

BIOAKUMULASI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) PADA SPESIES MANGROVE *Bruguiera gymnorrhiza* DAN *Sonneratia caseolaris* DI TELUK BENOA, BALI

Ni Luh Eka Yanti*, Ni Made Ernawati, Ayu Putu Wiweka Krisna Dewi

Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Kelautan Dan Perikanan Universitas Udayana

*Email : Ekayanti.tati07@gmail.com

ABSTRACT

Bioaccumulation of Heavy Metal Lead (Pb) In Mangrove Species *Bruguiera gymnorrhiza* And *Sonneratia Caseolaris* In Benoa Bay, Bali

Mangrove ecosystems are unique coastal environments capable of growing in tidal zones and along riverbanks, playing a crucial ecological role. *Bruguiera gymnorrhiza* and *Sonneratia caseolaris* are common mangrove species in estuarine areas, known to absorb heavy metals such as lead (Pb) through their roots. This study evaluated Pb accumulation in sediments and these two mangrove species in Teluk Benoa, Bali, and analyzed their bioaccumulation potential using Bioconcentration Factor (BCF) and Translocation Factor (TF). Samples of sediments, roots, and fruits were collected from three stations and analyzed using Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). The results showed that Pb concentrations in fruits of *B. gymnorrhiza* reached 32.43 ppm, exceeding the FAO/WHO safe limit of 10 ppm, while *S. caseolaris* fruits contained lower Pb levels (1.41–12.16 ppm). BCF values for *B. gymnorrhiza* ranged from 28.03 in roots to 54.56 in fruits, indicating high accumulation, whereas *S. caseolaris* showed lower BCF (<10). TF analysis revealed that *B. gymnorrhiza* functions primarily as a phytoextractor, while *S. caseolaris* acts as a phytostabilizer. These findings highlight the species-specific bioaccumulation patterns, potential risks of biomagnification, and implications for food safety, ecotoxicology, and coastal ecosystem management.

Keywords: Bioaccumulation, lead (Pb), mangrove, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Sonneratia caseolaris*

1. PENDAHULUAN

Mangrove adalah kumpulan beberapa jenis tanaman yang hidup di daerah pasang surut air laut dan memiliki fungsi ekologis penting, termasuk menciptakan iklim mikro yang mendukung ekosistem sekitarnya (Imran dan Effendi, 2016). Selain itu, mangrove memiliki toleransi yang cukup tinggi terhadap cemaran logam berat di habitatnya (Shahil dan Soamole, 2013), berkat fungsi biofilternya dan kemampuan fitoremediasi yang tinggi. Kemampuan ini

memungkinkan mangrove menyaring, mengendapkan, dan mengikat logam berat dari air atau tanah di sekitarnya (Sanadi *et al.*, 2018). Namun, setiap spesies mangrove memiliki kemampuan berbeda dalam menyerap dan menyaring logam berat (Cheng *et al.*, 2014). Perbedaan ini dipengaruhi oleh jenis akar dan kemampuan fisiologis lainnya yang dimiliki masing-masing spesies (Hossain *et al.*, 2018). Contohnya, *Bruguiera gymnorrhiza* dan *Sonneratia caseolaris* meskipun hidup pada salinitas yang sama, yaitu di daerah

pertemuan sungai dan laut, memiliki efektivitas berbeda dalam menyerap logam berat, termasuk timbal (Pb) (Huang dan Wang, 2010). Kedua spesies ini juga memiliki nilai ekonomi bagi masyarakat sekitar karena buahnya dapat diolah menjadi bahan makanan dan minuman (Utari *et al.*, 2016).

Kawasan mangrove terluas yang berada di Pulau Bali terletak di Teluk Benoa, dimana Teluk Benoa merupakan daerah konservasi yang memiliki peranan sangat penting dalam menjaga stabilitas berbagai ekosistem dan hidrologi yang ada dalam Teluk Benoa dan sekitarnya (Putra *et al.*, 2021). Berdasarkan reklamasi Teluk Benoa pada Tahun 2012 diduga memberikan dampak yang cukup buruk terhadap keberadaan dan keberlangsungan hidup tanaman mangrove yang berada di kawasan Teluk Benoa. Hal ini dikarenakan akibat dari perluasan wilayah pembangunan menyebabkan banyak tanaman mangrove yang harus di musnahkan, sehingga menekan keberlangsungan hidup flora dan fauna di perairan Teluk Benoa (Rachman *et al.*, 2016). Selain itu Teluk Benoa merupakan daerah tempat bermuaranya beberapa sungai yang ada di Bali. Sungai – sungai tersebut merupakan sungai – sungai besar dan banyak mengalir di sekitaran Pemukiman warga dan juga daerah pariwisata. Sehingga aliran sungai yang masuk ke dalam kawasan Teluk Benoa di duga membawa berbagai jenis bahan pencemar yang dapat merusak ekosistem perairan di Teluk Benoa, salah satu jenis bahan pencemar yang masuk ke dalam Teluk Benoa dapat berupa logam berat, salah satunya yaitu logam berat Timbal (Pb) (Hutahaeen, 2015; Karimah, 2017).

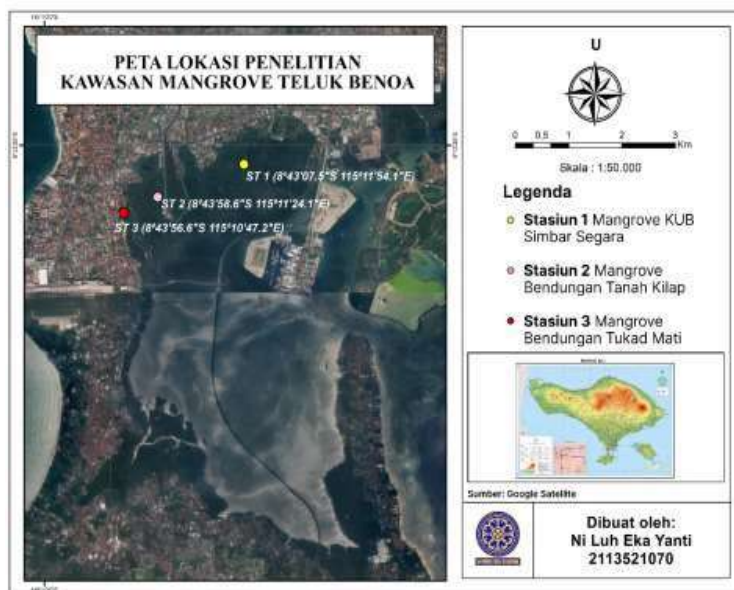
Kawasan Teluk Benoa diduga mengandung cemaran logam berat, termasuk timbal (Pb), seperti yang dilaporkan pada air dan ikan tangkapan oleh Mardani *et al.* (2018) serta pada

plankton oleh Sudarmawan *et al.* (2020). Meskipun demikian, informasi mengenai akumulasi Pb pada tanaman mangrove dan sedimen di wilayah ini masih terbatas, terutama data kuantitatif berupa *Bioconcentration Factor* (BCF) dan *Translocation Factor* (TF). Bukti terkait kemampuan spesies mangrove lokal, seperti *Bruguiera gymnorrhiza* dan *Sonneratia caseolaris*, dalam menyerap logam berat di Bali masih sedikit, sehingga pemahaman mengenai potensi bioakumulasi dan risiko ekologisnya belum lengkap. Padahal, mangrove berperan sebagai agen fitoremediasi dan bagian tanamannya dimanfaatkan masyarakat sebagai bahan pangan. Oleh karena itu, studi ini mengeksplorasi akumulasi Pb pada sedimen dan kedua spesies mangrove tersebut di Teluk Benoa serta menganalisis nilai BCF dan TF, guna mengisi kekurangan informasi tersebut dan memberikan gambaran mengenai kemampuan bioakumulasi serta risiko ekologisnya.

2. METODOLOGI

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di hutan mangrove Teluk Benoa dengan tiga titik lokasi yang berbeda berdasarkan keberadaan tanaman mangrove *Bruguiera gymnorrhiza* dan *Sonneratia caseolaris* (Gambar 1). Dan dilakukan pada bulan Januari – April 2025. Data yang di ambil berupa, sampel pada sedimen, akar, dan buah mangrove. Pengambilan data dilakukan sekali dalam masa penelitian, Sampel kemudian didestruksi di Laboratorium Analitik Universitas Udayana dan dianalisis melalui metode AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) di Laboratorium MIPA Terpadu guna mengetahui kandungan Timbal (Pb) yang terdapat pada sedimen dan juga tanaman mangrove *B. gymnorrhiza* dan *S. caseolaris*.



Gambar 1
Peta Lokasi Peneletian

2.2 Prosedur Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel sedimen, akar, dan buah mangrove dilakukan secara manual di tiga stasiun penelitian di Teluk Benoa: Stasiun 1 (Mangrove KUB Simbar Segara; 8°43'07.5"S, 115°11'54.1"E), Stasiun 2 (Mangrove Bendungan Tanah Kilap; 8°43'36.6"S, 115°11'24.1"E), dan Stasiun 3 (Mangrove Bendungan Tukad Mati; 8°43'56.6"S, 115°10'47.2"E), seperti ditunjukkan pada Peta 1. Sampel sedimen diambil menggunakan pipa PVC berdiameter 10 cm pada kedalaman 0–10 cm. Sampel akar diambil dengan memotong sebagian akar mangrove, sedangkan sampel buah dipetik secara langsung. Semua sampel disimpan dalam kantong plastik khusus dan dibawa ke Laboratorium untuk pengujian dan pembacaan konsentrasi Pb.

Data konsentrasi Pb digunakan untuk menghitung rata-rata dan standar deviasi, serta perhitungan *Bioconcentration Factor* (BCF) dan *Translocation Factor* (TF) pada kedua spesies mangrove, *Bruguiera gymnorrhiza* dan *Sonneratia caseolaris*. Hasil BCF dan TF disajikan dalam bentuk diagram batang, sedangkan perbandingan akumulasi Pb antara sedimen dan tanaman

mangrove dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Karena pengambilan sampel hanya dilakukan satu kali di tiap stasiun, analisis ini bersifat deskriptif dan tidak diuji secara statistik inferensial.

2.3 Tahapan Pengukuran Kandungan Logam Berat

Langkah – langkah pengukuran Pb pada tanaman mangrove dan sedimen melibatkan pengambilan sampel, persiapan, proses destruksi dan analisis menggunakan metode AAS (Spektroskopi Serapan Atom). Pengukuran pada sedimen menggunakan metode spektrofotometri serapan atom. Sampel dimasukkan kedalam aluminium foil lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 6 jam. Setelah itu, sampel dihaluskan kemudian di timbang. Sebanyak satu gram, sampel yang sudah ditimbang dituang ke dalam gelas kimia 100 mL, lalu tambahkan 8 mL HNO₃ panaskan pada suhu 140°C hingga larut. Pemanasan diteruskan hingga setengah kering, lalu didinginkan, kemudian masukkan ke dalam labu ukur 100 mL, dan tambahkan aquades hingga tanda batas. Kemudian saring sampel menggunakan kertas Whatman dan diukur

dengan menggunakan AAS (Febriyanto *et al.*, 2022).

Untuk mengukur konsentrasi Pb pada akar dan buah mangrove, digunakan metode AAS (Spektroskopi Serapan Atom). Akar dan buah mangrove dibersihkan, dikeringkan menggunakan oven pada suhu 80°C dalam kurun waktu 48 jam, setelah itu dihaluskan, lalu kemudian ditimbang sebanyak 0,5 gram dan dimasukkan ke dalam gelas piala berukuran 100 mL, ditambahkan 5 mL H₂SO₄ pekat, dan dihomogenkan. Sampel dipanaskan di atas hotplate pada suhu 95°C, kemudian ditambahkan 5 mL HNO₃, larutan dipanaskan hingga uap H₂SO₄ menghilang. Kemudian di angkat dan larutan didinginkan, ditambahkan 20 mL aquades, lalu disaring hingga volume filtrat mencapai 25 mL. (Khairudin *et al.*, 2018; Ismail *et al* 2020).

2.4 Analisis Data

Berdasarkan hasil pengukuran, ditemukan konsentrasi logam berat Pb pada sedimen serta kedua spesies mangrove (*Bruguiera gymnorrhiza* dan *Sonneratia caseolaris*). Untuk mengetahui sifat akumulasi Pb dan mekanisme fitoremediasi pada tanaman mangrove, dilakukan perhitungan *Bioconcentration Factor* (BCF) dan *Translocation Factor* (TF). Hasil BCF dan TF disajikan dalam bentuk diagram batang dan dideskripsikan untuk menilai tingkat akumulasi Pb pada kedua spesies. Selain itu, perbandingan akumulasi Pb antara sedimen dan tanaman mangrove dianalisis secara deskriptif kuantitatif berdasarkan konsentrasi Pb yang diukur.

2.4.1 Penggolongan Sifat Akumulasi Logam Berat

Untuk mengetahui sifat akumulasi Pb pada tanaman mangrove dihitung menggunakan rumus faktor biokonsentrasi/ *bioconcentration factor*

(BCF). Rumus faktor biokonsentrasi menurut MacFarlane *et al.*, 2007

$$BCF = \frac{cb}{cm} \quad (1)$$

Keterangan:

BCF = Faktor Biokonsentrasi

Cb = Konsentrasi dalam biota (akar/ buah) (ppm)

Cm = Konsentrasi dalam media/ sedimen (ppm)

Berdasarkan penghitungan nilai BCF pada tanaman mangrove sifat akumulasi logam berat dapat digolongkan berdasarkan tabel van esch 1997.

Tabel 1 Indeks Faktor Biokonsentrasi

Nilai BCF	Keterangan
BCF < 1	Sifat akumulasi rendah
BCF = 1 – 100	Sifat akumulasi sedang
BCF > 100	Sifat akumulasi tinggi

2.4.2 Penggolongan Mekanisme Fitoremediasi mangrove

Untuk mengidentifikasi mekanisme fitoremediasi tanaman mangrove dapat dihitung menggunakan rumus Faktor Translokasi/*Translocation Factors* (TF) Berikut merupakan rumus perhitungan TF menurut MacFarlane *et al.*, 2007:

$$TF = \frac{C_{\text{buah}}}{C_{\text{Akar}}} \quad (2)$$

Keterangan:

TF = Faktor translokasi

C = konsentrasi

Faktor translokasi pada tanaman mangrove dapat dikategorikan sebagai berikut berdasarkan Baker dan Brooks (1989).

>1: Tumbuhan mangrove tergolong dalam fitoekstraksi.

<1: Tumbuhan mangrove tergolong dalam fitostabilisasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Spesies mangrove *Bruguiera gymnorrhiza* dan *Sonneratia caseolaris*

3.1.1 Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Tumbuhan Mangrove dan Sedimen

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan ditemukan hasil terkait dengan adanya kandungan logam berat pada Sedimen dan Tanaman Mangrove di Teluk Benoa (Tabel 2)

Tabel 2. Konsentrasi Pb pada Tanaman Mangrove dan Sedimen

Sampel		Konsentrasi Pb (ppm)			
		Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Rata – rata
Sedimen	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	Ttd	0,22	2,18	1,20
	<i>Sonneratia caseolaris</i>	2,67	6,59	9,06	6,11
Akar	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	Ttd	6,24	1,41	3,83
	<i>Sonneratia caseolaris</i>	2,40	5,28	19,06	8,91
Buah	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	18,78	12,15	32,43	21,12
	<i>Sonneratia caseolaris</i>	Ttd	1,41	12,16	6,79

* Tidak Terdeteksi

Berdasarkan tabel 2 diketahui bahwa konsentrasi Pb pada sedimen dan dua spesies mangrove berbeda pada setiap stasiunnya. Wulandari *et al.*, 2018 menyebutkan bahwa berbagi faktor dapat mempengaruhi nilai akumulasi Logam Berat Pb pada spesies Mangrove seperti kondisi lingkungan dan karakteristik setiap spesies mangrove. Konsentrasi Pb di dalam sedimen pada spesies mangrove *B. gymnorrhiza* lebih rendah dibandingkan pada spesies *S. caseolaris*. Konsentrasi Pb dalam sedimen pada spesies *B. gymnorrhiza* hanya terdeteksi di dua stasiun yaitu stasiun 1 dan 2 masing-masing sebesar 0,22 ppm dan 2,18 ppm, sedangkan pada spesies *S. caseolaris* terdeteksi pada semua stasiun dengan nilai masing-masing 2,67 ppm (stasiun 1), 6,59 ppm (stasiun 2), dan 9,06 ppm (stasiun 3).

Konsentrasi Pb yang ditemukan pada akar mangrove *B. gymnorrhiza* dan *S. caseolaris* memiliki perbedaan nilai. Utari *et al.*, 2023 menyatakan, perbedaan bentuk akar mempengaruhi proses penyerapan kandungan logam berat yang berada di lingkungan sekitar tumbuhnya tumbuhan mangrove. Selain itu adanya

senyawa yang terkandung pada akar juga memengaruhi laju penyerapan dan distribusi logam berat pada lingkungan ke dalam organ tumbuhan. Konsentrasi Pb yang ditemukan pada akar mangrove *B. gymnorrhiza* pada stasiun 1 tidak terbaca sedangkan pada stasiun 2 dan 3 konsentrasi Pb berturut-turut yaitu 6,24 ppm dan 1,41 ppm. Sementara itu konsentrasi Pb pada akar mangrove *S. caseolaris* di stasiun 1, 2, dan 3 berturut-turut yaitu 2,4 ppm, 19,06 ppm, dan 5,28 ppm. Konsentrasi Pb diakar *S. caseolaris* lebih tinggi dibandingkan konsentrasi Pb pada akar *B. gymnorrhiza*.

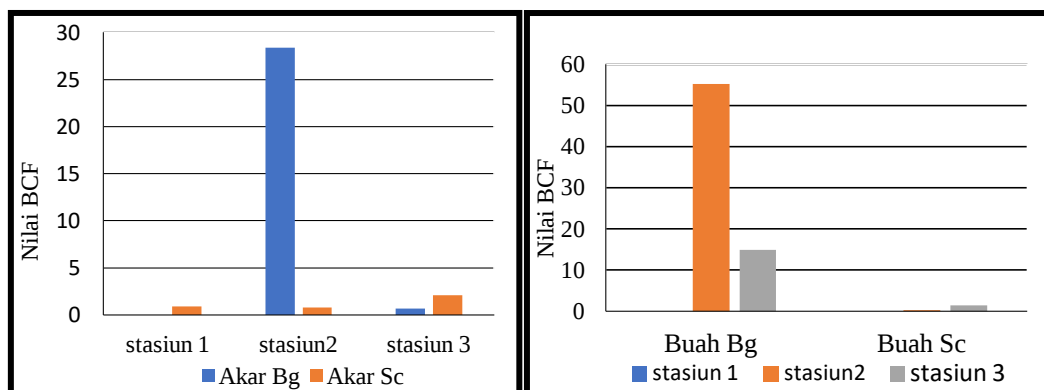
Konsentrasi Pb yang didapatkan pada buah mangrove di Teluk Benoa berbeda pada setiap stasiun. Kandungan Pb pada spesies *B. gymnorrhiza* cenderung lebih tinggi dibanding *S. caseolaris*. Berdasarkan hasil penelitian, Pb tertinggi pada *B. gymnorrhiza* ditemukan di stasiun tiga sebesar 32,43 ppm, sedangkan pada stasiun satu dan dua masing-masing 18,78 dan 12,15 ppm. Untuk *S. caseolaris*, konsentrasi Pb lebih rendah, yaitu 1,41 dan 12,16 ppm pada stasiun dua dan tiga, sementara di stasiun satu tidak terdeteksi.

Jika dibandingkan dengan baku mutu logam berat untuk pangan, misalnya standar FAO/WHO untuk timbal dalam buah sebesar 10 ppm, nilai Pb pada *B. gymnorrhiza* di stasiun tiga melebihi batas aman, sedangkan *S. caseolaris* sebagian besar berada di bawah batas tersebut. Hasil ini juga sejalan dengan penelitian sebelumnya; misalnya Khairudin et al. (2018) melaporkan akumulasi logam berat yang tinggi pada buah mangrove dalam tahap berkembang, namun tidak semua spesies menunjukkan pola yang sama. Perbedaan konsentrasi antar spesies dan stasiun dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, laju metabolisme, struktur jaringan, serta mekanisme detoksifikasi spesies masing-masing (Elfrida et al., 2020). Nilai Pb pada *B. gymnorrhiza* di

Teluk Benoa juga relatif lebih tinggi dibanding hasil penelitian di Teluk Jakarta, yang melaporkan 25 ppm pada bagian buah sejenis (Smith et al., 2017), menunjukkan potensi akumulasi logam berat yang spesifik pada lokasi ini.

3.1.2 Nilai Bioconcentration Factor (BCF)

Faktor Biokonsentrasi (BCF) digunakan untuk menyetakan perbandingan antara konsentrasi logam berat yang terakumulasi dalam jaringan organisme dengan konsentrasi logam berat di lingkungan. Berdasarkan hasil analisis, nilai BCF (gambar 4.2) pada dua spesies mangrove *Bruguiera gymnorrhiza* dan *Sonneratia caseolaris*, di tiga stasiun pengamatan menunjukkan variasi yang berbeda.



Gambar 2
Nilai Biococentration Faktor (BCF) Akar dan Buah

Perolehan hasil perhitungan faktor biokonsentrasi (BFC), diketahui bahwa *Bruguiera gymnorrhiza* memiliki kemampuan akumulasi timbal (Pb) yang lebih tinggi dibandingkan dengan *Sonneratia caseolaris*. Perbedaan ini terlihat jelas terutama pada bagian akar dan buah di Stasiun dua. Nilai BFC tertinggi ditemukan pada akar *B. gymnorrhiza* di Stasiun dua, yaitu sebesar 28.03, sedangkan bagian buahnya mencatat akumulasi tertinggi dengan nilai 54.56 di lokasi yang sama. Hal ini mengindikasikan bahwa *B. gymnorrhiza* memiliki mekanisme yang lebih efektif

dalam menyerap dan mendistribusikan Pb dalam jaringan tubuhnya, terutama pada lingkungan yang memiliki kadar Pb tinggi. Ivanciuc et al., 2006 menyatakan kemampuan mangrove dalam menyerap logam berat di lingkungan perairan melalui akar dan kemudian mendistribusikan ke bagian organ tumbuhan lainnya dapat digunakan sebagai salah satu media dalam melindungi ekosistem perairan terhadap masuknya bahan pencemar ke dalam perairan.

Sementara itu, *Sonneratia caseolaris* menunjukkan kapasitas akumulasi Pb

yang lebih rendah dibandingkan *B. gymnorrhiza*. Konsentrasi Pb tertinggi pada spesies ini tercatat pada akar di Stasiun dua dengan nilai 2.89, sedangkan pada buahnya akumulasi tertinggi ditemukan di Stasiun tiga dengan nilai 1.34. Pola distribusi ini menunjukkan bahwa *S. caseolaris* cenderung mempertahankan Pb dalam akarnya dan tidak banyak mentranslokasikannya ke bagian lain seperti buah, berbeda dengan *B. gymnorrhiza* yang lebih aktif dalam menyalurkan Pb ke jaringan buahnya. Berdasarkan hasil yang ditemukan hal ini selaras dengan pernyataan Syafira *et al.*, 2023 bahwa perbedaan pola akumulasi dan laju perpindahan logam berat pada tumbuhan mangrove di pengaruhi oleh faktor internal yaitu perbedaan spesies mangrove, tipe perakaran, struktur jaringan pada tumbuhan, usia tumbuhan, dan kemampuan setiap spesies dalam menyerap dan menyimpan logam berat yang masuk ke dalam sistem biologisnya.

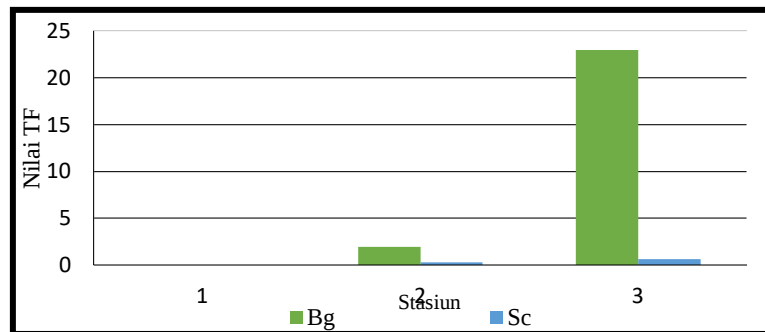
Lokasi pengambilan sampel yang berbeda juga menjadi salah satu faktor perbedaan nilai akumulasi Pb yang diperoleh pada stasiun dua menunjukkan tingkat akumulasi Pb yang paling tinggi, terutama pada *B. gymnorrhiza*. Hal ini mengindikasikan bahwa area tersebut memiliki tingkat cemaran logam berat lebih tinggi dibandingkan dengan lokasi lainnya. Sebaliknya, meskipun Stasiun tiga secara umum memiliki nilai BCF yang lebih rendah, akumulasi Pb pada buah *S. caseolaris* masih cukup signifikan. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh faktor lingkungan seperti kondisi sedimen, kadar logam berat yang tersedia, serta kemampuan spesifik masing-masing spesies dalam menyerap

dan mendistribusikan Pb (Puspita *et al.*, 2014). Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa *B. gymnorrhiza* lebih adaptif dalam menghadapi pencemaran Pb dibandingkan *S. caseolaris*, terutama dalam kondisi lingkungan yang memiliki kadar Pb tinggi.

Sesuai dengan indeks BCF pada tabel 1 dapat di lihat bahwa $BCF > 1$ menandakan bahwa tanaman efektif dalam mengakumulasi Pb dari lingkungan. *Bruguiera gymnorrhiza* memiliki nilai BCF yang jauh lebih tinggi, menjadikannya sebagai spesies yang lebih potensial untuk digunakan sebagai bioindikator pencemaran logam berat. Sebaliknya, meskipun *S. caseolaris* memiliki akumulasi Pb yang lebih rendah, spesies ini tetap dapat menyerap Pb terutama melalui akarnya. Secara keseluruhan, *B. gymnorrhiza* lebih efektif dalam menyerap dan menyimpan Pb dari sedimen dibandingkan *S. caseolaris*, khususnya di lokasi dengan tingkat pencemaran yang tinggi seperti Stasiun dua.

3.1.3 Nilai Translocation Factor (TF)

Faktor Transferlokasi (TF) merupakan indikator yang digunakan untuk menilai kemampuan tanaman dalam memindahkan logam berat dari akar menuju organ bagian atas, seperti daun maupun buah. Perhitungan nilai TF dilakukan dengan membandingkan konsentrasi logam berat pada jaringan bagian atas dengan konsentrasi yang terdapat pada akar. Gambar 3 menunjukkan hasil analisis nilai TF pada dua spesies mangrove, *B. gymnorrhiza* dan *S. caseolaris*, di tiga stasiun penelitian.



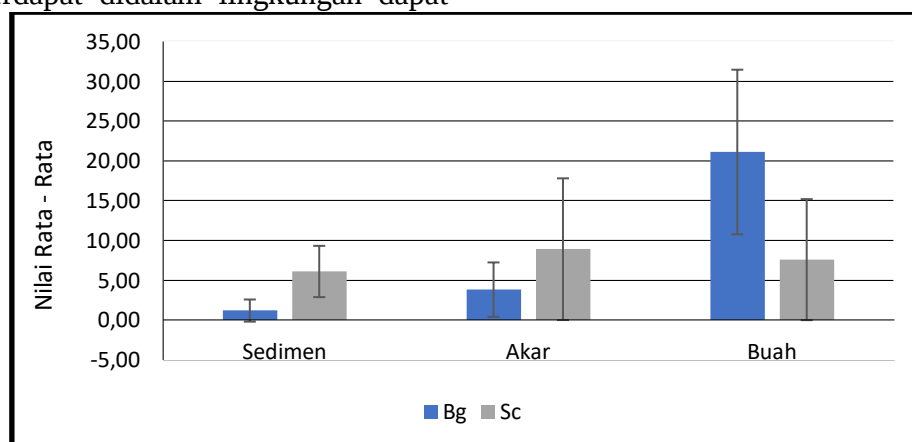
Gambar 3
Nilai Translocation Factor

Berdasarkan data yang diperoleh melalui perhitungan nilai TF pada spesies mangrove *B. gymnorhiza* dan *S. caseolaris* berbeda di setiap stasiun pada stasiun satu kedua spesies ini tergolong kedalam tumbuhan mangrove fitostabilisasi dikarenakan berdasarkan hasil perhitungan menunjukan angka dibawah satu. Dan pada stasiun dua terdapat dua perbedaan fungsi antara kedua spesies ini yaitu tumbuhan mangrove *B. gymnorhiza* tergolong kedalam tumbuhan mangrove fitoekstraksi dan *S. caseolaris* tergolong tumbuhan mangrove fitostabilisasi. Sedangkan pada stasiun ketiga kedua spesies tergolong kedalam tumbuhan mangrove fitoekstraksi dikarenakan hasil yang didapatkan lebih dari satu. Fitoekstraksi adalah kemampuan menyerap logam berat dan menyimpannya di buah sehingga kandungan logam berat yang terdapat didalam lingkungan dapat

dikeluarkan dari lingkungan dengan cara memetik buahnya (khairuddin *et al.*, 2018). sedangkan fitostabilisasi adalah tumbuhan ini lebih banyak menahan Pb dalam akarnya, sehingga kurang efektif dalam mentranslokasikan logam berat ke bagian atas tumbuhan (Sanadi *et al.*, 2018).

3.2 Perbandingan Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Tumbuhan Mangrove dan Sedimen

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan konsentrasi timbal (Pb) pada sampel tumbuhan mangrove dan sedimen digunakan sebagai indikator untuk mengetahui kandungan Pb pada tumbuhan mangrove dan sedimen. Konsentrasi Pb pada tumbuhan mangrove dan Sedimen dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4
Nilai konsentrasi Pb Pada Tumbuhan mangrove dan Sedimen

Berdasarkan diagram pada Gambar 4, terlihat bahwa konsentrasi Pb pada jaringan tumbuhan mangrove ditemukan lebih tinggi dibandingkan pada sedimen di lokasi yang sama. Rata-rata konsentrasi Pb pada sedimen untuk *Bruguiera gymnorhiza* hanya sekitar 1 ppm, sedangkan pada *Sonneratia caseolaris* sedikit lebih tinggi, yakni sekitar 6 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun sedimen merupakan sumber utama logam berat, konsentrasi yang terdeteksi tidak secara langsung mencerminkan tingkat pencemaran pada jaringan tanaman. Menurut Marchand *et al.* (2011), sedimen mangrove memang berperan sebagai tempat penjerapan logam berat, tetapi tingkat bioavailabilitas logam dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti pH, kandungan bahan organik, dan redoks, sehingga tidak seluruh logam tersedia bagi tanaman untuk diserap.

Pada bagian akar kedua spesies mangrove ditemukan lebih tinggi dibandingkan sedimennya. Akar *S. caseolaris* mengandung Pb sekitar 9 ppm, sedangkan akar *B. gymnorhiza* berkisar pada 3–4 ppm. Ini menunjukkan bahwa akar merupakan tempat utama akumulasi logam berat karena berinteraksi langsung dengan sedimen. Mekanisme ini merupakan bentuk adaptasi fisiologis untuk membatasi transpor logam ke jaringan atas yang lebih sensitif. Menurut MacFarlane dan Burchett (2002), akar mangrove memiliki kemampuan untuk mengikat logam dalam bentuk senyawa kompleks seperti fitokelatin atau metallothionein, sehingga logam tidak bersifat toksik terhadap sel tanaman.

Perbedaan pola akumulasi juga terlihat pada bagian buah. *B. gymnorhiza* menunjukkan konsentrasi Pb tertinggi pada buah, yaitu sekitar 21 ppm, jauh melampaui konsentrasi pada sedimen maupun akarnya sendiri. Sebaliknya, pada buah *S. caseolaris* memiliki kandungan Pb yang lebih rendah, yakni sekitar 7–8 ppm.

Hal ini menjelaskan bahwa *B. gymnorhiza* mempunyai kemampuan translokasi Pb dari akar ke organ atas yang lebih besar dibandingkan *S. caseolaris*. Kemampuan ini dapat disebabkan oleh efisiensi sistem vaskuler serta struktur jaringan tanaman. Menurut Chen *et al.* (2019), laju perpindahan logam berat dari akar ke bagian atas tanaman dipengaruhi oleh aktivitas fisiologis spesifik tiap spesies, termasuk kemampuan menyesuaikan diri terhadap tekanan lingkungan.

Secara keseluruhan, tingginya kandungan Pb dalam jaringan tumbuhan, khususnya pada akar dan buah, dibandingkan dengan sedimen mengindikasikan terjadinya proses bioakumulasi. Proses ini mencerminkan peran penting mangrove sebagai penyerap logam berat dari lingkungan, yang potensial dimanfaatkan dalam strategi pemantauan dan pengendalian pencemaran logam di wilayah pesisir. Tam dan Wong (1995) mengungkapkan bahwa tanaman mangrove memiliki kemampuan akumulasi yang tinggi terhadap logam berat tanpa menunjukkan gejala kerusakan yang nyata, sehingga efektif digunakan sebagai agen fitoremediasi.

Namun, tingginya konsentrasi Pb pada bagian buah menimbulkan potensi risiko biomagnifikasi, karena logam berat dapat berpindah ke konsumen sekunder seperti ikan atau burung, dan akhirnya sampai ke manusia melalui konsumsi pangan lokal. Hal ini menekankan perlunya evaluasi risiko pangan masyarakat yang memanfaatkan buah atau bagian lain dari mangrove. Selain itu, akumulasi Pb yang tinggi juga dapat berdampak pada ekotoksikologi, memengaruhi kesehatan organisme dalam ekosistem pesisir dan fungsi ekosistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, hasil penelitian ini tidak hanya relevan untuk pemantauan lingkungan, tetapi juga untuk strategi pengelolaan risiko ekologis dan kesehatan masyarakat.

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Temuan penelitian menunjukkan bahwa *B. gymnorrhiza* lebih efektif dalam mengakumulasi dan mentranslokasikan Pb dibanding *S. caseolaris*, menegaskan potensinya sebagai bioakumulator dan agen fitoremediasi di ekosistem mangrove tercemar. Akumulasi logam yang lebih tinggi pada jaringan tanaman dibanding sedimen menunjukkan mangrove berperan tidak hanya sebagai penyerap logam, tetapi juga sebagai indikator biologis kualitas lingkungan. Perbedaan akumulasi antar lokasi menyoroti pengaruh kondisi lingkungan terhadap distribusi logam dalam tanaman. Secara ilmiah, hasil ini memiliki implikasi penting untuk pemantauan logam berat, evaluasi risiko ekotoksikologi, serta strategi pengelolaan pangan lokal dan perlindungan ekosistem pesisir.

4.2 Saran

Diharapkan agar kedepannya dilakukan penelitian serupa dengan menggunakan spesies mangrove yang berbeda, dan menganalisis faktor lingkungan yang lebih mendalam. Melihat dari banyaknya spesies mangrove yang terdapat di Teluk Benoa dan melihat dari masuknya bahan pencemar ke dalam perairan Teluk Benoa yang tidak hanya berasal dari sungai ataupun daerah pemukiman, tetapi juga berasal dari pelabuhan kapal di Teluk Benoa. Di sisi lain, dengan ditemukannya kandungan Pb dalam buah mangrove, diperlukan analisis lebih lanjut terkait efek kesehatan jika buah tersebut dikonsumsi dalam jangka panjang. Uji toksisitas dan analisis kandungan Pb setelah proses pengolahan makanan dapat memberikan informasi lebih lanjut mengenai keamanannya sebagai bahan pangan atau minuman.

DAFTAR PUSTAKA

- Cheng, H., Jiang, Z. Y., Liu, Y., Ye, Z. H., Wu, M. L., Sun, C. C., dan Wang, Y. S. 2014. Metal (Pb, Zn and Cu) uptake and tolerance by mangroves in relation to root anatomy and lignification/suberization. *Tree physiology*, 34(6), 646-656.
- Elfrida, E., Setyoko, S., dan Indriaty, I. 2020. Analisis Serapan Logam Pb, Cu dan Zn pada Tumbuhan *Buguiera gymnorrhiza* dan *Rhizophora apiculata* di Hutan Mangrove Kuala Langsa. *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 17(2), 117-125.
- Febriyanto, Y., Perwira, I. Y., dan Sari, A. H. W. 2022. Perbandingan kandungan logam berat pada sedimen di kawasan hutan mangrove Perancak dan Tahura Ngurah Rai. *Current Trends in Aquatic Science*, 5(1): 34-39.
- Goswami, R., dan Neog, N. 2023. Heavy metal pollution in the environment: impact on air quality and human health implications. In *Heavy metal toxicity: Environmental concerns, remediation and opportunities* (pp. 75-103). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Hossain, M. B., Masum, Z., Rahman, M. S., Yu, J., Noman, M. A., Jolly, Y. N., dan Arai, T. 2022. Heavy metal accumulation and phytoremediation potentiality of some selected mangrove species from the world's largest mangrove forest. *Biology*, 11(8), 1144.
- Huang, G. Y., dan Wang, Y. S. 2010. Physiological and biochemical responses in the leaves of two mangrove plant seedlings

- (*Kandelia candel* and *Bruguiera gymnorhiza*) exposed to multiple heavy metals. *Journal of Hazardous Materials*, 182(1-3), 848-854.
- Hutahaean, H. S. M. 2015. *Perlindungan Hukum Kawasan Konservasi Perairan Teluk Benoa Terhadap Rencana Reklamasi PT. Tirta Wahana Bali International* (Doctoral Dissertation, UAJY).
- Imran, A., dan Efendi, I. 2016. Inventarisasi Mangrove Di Pesisir Pantai Cemara Lombok Barat. *JUPE: Jurnal Pendidikan Mandala*, 1(1): 105-112.
- Ismail, I., Mangesa, R., dan Irsan, I. 2020. Bioakumulasi Logam Berat Merkuri (Hg) Pada Mangrove Jenis *Rhizophora mucronata* Di Teluk Kayeli Kabupaten Buru. *BIOSEL (Biology Science And Education): Jurnal Penelitian Science Dan Pendidikan*, 9(2): 139-153.
- Ivanciuc, T., Ivanciuc, O., dan Klein, D. J. 2006. Modelling the bioconcentration factor and bioaccumulation factor of polychlorinated biphenyls with posetic quantitative superstructure/activity relationship (QSSAR). *Molecular Diversity*, 10:133-145. DOI: 10.1007/s11030-005-9003-3.
- Karimah, K. :2017. Peran Ekosistem Hutan Mangrove Sebagai Habitat Untuk Organisme Laut. *Jurnal Biologi Tropis*, 17(2): 51-57.
- Khairuddin, M. Y., dan Syukur, A. 2018. Analisis Kandungan Logam Berat pada Tumbuhan Mangrove. *Jurnal Biologi Tropis*, 18(1): 69-79.
- MacFarlane, G. R., Pulkownik, A., & Burchett, M. D. (2007). Accumulation and distribution of heavy metals in the grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh: biological indication potential. *Environmental Pollution*, 139(1), 167-177.
- Mardani, Ni Putu Suci, I Wayan Restu, dan Alfi Hermawati Waskita Sari. 2018. "Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kadmium (Cd) Pada Badan Air Dan Ikan Di Perairan Teluk Benoa, Bali." *Current Trends in Aquatic Science* 1(1): 106-113 doi:10.24843/ctas.2018.v01.i01.p14.
- Putra, I. K. A. S., dan Wahyuddin, Y. 2021. Analisis Pengaruh Limpasan Sedimen Tersuspensi Terhadap Perubahan Kerapatan dan Luas Hutan Mangrove Menggunakan Citra Sentinel-2A Multitemporal (Studi Kasus: Teluk Benoa, Bali). *Jurnal Geodesi Undip*, 10(2): 58-68
- Putra, R. W., Firmansyah, R. M., Wagianto, W., Gunansyah, G., dan Kamal, E. 2021. Kajian Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Laut Indonesia (Review: Reklamasi Teluk Benoa). *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 8(3), 175-180.
- Rachman, H. A., Hendrawan, I. G., dan Putra, I. D. N. N. 2016. Studi transpor sedimen di Teluk Benoa menggunakan pemodelan numerik. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 9(2), 144-154.
- Rismansyah, E., Budianta, D., dan Pambayun, R. 2015. Analisis Kandungan Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) dalam Pempek Rebus dari Beberapa Tempat Jajanan di Kota Palembang Sumatera Selatan. *Jurnal*

- Penelitian Sains*, 17(2). 61 - 65.
- Sahil, J., dan Soamole, I. 2013. Pemanfaatan buah mangrove sebagai sumber makanan alternatif di Halmahera Barat, Maluku Utara. *Biogenesis: Jurnal Ilmiah Biologi*, 1(2): 91-96. doi:10.24252/bio.v1i2.453.
- Sanadi, T., Schadu, J., Tilaar, S., Mantiri, D., Bara, R., dan Pelle, W. 2018. Analisis Logam Berat Timbal (Pb) Pada Akar Mangrove Di Desa Bahowo Dan Desa Talawaan Bajo Kecamatan Tongkaina. *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, 6(2): 9-18
- Sudarmawan, A. R., Suteja, Y., dan Karim, W. 2020. Logam Berat Timbal (Pb) pada Air dan Plankton di Teluk Benoa, Badung, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 6(1): 133-139. doi:10.24843/jmas.2020.v06.i01.p16.
- Suprapti N. H. 2008. Kandungan Chromium pada Perairan, Sedimen, dan Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Wilayah Pantai Sekitar Muara Sungai Sayung, Desa Morosari Kabupaten Demak, Jawa Tengah. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*. 10(2): 53-56
- Syafira, A. R., Ritonga, I. R., Paputungan, M. S., dan Suryana, I. 2023. Analisis kandungan Timbal (Pb) pada sedimen mangrove di kawasan mangrove center Graha Indah, Balikpapan, Kalimantan Timur. *Jurnal Perikanan Unram*, 13(1), 220-231.
- Tam, N. F. Y., dan Wong, Y. S. 1995. *Mangrove soils as sinks for wastewater-borne pollutants*. *Hydrobiologia*, 295(1-3), 231-241
- Utari, A. A. P. C. P., Suprihatin, I. E., dan Ariati, N. K. 2016. Kandungan Tembaga (Cu) Buah Lindur (*Bruguiera gymnorrhiza*), Pedada (*Sonneratia caseolaris*), Nyirih (*Xylocarpus granatum*), dan Bakau (*Rhizophora mucronata*) di Taman Hutan Raya Ngurah Rai Bali. *Cakra Kimia: Indonesian E-Journal of Applied Chemistry*, 4(1), 49-54.
- Utari, S. P. S. D., Dewi, R. N., dan Ilmiyanti, D. 2023. Analisis Organoleptik, Proksimat dan Logam Berat pada Keripik Mangrove *Bruguiera gymnorrhiza*. *Jurnal Perikanan Unram*, 13(4), 979-990.
- Wulandari, T., Hastuti, R. B., dan Hastuti, E. D. 2018. Kemampuan akumulasi timbal (Pb) pada akar mangrove jenis *avicennia marina* (forsk.) Dan *rhizophora mucronata* (lamk.) Di lahan Tambak Mangunharjo Semarang. *Jurnal Akademika Biologi*, 7(1), 89-96.