



Studi Bioakumulasi Ion Logam Pb(II) oleh Tumbuhan Mangrove (*Sonneratia alba*) di Perairan Desa Passo Kota Ambon

(*Pb(II) Metal Ions Bioaccumulation Study by Mangrove Plants (Sonneratia alba) in Passo Village Waters Ambon City*)

Abraham Mariwy*, Sunarti Sunarti, Cynthia. T Tewernussa

Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Pattimura
 Jalan Ir. M. Putuhena, Kota Ambon, Maluku, 97233, Indonesia

*Corresponding author: abraham.mariwy@lecturer.unpatti.ac.id

DOI: 10.20961/alchemy.20.2.72456.267-277

Received 29 May 2023, Revised 22 August 2024, Accepted 23 August 2024, Published 30 September 2024

Kata kunci:

logam timbal; mangrove; sedimen; sieve shaker; SSA.

ABSTRAK. Jenis partikel dan kandungan Pb pada sedimen, akar dan daun, adalah variabel penting untuk mempelajari akumulasi ion logam Pb(II) oleh tumbuhan mangrove pada perairan Desa Passo Kota Ambon. Jenis partikel sedimen dianalisis menggunakan *sieve shaker*. Kandungan logam timbal (Pb) pada sedimen, akar dan daun mangrove diukur menggunakan spektrofotometer serapan atom. Kemampuan akumulasi dan translokasi timbal (Pb) pada tumbuhan mangrove (*Sonneratia alba*) diketahui dari nilai BCF (*bioconcentration factor*) dan TF (*translocation factor*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis partikel pada stasiun I untuk graval 33,55%, pasir 63,38%, dan lumpur 0,98%, pada stasiun II graval 28,41%, pasir 70,06%, dan lumpur 3,01%, dan stasiun III untuk graval 49,69%, pasir 51,24%, dan lumpur 2,83%. Kandungan logam timbal (Pb) pada sedimen, akar dan daun di stasiun I secara berturut-turut adalah 41,53; 7,04; dan 2,52 mg/kg; pada stasiun II secara berturut-turut sebesar 44,34; 1,12; dan 3,12 mg/kg; sedangkan pada stasiun III sebesar 43,19; 15,37; dan 20,31 mg/kg. Nilai BCF yang diperoleh pada stasiun I, II, dan III secara berturut-turut yakni 0,22; 0,09; 0,82. Nilai TF pada stasiun I, II, dan III berturut-turut adalah 0,35, 2,78, 1,32.

Keywords:

lead metal; mangroves; sediments; sieve shakers; AAS.

ABSTRACT. Particle types and Pb content in sediments, roots, and leaves are important variables in studying the accumulation of Pb metal by mangrove plants in Passo Village Ambon City waters. Sediment particles were analyzed using a sieve shaker. The content of lead metal (Pb) in sediments, roots, and leaves of mangroves was measured using an atomic absorption spectrophotometer. The ability of lead (Pb) accumulation and translocation in mangrove (*Sonneratia alba*) plants is known from the BCF (*bioconcentration factor*) and TF (*translocation factor*) values. The results showed that the particle available at station I for gravel 33.55%, sand 63.38%, and mud 0.98%, at station II for gravel 28.41%, sand 70.06%, and mud 3.01 %, and at station III for gravel 49.69%, sand 51.24%, and mud 2.83%. Metal lead (Pb) content in sediments, roots, and leaves in station I were 41.53, 7.04, 2.52 mg /kg, in station II were 44.34, 1.12, 3.12 mg/kg, while in station III were 43.19, 15.37, 20.31 mg/kg, respectively. The BCF values obtained at stations I, II, and III were 0.22, 0.09, and 0.82, respectively. The TF values at stations I, II, and III were 0.35, 2.78, and 1.32, respectively.

PENDAHULUAN

Wilayah pesisir perairan Teluk Ambon bagian dalam khususnya Desa Passo merupakan kawasan pemukiman masyarakat dan jalur transportasi darat. Hal ini menunjukkan bahwa perairan Desa Passo merupakan kawasan yang padat akan aktivitas manusia yang secara langsung akan berpengaruh pada kondisi lingkungan Desa Passo (Male *et al.*, 2017). Efek yang ditimbulkan dari setiap aktivitas masyarakat di sekitar lingkungan Desa Passo antara lain peningkatan jumlah sedimen di laut dan juga peningkatan limbah akibat kurang sadarnya masyarakat dalam menjaga lingkungan di sekitar perairan Desa Passo. Masuknya limbah pada perairan Desa Passo menimbulkan beragamnya bahan pencemar di badan perairan tersebut. Salah satu bahan yang mencemari perairan adalah logam berat (Male *et al.*, 2017) yang dihasilkan dari limbah rumah tangga, limbah industri, asap kendaraan, sampah, dan sumber lainnya, juga memiliki dampak langsung pada makhluk hidup termasuk manusia (Amriani, 2011). Partikel timbal yang terdapat dalam asap kendaraan berukuran 0,02 – 1,00 μm , dengan masa tinggal di udara mencapai 4 – 40 hari. Bensin

Cite this as: Mariwy, A., Sunarti, S., and Tewernussa, C. T., 2024. Studi Bioakumulasi Ion Logam Pb(II) oleh Tumbuhan Mangrove (*Sonneratia alba*) di Perairan Desa Passo Kota Ambon. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 20(2), 267–277. <https://dx.doi.org/10.20961/alchemy.20.2.72456.267-277>.

yang merupakan bahan bakar dari kendaraan menghasilkan timbal dan emisi timbal merupakan hasil pembakaran dari bahan tambahan timbal pada bahan bakar kendaraan (Gusnita, 2012).

Salah satu logam berat yang dapat menjadi ancaman serius terhadap pencemaran air adalah logam Timbal (Pb). Secara antropogenik, sumber logam timbal yang memasuki lingkungan perairan berasal dari emisi gas buang kendaraan bermotor dan limbah industri. Setelah terakumulasi dalam sedimen, logam berat ini kemudian diserap oleh organisme yang biasanya hidup di sedimen melalui mekanisme biokonsentrasi atau biomagnifikasi (Yona *et al.*, 2016; Haupea *et al.*, 2022). Aktivitas manusia yang dilakukan di sekitar lingkungan perairan Desa Passo juga dapat meningkatkan jumlah sedimen. Sedimen pada umumnya memiliki kadar logam berat lebih tinggi pada daerah perairan. Hal ini disebabkan karena logam berat pada lingkungan perairan akan diserap oleh partikel kemudian terakumulasi pada sedimen (Susantoro *et al.*, 2015). Sedimen dengan ukuran partikel yang halus akan lebih mudah mengikat logam berat dan terakumulasi dalam bahan anorganik dan organik (Maslukah, 2013).

Mangrove dapat menyerap bahan organik dan bahan anorganik dari industri di perkotaan dan pemukiman yang terbawa oleh aliran sungai ke dalam tubuh melalui membran sel (Setiawan, 2013). Mangrove dapat secara aktif mencegah masuknya logam berat yang berlebih dan berfungsi sebagai penyaring. Kemampuan tersebut berasal dari organ akarnya yang dapat menyerap logam-logam berat pada sedimen maupun kolom air. Membran sel di sekitar akar akan menyerap dan menahan logam berat sehingga menyebabkan penurunan konsentrasi logam berat. Hal ini dapat terjadi karena mangrove mampu menyimpan banyak air sehingga dapat mengencerkan konsentrasi logam berat yang terdapat pada jaringan tubuhnya serta dapat mencegah perpindahan ke perairan pantai di sekitarnya (Supriyantini *et al.*, 2017). Salah satu mangrove yang memiliki kemampuan menyerap dan menahan logam berat sehingga menyebabkan penurunan konsentrasi logam berat adalah *Sonneratia alba*.

Penelitian tentang kandungan logam timbal (Pb) pada tumbuhan mangrove di Teluk Bima yang dilakukan oleh Khairuddin *et al.* (2018) menunjukkan kadar Pb pada daun mangrove (*Sonneratia alba*) berkisar dari 3,38 – 4,1 ppm, sedangkan pada akarnya berkisar 4,0 – 4,3 ppm. Kadar Timbal (Pb) pada daun mangrove (*Ryzophora apiculata*) berkisar dari 2,98 – 3,44 ppm, sementara pada akarnya berkisar dari 1,18 – 2,52 ppm. Dapat dengan mudah dipahami bahwa rata-rata kadar Pb pada daun mangrove (*Sonneratia alba*) adalah 3,74 ppm sedangkan rata-rata pada akarnya sebesar 4,15 ppm. Rata-rata kadar timbal (Pb) pada daun mangrove (*Ryzophora apiculata*) adalah 3,21 ppm dan rata-rata pada akarnya sebesar 1,85 ppm.

Penelitian tentang kandungan logam berat di perairan pernah dilakukan oleh Male *et al.* (2017) pada perairan Teluk Ambon Bagian Dalam dengan hasil penelitian kadar logam Pb pada perairan Teluk Ambon bagian Dalam (TAD) di pelabuhan Ferry Poka adalah sebesar 8,588 mg/kg, di PLN Poka sebesar 5,755 mg/kg, di Kate-kate sebesar 18,619 mg/kg, di Waiheru sebesar 20,075 mg/kg, di Passo sebesar 5,951 mg/kg, di Latta sebesar 10,190 mg/kg, dan Galala sebesar 14,664 mg/kg. Kadar Pb pada sedimen di Teluk Ambon Bagian Dalam masih dikatakan aman sebab belum mengalami pencemaran dan belum melewati ambang batas yang ditetapkan oleh *Swedish Environmental Protection Agency* (SEPA), yakni sebesar <25 mg/kg. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi logam timbal pada sedimen, akar, dan daun dari tumbuhan mangrove, termasuk kemampuan akumulasi tumbuhan ini terhadap logam berat timbal (Pb) di perairan Desa Passo Kota Ambon.

METODE PENELITIAN

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Spektrofotometer Serapan Atom (SSA, 7000 SHIMADZU), neraca analitik (Cyberscan CON 1110), oven (Memert), mortal dan alu, reaktor, peralatan gelas (Pyrex), *hot plate* (Cimarec), dan pipa PVC. Bahan-bahan yang digunakan adalah HNO₃ pekat (E-Merck), HCl pekat (E-Merck), tumbuhan mangrove (*Sonneratia alba*), kertas saring whatman no. 42, dan akuades.

Pengukuran Suhu, Salinitas, dan pH

Suhu sampel air laut diukur dengan cara memasukkan sampel ke dalam gelas kimia 100 mL dan diukur suhunya menggunakan termometer. Suhu yang terukur kemudian dicatat. Salinitas sampel air laut diukur dengan cara meneteskan sampel di bagian depan refraktometer. Angka yang ada pada refraktometer kemudian diamati. Angka yang merupakan kadar salinitas ditunjukkan dengan batasan warna biru dan putih, sedangkan pH sampel air laut diukur dengan cara memasukkan sampel ke dalam gelas kimia 100 mL dan diukur menggunakan pH meter. Besaran pH yang terukur dan kemudian dicatat.

Pengambilan Sampel

Sedimen

Sampel sedimen diambil menggunakan pipa PVC berdiameter 10 cm dengan panjang 100 cm. Pipa PVC kemudian dimasukkan ke dalam sedimen hingga mencapai kedalaman 20 cm secara vertikal. Tahap selanjutnya adalah memasukkan sedimen ke dalam kantong sampel berlabel.

Akar dan Daun Mangrove

Sampel akar dan daun berasal dari pohon yang sama untuk setiap stasiun dan diambil saat air laut pasang. Sampel akar yang diambil adalah akar yang terendam langsung dalam air laut, sedangkan sampel daun yang diambil adalah daun tua berwarna hijau yang terletak pada cabang bagian bawah, tengah, dan atas pohon dengan ukuran panjang daun 5,7 – 10,5 cm dan lebar 3,1 – 6,9 cm sebanyak 30 lembar. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam kantong sampel berlabel.

Preparasi Sampel Sedimen

Preparasi sampel sedimen dilakukan dengan cara memindahkan sampel ke dalam cawan petri, dilanjutkan dengan proses pemanasan dalam oven dengan suhu 105 °C hingga kering. Sampel tersebut kemudian dihaluskan dan diayak dengan ayakan 200 mesh dan ditimbang dengan timbangan analitik. Langkah selanjutnya adalah memasukkan sampel ke dalam kantong plastik berlabel untuk dianalisis lebih lanjut.

Penentuan Persentase Jenis Partikel Sedimen

Prosedur analisis jenis partikel sedimen dilakukan dengan metode ayakan basah menggunakan *sieve shaker*. Pada tahap awal, sampel sedimen dikeringkan pada suhu 70 – 80 °C selama 24 jam, kemudian ditimbang dan berat keringnya dicatat. Setelah itu, sampel yang telah ditimbang direndam selama 5 jam untuk melepaskan butirannya. Ayakan disusun berdasarkan ukuran dari yang paling kecil hingga terbesar, yaitu 0,032; 0,063; 0,090; 0,125; 0,250; 0,500; 1,00; 2,00; dan 4,00 mm. Sampel yang telah direndam diletakkan di atas ayakan berukuran 4,00 mm, lalu dicuci di bawah air mengalir sambil diaduk menggunakan kuas agar butiran terpisah. Fraksi sedimen yang tertinggal di setiap ayakan dipindahkan ke wadah aluminium berkapasitas 100 mL dan dikeringkan dalam oven pada suhu 70 – 80 °C selama 2 jam hingga benar-benar kering. Setelah kering, masing-masing fraksi ditimbang dan beratnya dicatat sebagai berat fraksi ukuran butir. Jumlah total berat semua fraksi diperiksa dan jika hasilnya sama dengan berat awal, berarti proses pengayakan telah dilakukan dengan benar. Data berat masing-masing fraksi kemudian dicatat pada formulir yang telah disediakan (Haupea *et al.*, 2022; Mariwy *et al.*, 2024).

Preparasi Sampel Akar dan Daun Mangrove

Preparasi sampel akar dan daun mangrove dilakukan dengan cara memotong sampel hingga ukurannya menjadi kecil dan dipanaskan dalam oven pada suhu 105 °C hingga kering. Sampel tersebut kemudian dihaluskan menggunakan lumpang dan alu, dan diayak dengan ayakan 200 mesh. Tahap selanjutnya adalah sampel ditimbang dengan neraca analitik kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik berlabel untuk proses analisis selanjutnya.

Destruksi Sampel Sedimen, Akar, dan Daun Mangrove

Sampel sedimen, akar, dan daun mangrove yang telah dipreparasi kemudian ditimbang masing-masing sebanyak 2 gram dan dimasukkan ke dalam gelas kimia 50 mL. Selanjutnya sampel didestruksi secara basah menggunakan larutan *aqua regia* HNO₃ pekat:HCl pekat (1:3), dan dipanaskan menggunakan *hot plate* pada suhu 200 °C selama 10 menit hingga menghasilkan larutan jernih. Larutan yang diperoleh disaring dan dimasukkan ke dalam labu takar 50 mL dan ditambahkan aquades hingga tanda batas. Larutan kemudian dianalisis dengan SSA (Mariwy *et al.*, 2024).

Pembuatan Larutan Standar Pb

Proses pembuatan larutan standar dilakukan dengan memipet 1 mL larutan induk Pb dengan konsentrasi 1000 ppm, kemudian dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL dan diencerkan dengan aquades hingga tanda batas untuk mendapatkan larutan standar dengan konsentrasi 10 ppm. Untuk membuat larutan standar dengan konsentrasi 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1,0 ppm, masing-masing sebanyak 100 mL, dilakukan dengan memipet 2, 4, 6, 8, dan 10 mL larutan Pb dari larutan standar 10 ppm, kemudian diencerkan menggunakan aquades hingga tanda batas. Absorbansi larutan diukur menggunakan SSA pada panjang gelombang 217 nm. Berdasarkan data yang diperoleh, dibuat kurva kalibrasi

dengan memplot hubungan antara absorbansi (A) dan konsentrasi (C), sehingga dihasilkan kurva kalibrasi berupa garis lurus.

Perhitungan Bioconcentration Factor (BCF)

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui terjadinya akumulasi logam pada mangrove yang dilakukan dengan cara menghitung kandungan logam yang ada pada sedimen dan akar. BCF pada akar dihitung untuk mengetahui seberapa besar kandungan logam pada akar yang berasal dari lingkungan. Rumus perhitungan BCF adalah ditunjukkan pada [Persamaan \(1\)](#).

$$BCF = \frac{\text{Logam Pb di akar } (\frac{mg}{L})}{\text{Logam Pb di sedimen } (\frac{mg}{L})} \tag{1}$$

Menurut Baker ([MacFarlane et al., 2007](#)) kategori BCF dibagi menjadi 3, yakni Akumulator dengan $BCF > 1$, Indicator dengan $BCF = 1$, dan Excluder dengan $BCF < 1$.

Perhitungan Translocation Factor (TF)

Faktor Translokasi (TF) adalah nilai perbandingan kandungan logam berat pada daun dan akar. Nilai TF dihitung untuk mengetahui perpindahan akumulasi logam dari akar ke bagian daun. TF dapat dihitung dengan [Persamaan \(2\)](#).

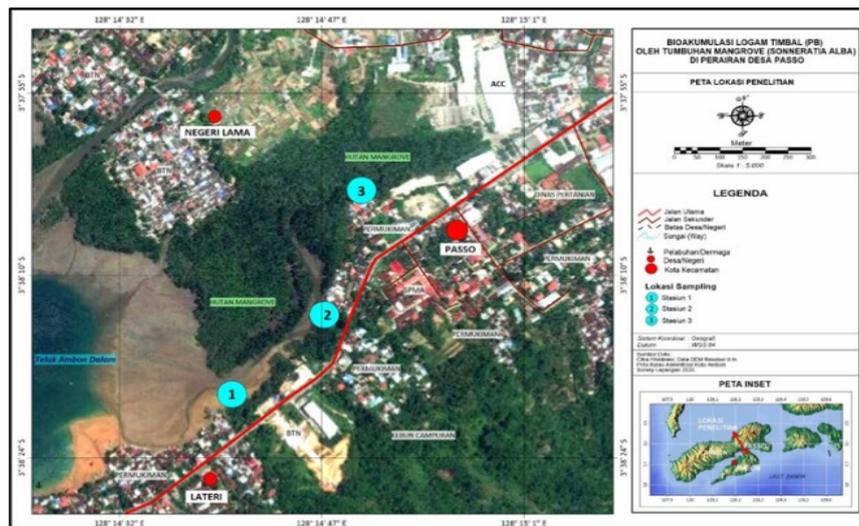
$$TF = \frac{\text{Logam Pb di daun } (\frac{mg}{L})}{\text{Logam Pb di akar } (\frac{mg}{L})} \tag{2}$$

Nilai TF menurut ([MacFarlane et al., 2007](#)) memiliki 2 kategori, yaitu $TF > 1$ yang merupakan mekanisme fitoekstraksi dan $TF < 1$ yang merupakan mekanisme fitostabilisasi. Hasil perhitungan kadar Pb di setiap stasiun dan nilai BCF dan TF dilampirkan dalam [Informasi Pendukung \(SI\)](#).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Lokasi Pengambilan Sampel

Sampel diambil pukul 14:30 – 17:00 WIT dengan kondisi air laut surut. Kondisi ini mempermudah proses pengambilan sampel. Sampel berupa sedimen, akar, dan daun mangrove (*Sonneratia alba*) diambil pada 3 stasiun yang berbeda (Stasiun I, Stasiun II dan Stasiun III). Lokasi atau stasiun penelitian ditentukan secara *purposive sampling*. Teknik ini merupakan salah satu teknik pengambilan sampel dengan menggunakan pertimbangan tertentu. Berdasarkan hal itu, peneliti menentukan lokasi dengan menggunakan pertimbangan kondisi ketebalan vegetasi dan keadaan letak geografis pada lokasi penelitian dengan melakukan survei serta observasi secara langsung di lokasi penelitian. Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada [Gambar 1](#).



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel (angka 1, 2 dan 3 merujuk pada Stasiun I, II dan III).

Pengukuran Kualitas Air

Hasil pengukuran parameter fisika dan kimia air pada stasiun I, II, dan III dapat dilihat di [Tabel 1](#). Suhu perairan dapat memengaruhi keberadaan dan sifat logam. [Emilia \(2013\)](#) mengemukakan bahwa semakin tinggi suhu perairan

maka kelarutan logam akan semakin tinggi karena partikel logam berat bergerak lebih cepat sehingga lebih cepat terakumulasi. Suhu air yang lebih rendah akan menurunkan kandungan logam berat dengan mengendap di sedimen (Sukoasih and Widiyanto, 2017). Suhu pada perairan Desa Passo berkisar antara 19 – 20 °C. Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 51 tahun 2004, standar suhu yang sesuai untuk perairan adalah 28 – 30 °C sehingga dapat disimpulkan bahwa suhu perairan Desa Passo tidak dalam kondisi normal dan tidak dapat ditoleransi oleh biota (Souisa, 2017).

Tabel 1. Hasil Pengukuran Parameter Fisika dan Kimia.

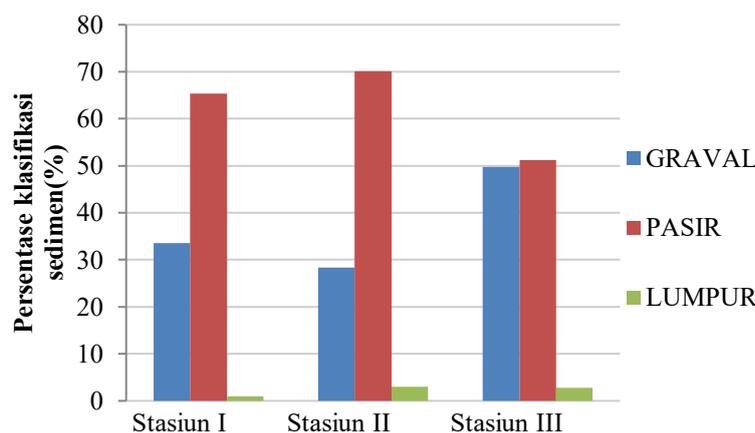
Parameter	Stasiun I	Stasiun II	Stasiun III
pH	5,6	5,4	6,3
Suhu (°C)	20	19	19
Salinitas (‰)	18	15	3

Menurut Mariwy *et al.* (2021), semakin tinggi suhu perairan maka kelarutan logam berat akan semakin tinggi. Sementara itu, pH pada perairan Desa Passo adalah 5,6; 5,4; dan 6,3. Berdasarkan baku mutu Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 51 tahun 2004, pH yang sesuai untuk kehidupan biota laut adalah 7,0 – 8,5. Penurunan pH pada perairan menyebabkan toksisitas logam berat semakin besar (Mariwy *et al.*, 2019).

Salinitas pada perairan Desa Passo yaitu 18‰, 15‰, 3‰. Nilai baku mutu salinitas di suatu perairan yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup Indonesia (KEPMEN LH No. 51 Tahun 2004) yaitu berkisar 33 – 34‰. Salinitas di perairan Desa Passo lebih rendah dari baku mutu yang dianjurkan untuk biota laut. Rendahnya salinitas disebabkan karena adanya suplai air tawar melalui aliran sungai yang bermuara di perairan laut. Seiring dengan pendapat Haidar *et al.* (2021), daerah estuaria adalah daerah yang kadar salinitasnya berkurang karena adanya pengaruh air tawar yang masuk dan terjadinya pasang surut di daerah tersebut.

Klasifikasi Jenis Partikel Sedimen

Berdasarkan hasil penentuan partikel sedimen yang diambil pada 3 stasiun, klasifikasi dapat dilakukan berdasarkan ukuran partikel sedimen. Klasifikasi ukuran butiran sedimen pada penelitian ini telah disesuaikan dengan standar sedimen menurut *American Geophysical Union*, yakni kerikil halus (*fine gravel*) dengan interval range 8 – 4 mm, pasir halus (*fine sand*) dengan interval range 1/4 – 1/8 mm dan lumpur halus (*fine silt*) dengan interval range 1/64 – 1/128 mm (Hambali and Apriyanti, 2016). Selanjutnya, grafik klasifikasi sedimen dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Klasifikasi sedimen.

Menurut Maslukah (2013), kandungan logam berat di sedimen juga dipengaruhi oleh ukuran partikel sedimen. Semakin kecil ukuran partikel, semakin besar kandungan logam beratnya. Hal ini disebabkan karena partikel sedimen yang halus memiliki luas permukaan yang besar dengan kerapatan ion yang lebih stabil untuk mengikat logam berat daripada partikel sedimen yang lebih besar. Secara tidak langsung, nutrisi dan zat hara yang terlarut dalam air pun dapat disimpan dengan baik sehingga sedimen halus umumnya memiliki kemampuan menyerap relatif lebih tinggi. Lain halnya dengan sedimen berbutir besar lebih mudah kehilangan kandungan bahan organik atau nutrisi (Tuheteru and Mahfudz, 2012). Urutan tipe sedimen dari butiran halus ke besar dan kemampuan dalam mengikat logam berat,

antara lain lumpur > lumpur berpasir > pasir. Jika dilihat dari grafik maka persentase lumpur terbesar ada pada stasiun II, sehingga kandungan logam berat pada stasiun II akan lebih besar dari stasiun I dan III.

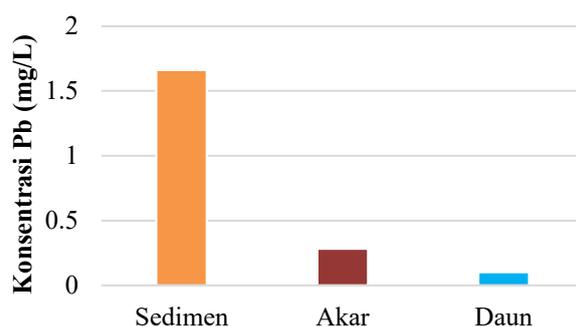
Kadar Logam Pb pada Sampel di Stasiun I

Data kadar Pb pada sampel sedimen, akar dan daun di stasiun I dapat dilihat pada [Tabel 2](#). [Tabel 2](#) menunjukkan bahwa kadar Pb pada sedimen di stasiun I lebih rendah dibandingkan kadar Pb pada stasiun II dan III. Hal ini disebabkan oleh ukuran butiran sedimen seperti yang ditampilkan pada [Gambar 2](#) di mana ukuran butiran sedimen pada stasiun III didominasi oleh substrat pasir. Tekstur dengan tipe substrat pasir sangat sulit untuk mengikat logam. Hal ini disebabkan oleh ukuran sedimen yang lebih kasar dibandingkan dengan yang lain membuat logam dan bahan organik lainnya sulit mengendap ([Male *et al.*, 2017](#)).

Tabel 2. Kadar Pb sampel pada stasiun I.

Jenis Sampel	Absorbansi	Konsentrasi Pb (mg/L)	Kadar Pb (mg/Kg)
Sedimen	0,0129	1,662	41,53
Akar	0,0031	0,282	7,04
Daun	-0,0001	0,101	2,52

Sementara hasil pengukuran kadar Pb pada jaringan akar dan daun mangrove di stasiun I menunjukkan nilai yang cukup rendah. Hal ini disebabkan oleh dua hal, yakni populasi mangrove yang banyak pada stasiun I sehingga dalam penyerapan logam timbal semakin rendah. Adapun proses translokasi dari akar ke jaringan lainnya seperti batang dan daun serta mengalami kompleksasi dengan zat yang lain seperti fitokelatin ([MacFarlane *et al.*, 2007](#)). Lokasi stasiun I yang terletak agak jauh dari jalan raya sehingga berdampak pada rendahnya kandungan logam Pb pada sampel daun. Grafik hasil pengukuran kadar Pb pada stasiun I dapat dilihat pada [Gambar 3](#).



Gambar 3. Grafik kadar Pb sampel pada stasiun I.

Kadar Logam Pb Pada Sampel di Stasiun II

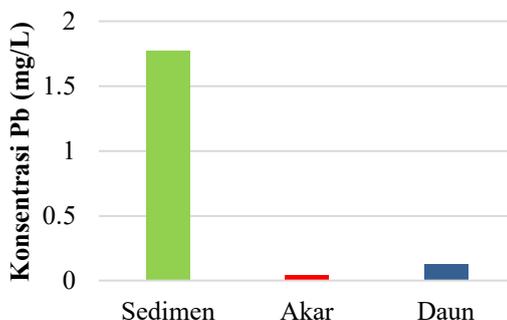
Data pada [Tabel 3](#) menunjukkan bahwa kadar Pb pada sedimen di stasiun II sangat tinggi. Tingginya kadar Pb pada stasiun ini berhubungan dengan ukuran butiran sedimen seperti yang ditampilkan pada [Gambar 2](#) di mana ukuran butiran sedimen untuk substrat lumpur lebih banyak pada stasiun II jika dibandingkan dengan stasiun I dan stasiun III. Logam-logam yang terdapat di ekosistem mangrove teradsorpsi pada permukaan substrat lumpur halus, lumpur yang halus di perairan berperan sebagai (penyerap) logam berat sehingga dapat mengandung konsentrasi logam berat yang tinggi bila dibandingkan dengan substrat lain yang mempunyai fraksi yang lebih besar. Hasil analisis kadar Pb yang ditunjukkan pada [Tabel 3](#) juga menunjukkan bahwa kadar logam timbal pada stasiun II masih di bawah standar yang ditetapkan oleh *National Sediment Quality Survey* ([US EPA, 2022](#)) yaitu 47,82 – 161,06 ppm. Hal ini sesuai juga dengan hasil penelitian [Mariwy *et al.* \(2024\)](#) yang menunjukkan bahwa kadar logam timbal pada perairan Desa Poka masih berada di bawah standar yang ditetapkan oleh *National Sediment Quality Survey* ([US EPA, 2022](#)).

Tabel 3. Kadar Pb sampel pada stasiun II.

Jenis Sampel	Absorbansi	Konsentrasi (mg/L)	Kadar Pb (mg/Kg)
Sedimen	0,0138	1,774	44,34
Akar	0,0011	0,045	1,12
Daun	0,0003	0,124	3,12

Hasil pengukuran kadar Pb pada jaringan akar tumbuhan di stasiun II menunjukkan nilai yang sangat rendah dari stasiun I dan stasiun III. Hal ini dapat disebabkan oleh dua hal, yakni pertama adalah proses translokasi berjalan lancar sehingga logam Pb yang terserap oleh jaringan akar langsung ditranslokasi ke pucuk daun dan kedua adalah populasi pada stasiun II cukup banyak sehingga terjadi persaingan dalam menyerap logam berat.

Data pada [Tabel 3](#) juga menunjukkan bahwa kadar Pb pada daun mangrove di stasiun II cukup rendah. Hal ini disebabkan karena populasi mangrove yang cukup banyak pada stasiun II sehingga dalam proses penyerapan logam Pb melalui stomata daun menjadi menurun. Grafik hasil pengukuran kadar Pb pada stasiun II dapat dilihat pada [Gambar 4](#).



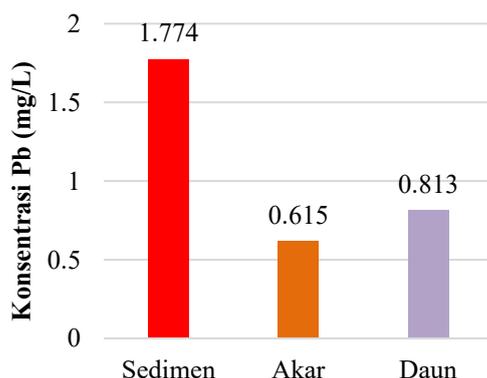
Gambar 4. Grafik kadar Pb sampel pada stasiun II.

Kadar Logam Pb Pada Sampel di Stasiun III

Data pada [Tabel 4](#) menunjukkan bahwa kadar Pb pada sedimen di stasiun III sangat tinggi. Hal berhubungan dengan ukuran butiran sedimen seperti yang ditampilkan pada [Gambar 2](#) di mana ukuran butiran sedimen pada stasiun II didominasi oleh campuran pasir dan lumpur yang lazim disebut sebagai lumpur pasiran. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian [Male *et al.* \(2017\)](#) bahwa sedimen dengan ciri lumpuran pasiran juga berperan sebagai (penyerap) logam berat sehingga dapat mengandung konsentrasi logam berat yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan substrat lain yang mempunyai fraksi yang lebih besar ([Male *et al.*, 2017](#)).

Tabel 4. Kadar Pb sampel pada stasiun III.

Jenis Sampel	Absorbansi	Konsentrasi (mg/L)	Kadar (mg/Kg)
Sedimen	0,0134	1,728	43,19
Akar	0,0090	0,615	15,37
Daun	0,1025	0,813	20,31



Gambar 5. Grafik kadar Pb sampel pada stasiun III.

Sementara hasil pengukuran kadar Pb pada jaringan akar dan daun mangrove di stasiun III menunjukkan nilai yang sangat tinggi. Hal ini dapat disebabkan oleh dua hal. Pertama yaitu populasi mangrove yang cukup sedikit pada stasiun III sehingga dalam penyerapan logam timbal semakin tinggi dan proses translokasi dari akar ke jaringan lainnya seperti batang dan daun serta mengalami kompleksasi dengan zat yang lain seperti fitokelatin ([MacFarlane *et al.*, 2007](#)). Grafik hasil pengukuran kadar Pb pada stasiun III dapat dilihat pada [Gambar 5](#).

Faktor Biokonsentrasi (BCF) dan Translokasi (TF) Pb Pada Mangrove *Sonneratia alba*

BCF dan TF dihitung untuk mengetahui kemampuan tanaman dalam mengakumulasi logam. Analisis BCF dihitung untuk mengetahui tingkat akumulasi logam timbal (Pb) dari tanah ke tanaman. Nilai BCF yang diperoleh dibandingkan dengan standar perhitungan BCF yang telah dikemukakan oleh [Yoon *et al.* \(2006\)](#), yakni nilai BCF yang lebih dari satu merupakan tanaman akumulator, sedangkan nilai BCF yang mendekati satu merupakan tanaman indikator dan nilai BCF yang kurang dari satu merupakan excluder.

Nilai (TF) *translocation factor* digunakan untuk mengetahui translokasi logam dari akar ke daun. Nilai TF yang diperoleh akan dibandingkan dengan standar nilai TF yang telah dikemukakan oleh [MacFarlane *et al.* \(2007\)](#) bahwa tanaman yang memiliki nilai TF lebih dari satu merupakan tanaman yang memiliki mekanisme fitoekstraksi sedangkan nilai TF yang kurang dari satu merupakan tanaman fitostabilisasi. Nilai BCF dan TF dapat dilihat pada [Tabel 5](#).

Tabel 5. Perhitungan BCF dan TF.

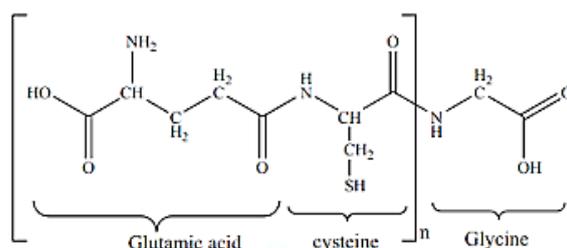
No	Stasiun Sampling	BCF	TF
1	I	0,22	0,35
2	II	0,09	2,78
3	III	0,82	1,32

Hasil perhitungan *bioconcentration factor* (BCF) tanaman mangrove *Sonneratia alba* menunjukkan nilai BCF untuk stasiun I, stasiun II dan stasiun III lebih kecil dari satu (<1) yang menunjukkan bahwa tanaman mangrove *Sonneratia alba* termasuk dalam tanaman excluder. Sementara itu, nilai *translocation factor* (TF) tanaman mangrove *Sonneratia alba* pada stasiun I lebih kecil dari 1 (<1), sehingga mekanisme atau proses yang terjadi dalam menyerap timbal (Pb) adalah fitostabilisasi. Salah satu faktor penyebab rendahnya nilai TF adalah karena akar mempunyai sistem penghentian transport logam menuju daun sehingga terjadi penumpukan logam di akar. Disisi lain, nilai TF pada stasiun II dan stasiun III yaitu lebih besar dari 1 (>1), sehingga mekanisme atau proses yang terjadi dalam menyerap timbal (Pb) adalah fitoekstraksi. Hasil penelitian [Mariwy *et al.* \(2024\)](#) untuk mempelajari kapasitas akumulasi dari tumbuhan mangrove *Rhizophora apiculata* di perairan Desa Poka menunjukkan bahwa tumbuhan mangrove *Rhizophora apiculata* termasuk dalam tanaman akumulator karena memiliki nilai BCF lebih besar dari 1, sementara itu nilai *translocation factor* (TF) tanaman mangrove *Rhizophora apiculata* lebih besar dari 1 sehingga mekanisme translokasi ion timbal Pb (II) dari akar ke daun tumbuhan adalah fitoekstraksi.

Fitostabilisasi merupakan proses akumulasi dan mobilisasi logam berat dengan jaringan akar. Menurut [Kusnadi \(2021\)](#), mekanisme kerja fitostabilisasi adalah memanfaatkan kemampuan akar untuk mengubah kondisi lingkungan. Proses fitostabilisasi yang terjadi dapat disebabkan oleh bagian akar tanaman yang langsung berhubungan dengan tanah yang tercemar timbal. Logam timbal (Pb) dalam tanah diserap oleh tanaman mangrove *Sonneratia alba* kemudian diakumulasi pada bagian akar sebelum distribusikan ke bagian daun. Fitoekstraksi merupakan proses penyerapan logam berat oleh akar tanaman yang kemudian di translokasikan menuju batang dan daun.

Mekanisme Pengikatan Logam Pb oleh Fitokelatin

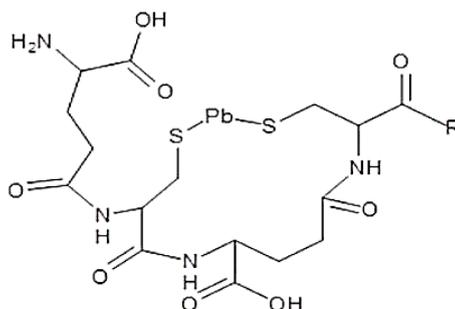
Tanaman mangrove akan membentuk fitokelatin yang merupakan suatu protein yang mampu mengikat ion logam timbal yang dapat menjadi racun bagi sel. Salah satu mekanisme penyerapan logam berat oleh tanaman pada bagian akar adalah *rhizofiltration*. *Rhizofiltration* adalah proses penyerapan zat logam berat atau zat hara yang berlebih yang berada disekitar zona akar tanaman ([Vigiyanti *et al.*, 2017](#)). Struktur fitokelatin ditunjukkan pada [Gambar 6](#).



Gambar 6. Struktur fitokelatin ([Akbar, 2017](#)).

Fitokelatin adalah peptida yang terdiri dari 2 – 8 asam amino sistein dipusat molekul serta asam glutamate dan

glisin pada ujung yang berlawanan. Fitokelatin dapat meningkatkan ketersediaan logam yang semula terikat kuat oleh tanah dan membantu mengangkat logam ke jaringan tanaman. Pada peningkatan efisiensi pengangkutan, logam diikat oleh molekul khelat (molekul pengikat) yang terjadi melalui bulu-bulu akar serta masuk pada sistem penyerapan air dan unsur hara (Samar *et al.*, 2019), dan selanjutnya diakumulasi ke seluruh bagian tanaman yaitu akar, batang dan daun. Saat fitokelatin berikatan dengan Pb maka fitokelatin akan membentuk ikatan sulfida diujung belerang pada sistein dan membentuk senyawa kompleks sehingga Pb akan ditranslokasikan ke dalam jaringan tumbuhan melalui jaringan pengangkut yaitu xylem dan floem selanjutnya akan ditransport ke dalam vakuola tanaman (Vigiyanti *et al.*, 2017). Gambar pengikatan logam timbal oleh fitokelatin ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengikatan logam berat timbal oleh senyawa fitokelatin.

Setelah proses penyerapan di akar selanjutnya akan ditranslokasikan ke bagian organ tanaman yang lain melalui jaringan pengangkut secara opoplas. Menurut Vigiyanti *et al.* (2017). Fitokelatin berfungsi sebagai pembentuk senyawa kompleks dengan logam berat dalam tubuh tumbuhan serta berfungsi sebagai detoksifikasi terhadap tanaman dari logam berat. Jika tanaman tidak dapat mensintesis fitokelatin maka akan menyebabkan terjadinya penghambatan pertumbuhan dan berujung pada kematian tanaman (Morgo *et al.*, 2015).

KESIMPULAN

Klasifikasi persentase jenis sedimen pada stasiun I adalah graval 33,55%, pasir 65,38%, lumpur 0,98%, ukuran butiran sedimen pada stasiun II adalah graval 28,41%, pasir 70,06%, lumpur 3,01%, dan besar butir sedimen pada stasiun III adalah 49,69%, pasir 51,24%, lumpur 2,83%. Sementara kadar logam Pb yang dihasilkan pada stasiun I pada sedimen, akar dan daun secara berturut-turut adalah 41,53; 7,04; dan 2,52 mg/kg, untuk stasiun II pada sedimen, akar, dan daun secara berturut-turut adalah 44,34; 1,12; dan 3,12 mg/kg, dan stasiun III pada sedimen, akar dan daun secara berturut-turut adalah 43,19; 15,37; dan 20,31 mg/kg. Nilai BCF yang dihasilkan pada stasiun I, stasiun II dan stasiun III lebih kecil dari 1, menunjukkan bahwa tumbuhan mangrove *Sonneratia alba* berfungsi sebagai *excluder* karena nilai BCF <1 (0,22; 0,09 dan 0,82) dan nilai TF lebih dari 1 berada pada stasiun II dan stasiun III menunjukkan bahwa tumbuhan mangrove *Sonneratia alba* berfungsi sebagai fitoekstraksi karena Nilai TF >1 (2,78 dan 1,32). Sedangkan pada stasiun I nilai TF kurang dari 1 dan menunjukkan bahwa tumbuhan mangrove *Sonneratia alba* berfungsi sebagai fitostabilisasi karena Nilai TF <1 (0,35).

INFORMASI PENDUKUNG

Lampiran hasil perhitungan kadar Pb setiap stasiun dan Nilai BCF and TF tersedia sebagai informasi pendukung (*supplementary information*) pada artikel ini dan dapat diakses melalui <https://jurnal.uns.ac.id/alchemy/editor/downloadFile/74274/270793>.

KONLIK KEPENTINGAN

Tidak ada konflik kepentingan dalam artikel ini

KONTRIBUSI PENULIS

AM: Konseptualisasi, penulisan draft manuskrip; SS: Metodologi dan analisis data, CTT: Penyuntingan naskah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP) Universitas Pattimura atas bantuan dana penelitian yang diberikan dalam bentuk Hibah Penelitian tahun 2023 sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, S., 2017. *Fitoremediasi Tanaman Paku Pakis (Pteris vitata) dengan Penambahan Karbon Aktif Eceng Gondok (Eichornia crassipes) terhadap Limbah Merkuri (Hg)*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Alauddin, Makasar. <<http://repositori.uin-alauddin.ac.id/id/eprint/4157>>.
- Amriani, A., Hendrarto, B., and Hadiyanto, A. 2011. Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Dan Seng (Zn) Pada Kerang Darah (*Anadara granosa*) dan Kerang Bakau (*Polymesoda bengalensis*) di Perairan Teluk Kendari. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 9(2), 45–50.
- Emilia, I., Suheryanto, S., and Hanafiah, Z., 2013. Distribusi Logam Kadmium dalam Air dan Sedimen di Sungai Musi Kota Palembang. *Jurnal Penelitian Sains*, 16(2), 16212-59–16212-64. <https://doi.org/10.56064/jps.v16i2.73>.
- Gusnita, D., 2012. Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) di Udara dan Upaya Penghapusan Bensin Bertimbal. *Berita Dirgantara*, 13(3), 95–101.
- Haidar, A. Z., Handoyo, G., and Indrayanti, E., 2021. Sebaran Salinitas secara Horizontal di Muara Sungai Bondet, Cirebon, Jawa Barat. *Journal of Marine Research*, 10(2), 275–280 <https://doi.org/10.14710/jmr.v10i2.30461>.
- Hambali, R., and Apriyanti, Y., 2016. Studi Karakteristik Sedimen dan Laju Sedimentasi Sungai Daeng–Kabupaten Bangka Barat. *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, 4(2), 165–174. <https://doi.org/10.33019/fropil.v4i2.1248>.
- Haupea, A., Mariwy, A., Dulanlebit, Y. H., Male Y. T., 2022. Analisis Kadar Logam Timbal (Pb) pada Sedimen di Perairan Pelabuhan Hitu. *Molucca Journal of Chemistry Education*, 12(2), 84–95. <https://doi.org/10.30598/MJoCEvol12iss2pp84-95>.
- Khairuddin, M. Y., and Syukur, A., 2018. Analisis Kandungan Logam Berat pada Tumbuhan Mangrove. *Jurnal Biologi Tropis*, 18(1), 69–79.
- Kusnadi, K., 2021. Analisa Kadar Logam Timbal(Pb) dalam Tanaman Lidah Mertua (*Sansiviera sp.*) di Kota Tegal dengan Metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). *PSEJ (Pancasakti Science Education Journal)*, 1(1), 12–17. <https://doi.org/10.24905/psej.v1i1.61>.
- MacFarlane, G. R., Koller, C. E., and Blomberg, S. P., 2007. Accumulation and Partitioning of Heavy Metals in Mangroves: A Synthesis of Field-Based Studies. *Chemosphere*, 69(9), 1454–1464. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.04.059>.
- Male, Y. T., Malle, D., Bijang, C. M., Fransina, E. G., Seumahu, C. A., Dolaitery, L. M., Landu, S., and Gaspersz, N., 2017. Analisis Kadar Logam Kadmium(Cd) dan Timbal(Pb) pada Sedimen di Teluk Ambon Bagian Dalam. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 5(1), 22–31. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2017.5-yus>.
- Mariwy, A., Male, Y. T., and Manuhutu, J. B., 2019. Mercury(Hg) Contents Analysis in Sediments at Some River Estuaries in Kayeli Bay Buru Island. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 546(2), 022012. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/546/2/022012>.
- Mariwy, A., Manuhutu, J. B., and Frans, D., 2021. Bioaccumulated Mercury by Several Types of Plants in Ex-Traditional Gold Processing Area, Gogorea Village, Buru Island. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 9(2), 105–110. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2021.9-abr>.
- Mariwy, A., Dulanlebit, Y. H., and Ode, A., 2024. Bioaccumulation of Lead Metal(Pb) by Mangrove Plants (*Rhizophora apiculata*) in the Waters of Poka Village, Inner Bay of Ambon. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 12(1), 71–78. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2024.12-mar>.
- Maslukah, L., 2013. Hubungan antara Konsentrasi Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn dengan Bahan Organik dan Ukuran Butir dalam Sedimen di Estuari Banjir Kanal Barat, Semarang. *Buletin Oseanografi Marina*, 2(3), 55–62. <https://doi.org/10.14710/buloma.v2i3.6951>.
- Morgo, S., Thaha, A. R., and Patadungan, Y. S., 2015. Pengaruh Berbagai Jenis Bokashi terhadap Serapan Fosfor Tanaman Jagung Manis (*Zea mays Saccharata*). *Journal Agrotekbis*, 3(3), 329–337. <<https://www.neliti.com/publications/250129/pengaruh-berbagai-jenis-bokashi-terhadap-serapan-fosfor-tanaman-jagung-manis-zea>>.
- Samar, Y. S., Mariwy, A., and Manuhutu, J. B., 2019. Fitoremediasi Merkuri(Hg) Menggunakan Tanaman Kacang Kalopo (*Calopogonium mucunoides*). *Science Map Journal*, 1(2), 93–98. <https://doi.org/10.30598/jmsvol1issue2pp93-98>.
- Setiawan, H., 2013. Akumulasi dan Distribusi Logam Berat pada Vegetasi Mangrove di Pesisir Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 7(1), 12–24. <https://doi.org/10.22146/jik.6134>.
- Souisa, G. V., 2017. Konsentrasi Logam Berat Cadmium dan Timbal Pada Air dan Sedimen di Teluk Ambon. *2-TRIK: Tunas-Tunas Riset Kesehatan*, 7(1), 1–12.
- Sukoasih, A., and Widiyanto, T., 2017. Hubungan Antara Suhu, pH dan Berbagai Variasi Jarak dengan Kadar

- Timbal(Pb) pada Badan Air Sungai Rompang dan Air Sumur Gali Industri Batik Sokaraja Tengah Tahun 2016. *Buletin Keslingmas*, 36(4), 360–368. <https://doi.org/10.31983/Keslingmas.V36i4.3115>
- Supriyantini, E., Nuraini, R. A. T., and Dewi, C. P., 2017. Daya Serap Mangrove *Rhizophora sp.* terhadap Logam Berat Timbal(Pb) di Perairan Mangrove Park, Pekalongan. *Jurnal Kelautan Tropis*, 20(1), 16–24. <https://doi.org/10.14710/jkt.v20i1.1349>.
- Susantoro, T. M., Sunarjanto, D., and Andayani, A., 2015. Distribusi Logam Berat pada Sedimen di Perairan Muara dan Laut Provinsi Jambi. *Jurnal Kelautan Nasional*, 10(1), 1–12. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15578/jkn.v10i1.4>.
- Tuheteru, F.D., and Mahfudz, M., 2012. *Ekologi, Manfaat and Rehabilitasi, Hutan Pantai Indonesia*. Manado: Balai Penelitian Kehutanan Manado.
- US EPA, 2022. *Environmental Topics (sediments)*. < <https://www.epa.gov/environmental-topics> > (diakses pada 16 Oktober 2024).
- Vigiyanti, K. A., Chamisijatin L., and Susetyarini, R. E., 2017. Pengaruh Umur Tanaman terhadap Penyerapan Logam(Pb) pada *Azolla micropylla* Dimanfaatkan sebagai Sumber Belajar Biologi. *Proseding Seminar Nasional III*. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Yona, D., Andira, A., and Sari, S. H. J., 2016. Lead (Pb) Accumulation in Water, Sediment and Mussels (*Hiatula chinensis*) from Pasir Panjang Coast, Lekok-Pasuruan. *Research Journal of Life Science*, 3(1), 49–54. <https://doi.org/10.21776/ub.rjls.2016.003.01.7>.
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., and Ma, L. Q., 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in Native Plants Growing on A Contaminated Florida Site. *Science of The Total Environment*, 368(2–3), 456–464. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.01.016>.