambali *et al.* (2023) dan Nurfadillah *et al.* (2024) menyebutkan bahwa terdapat 6 spesies dari 5 genus mangrove seperti: *A. Marina*, *C. decandra*, *E. agallocha*, *R. apiculata*, *R. mucronata* dan *S. alba* yang mendiami ekosistem ini. Lokasinya yang berada disekitar Pelabuhan Lembar menyebabkan lokasi ini tidak lepas dari paparan pencemaran. Lebih lanjut Sari *et al.* (2024) menemukan bahwa salah satu jenis mangrove yaitu *R. mucronata* terindikasi mampu menjadi bioakumulator logam berat jenis Pb dan Cu. Selain itu beberapa jenis mangrove yang lain juga terbukti memiliki kemampuan yang sama, sebagai contoh: jenis *B. gymnorrhiza* dan *A. marina* terhadap logam Pb, Cu dan Zn (Jaya *et al.* 2021; Elfrida *et al.* 2020).

Jenis mangrove *R. apiculata* merupakan satu dari sekian banyak spesies mangrove yang sangat penting untuk diperhatikan selain karena kemampuan bioremediasinya dalam menyerap logam berat di alam (Septiantika, 2023). Tetapi juga karena kurangnya penelitian-penelitian terkait jenis ini. Studi literature yang dilakukan peneliti juga menunjukkan bahwa hanya terdapat

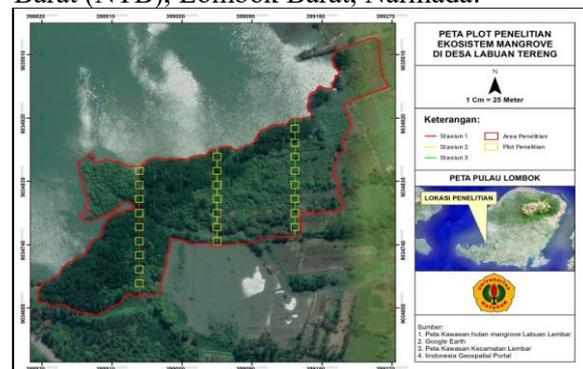
4 penelitian terkait bioakumulasi logam berat pada tumbuhan mangrove yang dilakukan di wilayah Nusa Tenggara Barat dan hanya satu penelitian yang mengungkapkan kemampuan jenis *R. Apiculata* sebagai bioremediasi logam Pb dan Cd (Khaeruddin *et al.* 2018), serta tidak ada satupun penelitian pada wilayah ini yang menyinggung terkait dengan logam berat Fe. Selain itu fungsi jenis mangrove sebagai bioakumulator atau sebagai fitoremediasi masih sangat terbatas, termasuk *R. apiculata*.

Oleh karena itu dengan melihat permasalahan diatas, dan belum adanya penelitian terkait bioakumulator logam Cd dan Fe spesies mangrove *R. apiculata* di kawasan Labuhan Tereng, menyebabkan penelitian ini penting untuk dilakukan. sehingga Studi ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi logam berat Cd dan Fe serta kemampuan *R. apiculata* dalam menyerap kedua jenis logam berat tersebut di kawasan Labuan Tereng.

## Bahan dan Metode

### Waktu dan Lokasi Penelitian

Studi ini dilakukan selama periode Juni hingga Agustus 2024, dengan lokasi utama berada di ekosistem mangrove Desa Labuan Tereng, Nusa Tenggara Barat (NTB). Luas area mangrove yang menjadi objek studi mencakup 6,021 hektar (**Gambar 1**). Analisis bagian tanaman mangrove akan dikerjakan di Laboratorium Penguji Badan Standarisasi Instrumen Pertanian (BSIP) Nusa Tenggara Barat (NTB), Lombok Barat, Narmada.



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*

*hypsonometer*, 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 specimen (akar dan daun mangrove) di kawasan Labuan Tereng.

### Pengambilan Data

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.* 2014).

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 dimasukan 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. apiculata* mentranslokasikan logam Cd dan Fe dari akar ke daun menggunakan rumus faktor translokasi yang mengacu pada penelitian Manikasari & Mahayani (2018), Rachmawati *et al.* (2018) dan Supriyantini *et al.* (2017). 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:

$$\underline{Y} = ax + b$$

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

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

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. apiculata* 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 seberas 30,9 ppt dan nilai DO sebesar 4,51.

Hasil pengukuran rata-rata kondisi lingkungan untuk variable suhu menunjukkan bahwa suhu air tertinggi ditemukan 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. Suhu air yang diperoleh melalui pengukuran menunjukkan nilai yang lebih rendah dari baku mutu yang seharusnya (28-32°C). Suhu kaitannya dengan kondisi perairan memiliki peran yang penting untuk mengetahui keadaan suatu perairan. perairan dengan rentang pH 6 hingga 9 dikategorikan sebagai subur dan memiliki produktivitas tinggi. Hal ini dikarenakan kisaran pH tersebut mampu mempercepat dekomposisi bahan organik menjadi nutrien yang mudah diserap oleh fitoplankton (Hutami *et al.* 2018). Wantasen (2013) juga menekankan bahwa nilai

pH memainkan peran krusial dalam berbagai reaksi biokimia di lingkungan akuatik, seperti proses nitrifikasi yang akan terhambat pada kondisi pH rendah. Penurunan pH dalam perairan berpotensi menurunkan kadar oksigen terlarut, yang pada akhirnya memengaruhi keseimbangan ekosistem perairan.

Tingginya suhu perairan yang tercatat pada saat pengamatan (11.00-13.00 WITA) berkemungkinan besar disebabkan oleh intensitas penyinaran matahari yang maksimal pada rentang waktu tersebut. Suhu sendiri merupakan faktor lingkungan eksternal yang sangat mudah diukur dan dianalisis, serta memiliki pengaruh besar terhadap metabolisme dan persebaran organisme akuatik (Schaduw,

2018). Untuk parameter salinitas, hasil pengukuran menunjukkan nilai yang melebihi batas baku mutu di sekitar kawasan mangrove. Menurut Kusmana (2005) *cit.* Septiani et al. (2019), tingkat salinitas optimal jenis mangrove berada pada rentang nilai 10% hingga 30% ppt. Apabila nilai salinitas melebihi 35% ppt, maka vegetasi mangrove dapat mengalami gangguan akibat tekanan osmotik yang merugikan (Barik *et al.* 2017).

### Konsentrasi Logam Cd dan Fe Akar dan Daun *R. apiculata*

Hasil pengukuran konsentrasi logam Cd dan Fe pada akar dan daun *R. apiculata* ditampilkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Konsentrasi Logam Cd dan Fe pada Akar dan Daun Pohon *R. apiculata* di Kawasan Mangrove Berjarak 0-100 m dan 100-200 m dari Garis Pantai Sekitar Pelabuhan Lembar.

Logam	Stasiun	Jarak	Konsentrasi logam (ppm)		Baku mutu * (ppm)
			Akar	Daun	
Cd	I	0-100	0,93	0,86	0,001*
		100-200	0,98	1,09	
	II	0-100	0,72	0,81	
		100-200	0,77	0,77	
	III	0-100	0,32	0,84	
	Fe	I	0-100	410,13	
100-200			615,23	34,62	
II		0-100	299,80	35,74	
		100-200	136,71	27,89	
III		0-100	151,11	34,61	

\*) Ambang Batas Baku Mutu Air Laut Untuk Biota Laut

Data yang tersaji pada **Tabel 2** menunjukkan bahwa bagian daun lebih banyak mengakumulasi logam Cd dibandingkan dengan akar pada semua kriteria jarak yang digunakan (0–100 m dan 100–200 m) dari garis pantai. Kadar Cd pada spesies *R. apiculata* menunjukkan tingkat akumulasi sebesar 1,09 ppm, terutama di Stasiun I yang terletak 100–200 m dari pantai. Berbanding lurus dengan hasil studi oleh Kumar *et al.* (2011), yang melaporkan bahwa daun memiliki kapasitas akumulasi logam Cd yang lebih besar dibandingkan bagian tanaman lainnya. Sebaliknya, hasil ini berlawanan dengan temuan Arisandy *et al.* (2012), yang dimana akar mengandung logam berat dalam jumlah lebih besar karena bersentuhan langsung dengan sedimen yang terkontaminasi, lalu mendistribusikan logam

tersebut ke jaringan lain. Secara keseluruhan, akumulasi Cd yang diperoleh pada jenis *R. apiculata* pada lokasi penelitian telah melampaui standar ambang batas yang ditetapkan, sehingga mencerminkan tingkat pencemaran logam berat yang tinggi pada Kawasan yang diamati.

Analisis terhadap konsentrasi logam (Fe) pada bagian tubuh *R. apiculata* menunjukkan bahwa konsentrasi tertinggi ditemukan pada organ akar, dengan nilai mencapai 615,23 ppm di Stasiun I, tepatnya pada area berjarak 100–200 m dari garis pantai. Tingginya nilai akumulasi logam berat, baik pada bagian akar maupun daun, telah melampaui ambang batas yang diperkenankan. Sampel vegetasi mangrove yang dikumpulkan dari Stasiun I di sekitar kawasan Pelabuhan Lembar mencatat kandungan besi (Fe) tertinggi dibandingkan lokasi lainnya. 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 Utami *et al.* (2018) bahwa perakaran mangrove cenderung mengakumulasi lebih banyak kandungan logam berat dibanding bagian lainnya. Fakta ini dimungkinkan terjadi karena posisi akar yang langsung bersentuhan dengan sediman dan air yang terkontaminasi logam berat.

Secara keseluruhan, kisaran kandungan logam Cd pada akar, yaitu 0,32-0,98 ppm dan 0,77-1,09 ppm pada daun. Kandungan Cd tertinggi (1,09 ppm) dimiliki oleh daun *R. apiculata* pada stasiun I dengan jarak 100-200 m dari garis Pantai. Kandungan logam Fe pada akar berkisaran dari 136,71-615,23 ppm dan 27,89 - 35,85 ppm pada daun. Nilai tertinggi kandungan besi (Fe), yaitu sebesar 615,23 ppm, ditemukan pada akar *R. apiculata* yang tumbuh pada zona 100–200 m dari garis pantai. Tanaman mangrove memiliki kemampuan untuk menyerap berbagai jenis polutan, baik organik maupun anorganik, melalui mekanisme penyerapan yang berlangsung di membran sel. Sebagai salah satu spesies utama dalam ekosistem mangrove, *R. apiculata* memiliki potensi yang signifikan dalam proses bioremediasi, khususnya dalam mengakumulasi logam berat dari lingkungan sekitarnya.

Berdasarkan ketetapan baku mutu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang penyenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup mengenai baku mutu air laut untuk biota laut yaitu 0,001 ppm untuk Cd dan 0,3 ppm untuk Fe. Nilai logam pada jenis *R. apiculata* di kawasan ini sudah tercemar atau sudah terlampaui dari kisaran baku mutu tanaman berdasarkan peraturan dan pendapat yang ada. Sehingga dapat dikatakan bahwa, jenis *R. apiculata* ini mampu mengakumulasi logam berat dalam jumlah yang banyak sehingga dapat dijadikan sebagai tumbuhan yang dapat menahan logam berat dari pencemaran.

Karamina *et al.* (2017) mengemukakan bahwa faktor yang berpengaruh terhadap kemampuan tumbuhan dalam penyerapan logam berat diantaranya: (1) kondisi lingkungan seperti pH tanah, suhu air, dan intensitas cahaya matahari; (2) adanya kompetisi antarspesies tumbuhan; (3) ukuran partikel; (4) karakteristik sistem perakaran; serta (5) tingkat ketersediaan logam di dalam tanah. 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 tersebut ditampilkan 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	0,93 <sup>a</sup>	0,98 <sup>a</sup>	0,86 <sup>a</sup>	1,09 <sup>a</sup>
		II	0,72 <sup>a</sup>	0,77 <sup>a</sup>	0,81 <sup>a</sup>	0,77 <sup>a</sup>
		III	0,32 <sup>a</sup>	-	0,84 <sup>a</sup>	-
2	Fe	I	410,13 <sup>a</sup>	615,23 <sup>a</sup>	35,85 <sup>a</sup>	34,85 <sup>a</sup>
		II	299,80 <sup>a</sup>	136,71 <sup>a</sup>	35,74 <sup>a</sup>	27,89 <sup>a</sup>
		III	151,11 <sup>a</sup>	-	34,61 <sup>a</sup>	-

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

Faktor translokasi (TF) untuk logam berat Cd dan Fe digunakan sebagai indikator untuk mengevaluasi sejauh mana unsur logam berpindah dari organ akar menuju daun. Nilai TF diperoleh dengan menghitung rasio konsentrasi logam pada daun terhadap konsentrasi logam pada akar. Berdasarkan kriteria yang dijelaskan oleh Baker (1981), tanaman dengan nilai TF lebih dari 1 dikatakan mempunyai mekanisme fitoekstraksi, sedangkan tanaman dengan nilai TF kurang dari 1 dimasukkan dalam kelompok fitostabilisasi. Nilai TF logam Cd dan Fe pada jenis *R. apiculata* ditunjukkan pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.** Nilai Faktor Translokasi Cd dan Fe dari Akar ke Daun *R. apiculata*

Logam	Stasiun	Jarak dari garis pantai (m)	Faktor translokasi
Cd	I	0-100	0,92
		100-200	1,11
	II	0-100	1,12
		100-200	1
Fe	I	0-100	0,08
		100-200	0,05
	II	0-100	0,11
		100-200	0,20
III	0-100	0,22	

Sumber: Data Primer (diolah) 2024

Hasil olahan data, menggambarkan nilai faktor translokasi atau *Translocation factor* (TF) cukup beragam (**Tabel 4**). Nilai TF pada Cd di stasiun I sebesar 0,92 (0-100 m) dan 1,11 (100-200 m). Sedangkan pada stasiun II nilai TF sebesar 1,12 (0-100 m) dan 1 (100-200 m) dan stasiun III nilai TF sebesar 2,62 dengan jarak 0-100 m. Nilai TF Cd paling tinggi berada di stasiun III pada jarak 0-100 m (2,62). Fakta ini menjelaskan bahwa kemampuan mobilisasi logam berat dari akar menuju daun pada kawasan 0-100 m ini lebih tinggi. Hal ini diduga karena lokasi ini mendapatkan paparan logam berat terlarut lebih besar, karena berbatasan langsung dengan laut yang kemudian diakumulasi pada bagian daun.

Nilai *translocation factor* (TF) logam Fe di setiap stasiun memiliki nilai kurang dari 1, di

mana stasiun I dengan jarak (0-100 m) nilai TF sebesar 0,08 dan jarak 100-200 m sebesar 0,05. Pada stasiun II nilai TF logam Fe sebesar 0,11 jarak (0-100 m) dan 0,20 (100-200 m). Stasiun III memiliki nilai TF sebesar 0,22 jarak (0-100 m) dari garis pantai. Nilai TF Fe paling tinggi berada di stasiun III pada jarak 0-100 m (0,22). Data ini mengindikasikan bahwa jenis *R. apiculata* termasuk bersifat fitostabilisasi (TF<1) pada jenis logam berat Fe. Menurut Rachmawati *et al.* (2018) mekanisme kerja fitostabilisasi dilakukan melalui kemampuan akar tanaman dalam memodifikasi kondisi lingkungan di sekitarnya. Dalam proses ini, logam berat yang diserap oleh akar akan ditahan dan tidak dialirkan lebih lanjut ke bagian atas tanaman, melainkan diakumulasi dan diendapkan dalam substrat tanah. Fitostabilisasi berperan dalam menahan

pergerakan polutan dengan cara mengakumulasi logam, mengadsorpsinya pada permukaan akar, serta mengendapkannya di zona perakaran. Hal 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 2 untuk logam Cd. Nilai  $TF > 1$  menunjukkan bahwa *R. apiculata* memiliki mekanisme fitoekstraksi. Fitoekstraksi, yang juga dikenal sebagai fitoakumulasi, merupakan suatu mekanisme di mana tanaman menyerap logam berat melalui akar dan kemudian mentransfernya ke bagian tubuh lainnya seperti batang dan daun. Metode ini termasuk dalam pendekatan fitoremediasi, yakni teknik pemulihan lahan tercemar logam berat secara biologis menggunakan tanaman hidup, yang bertujuan untuk menurunkan tingkat bahaya polutan melalui proses biologis (Irhamni et al. 2017). Dalam proses ini, akar berperan aktif dalam menyerap unsur pencemar baik dari

sedimen maupun air, lalu unsur tersebut dialirkan ke bagian lain dari tanaman, menyebabkan penumpukan logam di jaringan spesifik. Translokasi logam dari akar ke daun didukung oleh sistem pembuluh xilem yang terdapat di akar (Supriyantini et al. 2017). Logam berat seperti Cd diketahui dapat berpindah dari akar menuju daun melalui sistem ini, sedangkan logam Fe cenderung tertahan di akar dan tidak mengalami translokasi ke jaringan daun.

### Pengaruh Parameter Lingkungan dan Kerapatan Vegetasi *R. apiculata* Terhadap Logam Berat Kadmium dan Besi Pada Tanaman

Pengaruh antara parameter lingkungan (Do, Salinitas, suhu, dan pH) serta kerapatan mangrove (pohon, pancang, dan semai) terhadap kandungan logam berat pada akar dan daun *R. apiculata*, ditunjukkan dengan hasil regresi pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil Uji Pengaruh Parameter Lingkungan dan Kerapatan Mangrove Terhadap Logam Fe dan Cd

Variabel	Cd		Fe	
	T-hitung	R <sup>2</sup>	T-hitung	R <sup>2</sup>
<b>Fisika-kimia</b>				
Suhu	0,638	0,083	0,567	0,121
pH	0,227	0,434	0,162	0,531
Salinitas	0,367	0,272	0,083	0,686
DO	0,412	0,231	0,126	0,596
<b>Kerapatan jenis</b>				
Tingkat pohon	0,718	0,050	0,484	0,175
Tingkat pancang	0,806	0,023	0,821	0,020

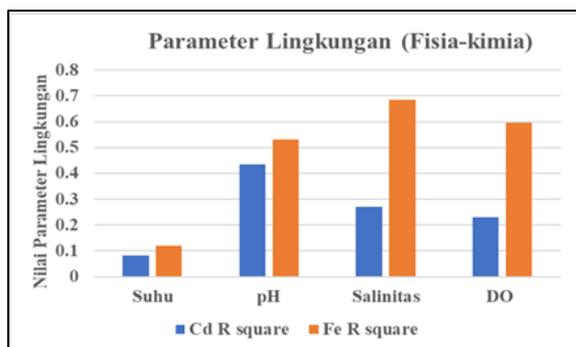
Sumber: Data primer (diolah) 2024

Ket: signifikansi (\*)

Hasil uji seperti tertera pada Tabel 5 menunjukkan tingkat signifikansi dari masing-masing parameter lingkungan yaitu suhu sebesar  $0,638 > (0,05)$ , atau dengan kata lain suhu tidak memiliki hubungan yang signifikan dengan konsentrasi logam Cd pada mangrove. Hal ini sejalan dengan tingkat pengaruh suhu terhadap kadar Cd yang termasuk kriteria sangat lemah 8,3%. Nilai pH sebesar  $0,227 > (0,05)$  yang di mana tidak ada hubungan yang signifikan pH dengan kadar logam Cd pada tanaman. Akan tetapi, besarnya pengaruh pH terhadap logam Cd memiliki pengaruh sedang sebesar 43,4%. Untuk nilai salinitas sebesar  $0,367 > (0,05)$  yang di mana tidak ada hubungan signifikan salinitas terhadap

kadar logam Cd pada tanaman dan untuk pengaruh salinitas terhadap logam Cd lemah dengan nilai sebesar 27,2%. Parameter lingkungan yang terakhir DO (*Dissolved oxygen*) tingkat signifikan sebesar  $0,412 > (0,05)$  atau terdapat hubungan yang tidak signifikan antara DO terhadap kandungan Logam Cd pada tanaman. Sedangkan besarnya pengaruh DO terhadap kandungan logam Cd 23,1%. Sesuai dengan penelitian Sukoasih et al. (2016) menyatakan bahwa suhu dan pH tidak memiliki hubungan dengan logam berat. Sedangkan besarnya pengaruh suhu dan PH sebesar 25% serta 10,9% yang di mana pengaruhnya lemah. Selanjutnya untuk pengaruh parameter

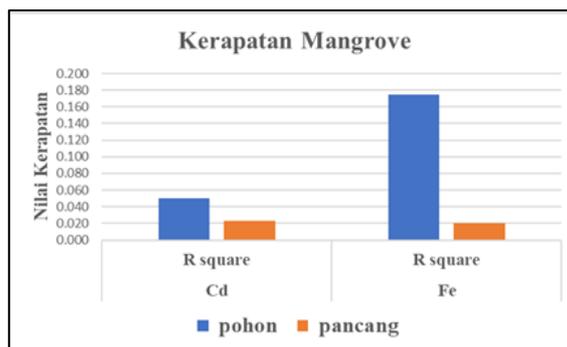
lingkungan terhadap logam Fe dapat dilihat tingkat signifikan dari masing-masing parameter lingkungan terhadap kandungan logam berat yaitu suhu sebesar  $0,567 > (0,05)$ , atau dengan kata lain tidak ada hubungan signifikan suhu air terhadap konsentrasi logam Fe pada tanaman. Sedangkan pengaruh suhu terhadap kadar Fe sebesar 12,1%. Nilai pH pada  $0,162 > (0,05)$  menunjukkan tidak ada pengaruh kadar logam Fe pada tanaman. Akan tetapi pengaruh pH terhadap logam Fe memiliki pengaruh 53,1%. Untuk nilai salinitas  $0,083 > (0,05)$  juga menunjukkan tidak ada hubungan terhadap konsentrasi logam Fe pada *R. apiculata*. Sedangkan untuk nilai pengaruh salinitas terhadap logam Fe sedang dengan nilai sebesar 68,6%. Begitu juga untuk nilai DO (*Dissolved oxygen*) yaitu  $0,821 > (0,05)$  menunjukkan hal yang sama pada kasus salinitas dan pH. Hal ini diperkuat oleh penelitian Nurmalasari *et al.* (2024) yang menunjukkan jika nilai Sig  $< 0,05$  maka terdapat hubungan yang signifikan dan apabila nilai Sig  $> 0,05$  maka tidak ada hubungan yang signifikan. Selain itu Kusuma *et al.* (2015), menambahkan logam berat yang terlarut di perairan sangat dipengaruhi oleh kondisi fisika-kimia perairan. Dapat dilihat (**Gambar 2**) pengaruh parameter lingkungan terhadap logam berat.



**Gambar 2.** Grafik pengaruh parameter lingkungan terhadap logam berat Cd dan Fe

Selanjutnya hasil perhitungan regresi linear dari kerapatan pohon terhadap kandungan logam berat Cd sebesar  $0,718 > 0,05$ , menunjukkan tidak adanya pengaruh terhadap kerapatan pohon terhadap kandungan Cd pada akar dan daun mangrove, sedangkan besarnya pengaruh kerapatan pohon terhadap kandungan Cd hanya berpengaruh 5,0%. Begitu juga pada logam Fe yang menunjukkan nilai sebesar 0,484

$< 0,05$ . Besarnya pengaruh kerapatan pohon terhadap kandungan Fe hanya 17,5%. Hubungan tingkat signifikan pancang terhadap logam Cd dan Fe tidak memiliki hubungan yang signifikan, akan tetapi pengaruh tingkat pancang terhadap logam Cd sangat lemah (2,3%) dan pada logam Fe (2,0%). Dapat dilihat pada (**Gambar 3**) pengaruh kerapatan terhadap logam berat.



**Gambar 3.** Pengaruh kerapatan terhadap logam berat Cd dan Fe

## Kesimpulan

Konsentrasi Fe pada daun dan akar *R. apiculata* melebihi baku mutu dibandingkan konsentrasi Cd pada daun dan akar *R. apiculata*. Pada penelitian ini juga menunjukkan tidak ada pengaruh jarak yang berbeda dari garis pantai, kerapatan tegakan dan parameter lingkungan tidak berpengaruh nyata terhadap keberadaan kandungan Fe dan Cd.

## 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.

## Referensi

- Alongi, D.M. (2014). Carbon Sequestration in Mangrove Forests. *Carbon Management*. 3(3), 313–322. <https://doi.org/10.4155/cmt.12.20>
- Alongi, D.M. (2018). Impact of Global Change on Nutrient Dynamics in Mangrove Forests. *Forests*. 9(10): 1-13. <https://doi.org/10.3390/f9100596>
- 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>
- Anu, K., Sneha, V. K., Busheera, P., Muhammed, J., & Augustine, A. (2024). Mangroves in Environmental Engineering: Harnessing the Multifunctional Potential of Nature's Coastal Architects for Sustainable Ecosystem Management. *Results in Engineering*. 21(101765): 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101765>
- Aprilia, D., Dianti., Arifiani, K.N., Cahyaningsih, A.P., Kusumaningrum, L., Sarno., Adha, K., Setyawan, A.D. (2020). Review: Biogeochemical Process in Mangrove Ecosystem. *International Journal of Bonorowo Wetlands*. 10(2): 126-141. <https://doi.org/10.13057/bonorowo/w100205>
- 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>
- Baker, A. J. M. (1981). Accumulator and Excludersstrategic in the Response of Plants to Heavy Metals. *Journal of Plant Nutrition*, 3(1-4), 643-654. <http://dx.doi.org/10.1080/01904168109362867>
- 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>
- Chatting, M., Al-Maslamani, I., Walton, M., Skov, M. W., Kennedy, H., Husrevoglu, Y. S., & Le Vay, L. (2022). Future Mangrove Carbon Storage under Climate Change and Deforestation. *Frontiers in Marine Science*. 9(781876): 1-14. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.781876>
- Choudhary, B., Dhar, V., & Pawase, A. S. (2024). Blue Carbon and The Role of Mangroves in Carbon Sequestration: Its Mechanisms, Estimation, Human Impacts and Conservation strategies for Economic Incentives. *Journal of Sea Research*. 199(102504): 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2024.102504>
- 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>
- Dudani, S.N., Lakhmapurkar, J., Gavali, D., & Patel, T. (2017). Heavy Metal Accumulation in the Mangrove Ecosystem of South Gujarat Coast, India. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 17(4): 755-766. [http://doi.org/10.4194/1303-2712-v17\\_4\\_11](http://doi.org/10.4194/1303-2712-v17_4_11)
- Elfrida, Setyoko, & Indriaty. (2020). Analisis Serapan Logam Pb, Cu dan Zn pada Tumbuhan *Bruguiera gymnorrhiza* dan *Rhizophora apiculata* di Hutan Mangrove Kuala Langsa. *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*. 17(2): 117-125. <https://doi.org/10.31851/sainmatika.v17i2.3749>
- Hambali, M. R., Ichsan, A. C., Valentino, N., & Prasetyo, A. R. (2024). Estimasi Simpanan Karbon Tegakan Menggunakan Citra Sentinel-2A pada Kawasan Mangrove Labuhan Tereng Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*. 9(4): 723-238. <https://doi.org/10.29303/jstl.v9i4.522>

- Heriyanto, N.M., Subiandono, E. (2016). Peran Biomassa Mangrove dalam Menyimpan Karbon di Kubu Raya, Kalimantan Barat. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 13(1), 1-12. <http://dx.doi.org/10.20886/jakk.2016.13.1.1-12>
- 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>
- Jaya, M. S., Maharani, M. D. D., & Febrina, L. (2021). Bioakumulasi Logam Berat pada *Avicennia marina* di Taman Wisata Alam Mangrove Angke Kapuk Jakarta. *Jurnal SEOI-Fakultas Teknik Universitas Sahid Jakarta*. 3(2): 1-15. <https://doi.org/10.36441/seoi.v3i2.440>
- 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>
- Khaeruddin, Yamin, M., & Syukur, A. (2018). Analisis Kandungan Logam Berat pada Tumbuhan Mangrove sebagai Bioindikator di Teluk Bima. *Jurnal Biologi Tropis*. 18(1): 69-79. <https://doi.org/10.29303/jbt.v18i1.731>
- Koka, E. G., Masao, C. A., Limbu, S. M., Kilawe, C. J., Norbert, J., Pauline, N. M., Perfect, J., & Mabhuve, E. B. (2025). A Systematic Review on Distribution, Sources and Impacts of Heavy Metals In Mangrove Ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 213, 117666. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117666>
- Kumar, I. N., Sajish, P. R., Kumar, R. N., Basil, G. & Shailendra, V. (2011). An Assessment of the Accumulation Potential of Pb, Zn, and Cd by *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. in Vamleshwar Mangroves, Gujarat, India. *World Journal of Fish and Marine Sciences*. 2(5): 36-40. <https://doi.org/10.15835/nsb315593>
- Kusuma, A. H., Prartono, T., Atmadipoera, A. S., & Arifin, T. (2015). Sebaran Logam Berat Terlarut Dan Terendapkan di Perairan Teluk Jakarta. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*. 6(1): 41–49. <https://doi.org/10.24319/jtpk.6.41-49>
- 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](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>
- Mughofar, A., Mohammad, M., Prabang, S. (2018). Zonasi dan Komposisi Vegetasi Hutan Mangrove Pantai Cengkong Desa Karanggandu Kabupaten Trenggalek Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 8(1), 77-85. <https://doi.org/10.29244/jpsl.8.1.77-85>
- Nguyen, A. (2024). How Pollution and Climate Change Affect the Future of Mangrove Forest - A Simulation Study on the Mangrove Area in the Thi Vai Catchment, Vietnam. *Sustainability*. 16(2), 1-23. <https://doi.org/10.3390/su16020528>
- Nguyen, A., Richter, O., Le, B. V. G., Phuong, N. T. K., & Dinh, K. C. (2020). Long-Term Heavy Metal Retention by Mangroves and Effect on Its Growth: A Field Inventory and Scenario Simulation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17 (23): 1-

24.  
<http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17239131>
- Nurfadilah, Valentino, N., Prasetyo, A. R., & Hadi, M. A. (2024). Ekostuktur 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>
- Nurmalasari, Y., Aji, I. M. L., & Sari, D. P. (2024). Hubungan Parameter Lingkungan Dengan Morfometrik Daun Mangrove Jenis *Rhizophora mucronata* pada Kawasan Mangrove Desa Labuan Tereng Kabupaten Lombok Barat. *Ulin Jurnal Hutan Tropis*. 8(2): 269-280.  
<http://dx.doi.org/10.32522/ujht.v8i2.13989>
- Putri, W. A. E., & Purwiyanto, A. I. S. (2016). Konsentrasi Cu dan Pb dalam Air dan Plankton di Sungai Musi Bagian Hilir. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 8(2), 773-780.  
<https://doi.org/10.29244/jitkt.v8i2.15841>
- 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>
- Razi, N. M., Fildah, Dhani, D. N., Nasir, M., Rizki, A., & Firdaus. (2023). Literatur Review: Pencemaran Logam Berat di Pelabuhan Indonesia. *Jurnal Laot Ilmu Kelautan*. 5(1): 48-61.  
<https://doi.org/10.35308/jlik.v5i1.7175>
- Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Pengelolaan dan Perlindungan Lingkungan Hidup. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 32. Sekretarian Negara. Jakarta.
- 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\\_NAFIA\\_TUL\\_ROMADHOTIN\\_125080100111099\\_MSP.pdf](https://repository.ub.ac.id/id/eprint/134940/1/LAPORAN_SKRIPSI_SITI_NAFIA_TUL_ROMADHOTIN_125080100111099_MSP.pdf)
- Rozirwan, Khotimah, N. N., Putri, W. A. E., Fauziyah, Aryawati, R., Diansyah, D., 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>
- S., Kleinhans, M.G., Maza, M., van Bijsterveldt, C.E.J., van Der Stocken, T., van Wesenbeeck, B., Xie, D., & Bouma, T. J. (2023). Mangrove Forests as a Nature-Based Solution for Coastal Flood Protection: Biophysical and Ecological Considerations. *Water Science and Engineering*. 16(1): 1-13.  
<https://doi.org/10.1016/j.wse.2022.10.004>
- Sari, D. P., Hidayati, E., & Webliana, K. (2024). Bioakumulasi Logam Berat Pb dan Cu pada *Rizophora mucronata* di Kawasan Mangrove Sekitar Pelabuhan Lembar Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal Hutan Tropis*. 12(2): 227-235.  
<https://dx.doi.org/10.20527/jht.v12i2.19773>
- 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>
- Sengkey, F. E., Langi, M. A. & Tasirin, J. S. (2014). Struktur dan Komposisi Hutan Mangrove Likupang Kabupaten Minahasa Utara Provinsi Sulawesi Utara. *Cococs*. 6(13): 1–17.  
<https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/cococs/article/view/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>
- Septiantika. (2023). Potensi *Rhizophora*

- apiculata Blume. Dalam Fitoremediasi Logam Berat Pb dan Cu di Kawasan Cagar Alam Hutan Bakau Pantai Timur. Desa Alang-alang, Tanjung Jabung Timur, Jambi. Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Sukoasih, A., Widiyanto, T., & Suparmin. 2017. Hubungan Antara Suhu, Ph dan Berbagai Variasi Jarak Dengan Kadar Timbal (Pb) pada Badan Air Sungai Rompong dan Air Sumur Gali Industri Batik Sokaraja Tengah Tahun 2016. *Buletin Keslingmas*. 36(4): 360-368.  
<https://doi.org/10.31983/keslingmas.v36i4.3115>
- 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>
- Xu, M., Sun, C., Zhan, Y., & Liu, Y. (2024). Impact and Prediction of Pollutant on Mangrove and Carbon Stocks: A Machine Learning Study Based on Urban Remote Sensing Data. *Geoscience Frontiers*. 15(3), 1-18.  
<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101665>