

TESIS

**LOGAM BERAT Pb DAN Cu PADA KOMUNITAS
LAMUN DI PERAIRAN PULAU PAHAWANG
KAITANNYA DENGAN TOKSISITAS SENYAWA
BIOAKTIF PADA LAMUN *Enhalus acoroides***



ARIQOH ATHALLAH GUSRI

20012622327010

**PROGRAM STUDI PENGELOLAAN LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

TESIS

LOGAM BERAT Pb DAN Cu PADA KOMUNITAS LAMUN DI PERAIRAN PULAU PAHAWANG KAITANNYA DENGAN TOKSISITAS SENYAWA BIOAKTIF PADA LAMUN *Enhalus acoroides*

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Magister Sains (M.Si) Pada Program Studi Pengelolaan
Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya



ARIQOH ATHALLAH GUSRI

20012622327010

**PROGRAM STUDI PENGELOLAAN LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

**LOGAM BERAT Pb DAN Cu PADA KOMUNITAS LAMUN
DI PERAIRAN PULAU PAHAWANG KAITANNYA
DENGAN TOKSISITAS SENYAWA BIOAKTIF
PADA LAMUN *Enhalus acoroides***

TESIS

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Magister
Sains (M.Si) Pada Program Studi Pengelolaan Lingkungan Program
Pascasarjana Universitas Sriwijaya**

Oleh:

ARIQOH ATHALLAH GUSRI

20012622327010

Palembang, Januari 2025

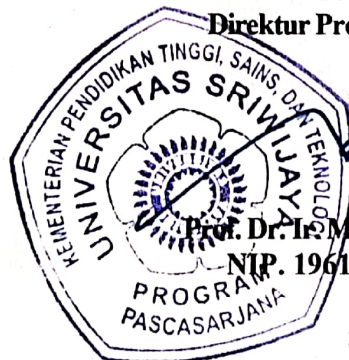
Pembimbing I

Pembimbing II


Prof. Dr. Rozirwan, S.Pi. M.Sc
NIP.197905212008011009


Dr. Wike Ayu Eka Putri S.Pi.M.Si.
NIP. 197905122008012017

**Mengetahui,
Direktur Program Pascasarjana**



Prof. Dr. Ir. Muhammad Said, M.Sc
NIP. 196108121987031003

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya Tulis Ilmiah berupa Tesis ini dengan judul “Logam Berat Pb dan Cu Pada Komunitas Lamun di Perairan Pulau Pahawang Kaitannya dengan Toksisitas Senyawa Bioaktif Pada Lamun *Enhalus acoroides*” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Pengelolaan Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya pada Januari 2025.

Palembang, Januari 2025

Tim Penguji Karya Ilmiah Berupa Tesis

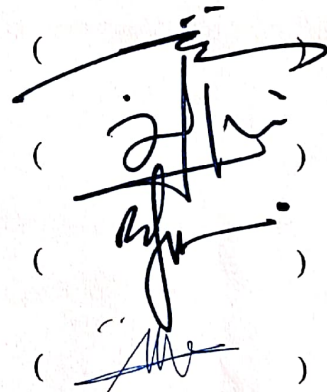
Ketua :

1. Prof. Novia, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197311052000032003



Anggota :


1. Prof. Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc.
NIP. 197905212008011009
2. Dr. Wike Ayu Eka Putri S.Pi., M.Si.
NIP. 197905122008012017
3. Dr. Melki, S.Pi., M.Si.
NIP. 198005252002121004
4. Dr. Isnaini, S.Si., M.Si.
NIP. 198209222008122002

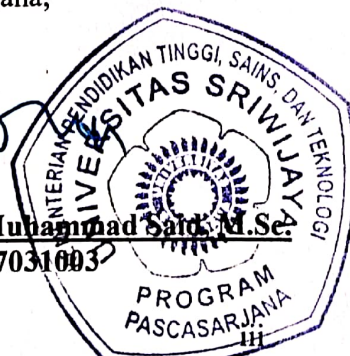


Mengetahui,

Direktur Pascasarjana,

Wakil Direktur Bidang
Akademik dan Kemahasiswaan


Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Said, M.Sc.
NIP. 19610821987031003



Prof. Sofendi, M.A., Ph.D.
NIP. 196009071987031002

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ariqoh Athallah Gusri
Nim : 20012622327010
Judul : Logam Berat Pb dan Cu Pada Komunitas Lamun di Perairan Pulau Pahawang Kaitannya dengan Toksisitas Senyawa Bioaktif Pada Lamun *Enhalus acoroides*

Menyatakan bahwa Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Dengan pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Januari 2025



Ariqoh Athallah Gusri

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ariqoh Athallah Gusri
Nim : 20012622327010
Judul : Logam Berat Pb dan Cu Pada Komunitas Lamun di Perairan Pulau
Pahawang Kaitannya dengan Toksisitas Senyawa Bioaktif Pada
Lamun *Enhalus acoroides*

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini, saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai korespondensi (*Corresponding author*).

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Januari 2025
Penulis,



Ariqoh Athallah Gusri
NIM. 20012622327010

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Kuasa, karena atas limpahannya penulis dapat menyusun Tesis ini yang berjudul **“Logam Berat Pb dan Cu Pada Komunitas Lamun di Perairan Pulau Pahawang Kaitannya dengan Toksisitas Senyawa Bioaktif Pada Lamun *Enhalus acoroides*”**. Tesis ini dibuat sebagai syarat untuk memenuhi dan melengkapi sks untuk menyelesaikan pendidikan Magister pada Program Studi Pengelolaan Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Prof. Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc. dan Ibu Dr. Wike Ayu Eka Putri, S.Pi, M.Si., selaku Pembimbing yang bersedia memerikan bimbingan, arahan, bantuan dan motivasi sehingga pembuatan tesis ini berjalan dengan baik. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Melki, S.Pi., M.Si. dan Ibu Dr. Isnaini, S.Si., M.Si. selaku Tim Penguji yang telah memberikan masukan dan saran terhadap tesis ini.

Ucapan terima kasih juga disampaikan pula pada semua pihak yang telah membantu dan berpartisipasi dalam penyusunan tesis ini. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini masih banyak kekurangan, sehingga penulis memohon maaf dan mengharapkan kritik dan saran guna membangun perbaikan tesis ini. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pihak lain terutama dalam pengembangan kemajuan teknologi dalam pengelolaan lingkungan kedepannya.

Palembang, Januari 2025

Penulis,

RINGKASAN

LOGAM BERAT Pb DAN Cu PADA KOMUNITAS LAMUN DI PERAIRAN PULAU PAHAWANG KAITANNYA DENGAN TOKSISITAS SENYAWA BIOAKTIF PADA LAMUN *Enhalus acoroides*

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, Januari 2025

Ariqoh Athallah Gusri; Dibimbing oleh Prof. Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc dan Dr. Wike Ayu Eka Putri, S.Pi., M.Si.

Program Studi Pengelolaan Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Sriwijaya

Xvi+ 87 halaman, 14 tabel, 7 gambar, 8 lampiran

RINGKASAN

Lamun memiliki kemampuan mengakumulasi logam berat yang ada di lingkungan dan akan mempengaruhi mekanisme pertahanan dirinya sehingga berpotensi meningkatkan produksi senyawa bioaktif. Data toksisitas digunakan untuk mengetahui keberadaan senyawa bioaktif dan potensinya untuk dikembangkan menjadi senyawa obat baru. Penelitian ini bertujuan menganalisis konsentrasi logam berat Pb dan Cu di sedimen, air dan lamun, menganalisis toksisitas fitokimia dan total fenol pada lamun, dan membandingkan hubungan antara konsentrasi logam berat dengan toksisitas senyawa bioaktif lamun.

Penelitian ini dilaksanakan pada Maret-Oktober 2024 di Perairan Pulau Pahawang. Sampel yang diambil meliputi air, sedimen dan lamun *Enhalus acoroides*. Konsentrasi logam berat diukur menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS), uji toksisitas *Brine Shrimp Lethality Test* (BSLT), uji total fenol dan analisis komponen senyawa (GC-MS). Analisis statistik meliputi uji Mann Whitney dan Uji korelasi Rank Spearman.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat Pb pada air adalah 0,142 mg/L dan 0,147 mg/L dan Cu 0,021 mg/L dan 0,019 mg/L. Konsentrasi logam berat Pb pada sedimen adalah 9,192 mg/kg dan 9,418 mg/kg dan Cu 0,896 mg/kg dan tidak terdeteksi. Logam berat Pb pada daun *E. acoroides* adalah 0,514 mg/kg dan 0,437 mg/kg, pada akar 7,284 mg/kg dan 6,202 mg/kg. Konsentrasi logam berat Cu pada daun *E. acoroides* adalah 7,798 mg/kg dan 0,289 mg/kg, pada akar 30,434 mg/kg dan 0,977 mg/kg. Nilai LC_{50} yang didapat dari seluruh ekstrak lamun menunjukkan bahwa lamun *E. acoroides* tergolong tidak toksik. Total fenol yang dimiliki oleh sampel akar-rimpang lamun sebesar 15,96 Mg GAE/g. Hasil uji korelasi Rank Spearman menunjukkan hubungan atau korelasi yang signifikan antara konsentrasi logam berat dengan toksisitas ekstrak *E. acoroides*.

Kata kunci: Akumulasi, bioaktif, lamun, logam berat, toksisitas

SUMMARY

HEAVY METALS Pb AND Cu IN SEAGRASS COMMUNITIES IN PAHAWANG ISLAND IN RELATION TO THE TOXICITY OF BIOACTIVE COMPOUNDS IN SEAGRASS *Enhalus acoroides*

Scientific writing in the form of thesis, January 2025

Ariqoh Athallah Gusri; Supervised by Prof. Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc and Dr. Wike Ayu Eka Putri, S.Pi., M.Si.

Environmental Management Study Program, Graduate Program, Sriwijaya University

Xvi+ 87 pages, 14 table, 7 figures, 8 attachments

SUMMARY

Seagrass has the ability to accumulate heavy metals present in the environment, which can influence its defense mechanisms and potentially enhance the production of bioactive compounds. Toxicity data are used to determine the presence of bioactive compounds and their potential for development into new medicinal compounds. This study aims to analyze the concentration of heavy metals Pb and Cu in sediments, water, and seagrass, assess the phytochemical toxicity and total phenol content in seagrass, and compare the relationship between heavy metal concentrations and the toxicity of bioactive seagrass compounds.

The research was conducted from March to October 2024 in the waters of Pahawang Island. Samples collected included water, sediment, and the seagrass *Enhalus acoroides*. Heavy metal concentrations were measured using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS), while toxicity was tested using the Brine Shrimp Lethality Test (BSLT), total phenol assay, and compound analysis through Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). Statistical analyses included the Mann-Whitney test and Spearman's Rank Correlation test.

The results showed that Pb concentrations in water were 0.142 mg/L and 0.147 mg/L, while Cu concentrations were 0.021 mg/L and 0.019 mg/L. Pb concentrations in sediment were 9.192 mg/kg and 9.418 mg/kg, whereas Cu concentrations were 0.896 mg/kg and undetectable. In *E. acoroides* leaves, Pb concentrations were 0.514 mg/kg and 0.437 mg/kg, while in roots, they were 7.284 mg/kg and 6.202 mg/kg. Cu concentrations in *E. acoroides* leaves were 7.798 mg/kg and 0.289 mg/kg, while in roots, they were 30.434 mg/kg and 0.977 mg/kg. The LC50 values obtained from all seagrass extracts indicated that *E. acoroides* was classified as non-toxic. The total phenol content in the root-rhizome samples was 15.96 mg GAE/g. Spearman's Rank Correlation test results showed a significant correlation between heavy metal concentrations and the toxicity of *E. acoroides* extracts.

Keywords: Accumulation, bioactive, seagrass, heavy metals, toxicity

RIWAYAT HIDUP



Ariqoh Athallah Gusri lahir di Palembang, Sumatera Selatan pada 18 Februari 2001. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Agus Supangat dan Ibu Sri Utami. Penulis menyelesaikan Pendidikan berjenjang di SDN 01 Kayuara (2006-2012), SMPN 03 Tulung Selapan (2012-2015), dan SMAN 07 Palembang (2015-2018). Tahun 2018 penulis melanjutkan Pendidikan tinggi program Strata Satu (S1) melalui jalur SNMPTN di Jurusan Ilmu Kelautan,

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya dan mendapatkan gelar Sarjana Kelautan (S.Kel.) pada Tahun 2022. Pada tahun 2023, penulis melanjutkan Pendidikan Strata Dua (S2) di Program Studi Pengelolaan Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Sriwijaya.

Selama menempuh Pendidikan S2, penulis menulis artikel dan mengikuti program dari Kemendikbud dan berhasil menerima bantuan Pendanaan Penelitian Tesis Magister. Penulis berhasil mempublikasikan artikel pada Jurnal Nasional Terindeks Sinta dan beberapa draft artikel masih dalam proses reviewer pada Jurnal Internasional Bereputasi.

Akhir kata, penulis mengucapkan syukur yang sebesar-besarnya kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas terselesaikannya tugas akhir berupa Tesis dengan judul **“Logam Berat Pb dan Cu Pada Komunitas Lamun di Perairan Pulau Pahawang Kaitannya dengan Toksisitas Senyawa Bioaktif Pada Lamun *Enhalus acoroides*”** yang berhasil dipertahankan pada ujian Tesis tanggal Januari 2025. Semoga tulisan Tesis ini mampu memberikan kontribusi positif bagi dunia Pendidikan. Aamiin.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
KATA PENGANTAR	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
RIWAYAT HIDUP.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Ekosistem Lamun	7
2.2 Pencemaran Logam Berat	9
2.3 Bioakumulasi Logam Berat pada Lamun	10
2.4 Senyawa Bioaktif pada Lamun.....	11
2.5 Toksisitas Ekstrak Lamun	13
2.6 Penelitian Terdahulu.....	14
BAB III METODOLOGI.....	16
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	16
3.2 Alat dan Bahan	17
3.2.1 Alat.....	17
3.2.2 Bahan	18
3.3 Metode Penelitian.....	18
3.3.1 Pengambilan Sampel.....	19

3.3.2 Pengukuran Parameter Lingkungan.....	20
3.3.3 Pengukuran Konsentrasi Logam Berat	20
3.3.4 Pengambilan Data Senyawa Bioaktif dan Uji Toksisitas	21
3.4 Analisa Data	23
3.4.1 Analisis Logam Berat Pb dan Cu.....	23
3.4.2 Persentase Penyusutan dan Berat Ekstrak Lamun <i>E. acoroides</i>	26
3.4.3 Analisis Uji Toksisitas	26
3.4.4 Keterkaitan Logam Berat dengan Toksisitas Senyawa Bioaktif Lamun <i>E. acoroides</i>	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Parameter Lingkungan Penelitian	29
4.2 Deskripsi Lamun <i>Enhalus acoroides</i>	31
4.3 Konsentrasi Logam Berat.....	33
4.3.1 Konsentrasi Pb dan Cu pada Air, Sedimen dan Lamun <i>E. acoroides</i> ..	33
4.4 Faktor Biokonsentrasi (BCF) dan Faktor Translokasi (TF) Lamun <i>E.</i> <i>acoroides</i>	39
4.5 Hasil Uji Mortalitas Ekstrak Lamun <i>E. acoroides</i> terhadap <i>A. salina</i>	41
4.6 Nilai LC ₅₀ 24 Jam Ekstrak Lamun <i>E. acoroides</i> terhadap <i>A. salina</i>	43
4.7 Total Fenol Ekstrak Lamun <i>E. acoroides</i>	46
4.8 Hasil Analisis GC-MS Ekstrak Lamun <i>E. acoroides</i>	47
4.9 Keterkaitan Konsentrasi Logam Berat dan Toksisitas <i>E. acoroides</i>	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN.....	68

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Kerangka pikir penelitian.....	5
2. Padang lamun (Dokumentasi pribadi).....	7
3. Peta Lokasi Pengambilan Sampel	16
4. Skema Penelitian.....	19
5. (a) Daun, (b) rimpang dan akar <i>E. acoroides</i>	32
6. Distribusi Konsentrasi logam berat Pb dan Cu dalam sedimen (mg/kg), air (mg/L), dan lamun <i>E. acoroides</i> (akar-rimpang dan daun) (mg/kg)	33
7. Kromatogram GC-MS senyawa bioaktif pada akar <i>E. acoroides</i> (st 1)	47

DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Penelitian-penelitian terdahulu.....	14
2. Alat yang digunakan di Lapangan.....	17
3. Alat yang digunakan di Laboratorium	17
4. Bahan yang digunakan pada penelitian.....	18
5. Baku Mutu Logam Berat.....	25
6. Nilai rata-rata parameter kualitas perairan	29
7. Konsentrasi logam berat pada lamun di beberapa lokasi yang berbeda.....	37
8. Nilai dari faktor biokonsentrasi (BCF) Lamun <i>E. acoroides</i>	40
9. Nilai faktor translokasi (TF) lamun <i>E. acoroides</i>	40
10. Persentase mortalitas ekstrak <i>E. acoroides</i> pada stasiun 1	42
11. Persentase mortalitas ekstrak <i>E. acoroides</i> pada stasiun 2	42
12. Nilai LC ₅₀ 24 jam ekstrak lamun <i>E. acoroides</i> terhadap <i>A. salina</i>	44
13. Retention time, peak area, nama senyawa, formula, dan kelompok senyawa akar <i>E. acoroides</i> stasiun 1	47
14. Hasil uji korelasi, nilai koefisien korelasi (r) dan significant (sig).....	50

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Pengambilan Sampel.....	68
2. Penanganan Sampel (Preparasi, Meserasi, dan Ekstraksi) dan Uji GC-MS dan Total Fenol	69
3. Penangan Sampel dan Uji Konsentrasi Logam Berat	71
4. Uji Toksisitas	72
5. Kurva standar logam berat air, sedimen dan lamun.....	73
6. Perhitungan Konsentrasi Logam Berat	75
7. Hasil Analisis Uji Toksisitas.....	78
8. Hasil Statistik	81

BABI

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pulau Pahawang yang terletak di Provinsi Lampung adalah salah satu dari banyak pulau yang dijadikan sebagai tempat tujuan wisata air laut (Novita *et al.* 2022). Wisatawan sering mengunjungi Pulau Pahawang dikarenakan memiliki ekosistem yang bermacam macam seperti ekosistem lamun (*seagrass*), terumbu karang (*coral reef*) dan hutan mangrove (Mardani *et al.* 2018). Data yang didapat dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Pesawaran tahun 2020, pengunjung yang berwisata ke Pulau Pahawang mencapai 448.008 pengunjung pada tahun 2019 sedangkan pada tahun 2020 sejumlah 165.342 pengunjung (BPS Statistic, 2023). Kegiatan lalu lintas perkapalan menjadi faktor yang memiliki kaitan erat dengan wisata bahari di Pulau Pahawang karena perkapalan menjadi transportasi utama yang digunakan. Kegiatan perkapalan ini menjadi faktor yang menyebabkan terkontaminasinya air laut dengan bahan pencemar yaitu logam berat (Moelyaningrum, 2017; Saraswati dan Rachmadiarti, 2021; Swain *et al.* 2021). Logam berat adalah elemen dengan massa molekul rendah yang dapat menimbulkan dampak serius terhadap lingkungan jika terakumulasi dalam konsentrasi tertentu (Wang, C *et al.* 2022). Pencemaran logam berat dari aktivitas pariwisata dapat menyebabkan masalah baru, seperti bioakumulasi dan transfer polutan melalui rantai makanan, yang dikenal sebagai biomagnifikasi (Roza *et al.* 2019; Wang, Z. *et al.* 2022). Biomagnifikasi dapat terjadi pada beberapa komponen organisme salah satunya adalah lamun.

Lamun umumnya tersebar pada daerah yang ramai aktivitas manusia seperti kegiatan wisata, kegiatan keagamaan dan kegiatan pembangunan di wilayah pantai (Luh *et al.* 2018; Jalaluddin *et al.* 2020). Lamun dapat menyerap lalu mengakumulasi bahan pencemar seperti logam berat dengan organ tubuhnya, hal tersebut membuat lamun memiliki kemampuan sebagai bioindikator (Falah *et al.* 2020). Salah satu jenis lamun yang berperan sebagai bioindikator adalah *Enhalus acoroides* (Nguyen *et al.* 2017). Lamun *E. acoroides* juga berperan sebagai

biomonitoring dan bioakumulator logam berat, hal ini dikarenakan *E. acoroides* memiliki mobilitas terbatas sehingga dapat memperkirakan konsentrasi dan sumber logam berat untuk dianalisis (Bonanno dan Lo Giudice, 2010). Lamun jenis *E. acoroides* dapat ditemukan hampir di seluruh perairan Indonesia (Rahman *et al.* 2016). Lamun jenis ini banyak ditemui di Pulau Pahawang yang tersebar di bibir pantai dan daerah subtidal (Noor *et al.* 2021).

Hasil kandungan logam berat yang diserap oleh lamun *E. acoroides* berdasarkan beberapa penelitian terdahulu memiliki nilai yang bervariasi tergantung lokasi penelitian. Konsentrasi logam berat Pb pada lamun *E. acoroides* di Perairan Pantai Paciran Lamongan berkisar 0,221-0,420 ppm (Sugiyanto *et al.* 2016), konsentrasi logam Pb pada daun dan akar *E. acoroides* di Palau sebesar 0,5 mg/kg dan logam Cu sebesar 3,0 mg/kg (daun) dan 1,1 mg/kg (akar) (Jeong *et al.* 2021a). Penelitian tentang keberadaan logam berat di Pulau Pahawang belum pernah dilakukan, tetapi penelitian di wilayah teluk yang berdekatan dengan Pulau Pahawang (Pesisir Teluk Rantai Pesawaran) sudah pernah dilakukan, dimana hasil penelitian menemukan adanya kandungan logam berat diatas baku mutu pada Cr sebesar 415,86 mg/kg, Cu sebesar 163,312 mg/kg, Fe sebesar 3339,89 mg/kg pada biota laut (Fitrianingsih dan Widiastuti, 2021).

Kemampuan lamun menyerap logam berat dan bertahan terhadap perubahan lingkungan tertentu termasuk ke dalam mekanisme perlindungan diri. Mekanisme pertahanan diri ini menghasilkan peningkatan aktivitas senyawa bioaktif (Hernán *et al.* 2022). Lamun secara umum mengandung senyawa bioaktif seperti alkaloid, flavonoid, saponin, dan steroid yang bermanfaat untuk antioksidan, antibakteri, antifouling dan lain-lain (Suleman *et al.* 2022). Berdasarkan penelitian sebelumnya, lamun jenis *E. acoroides* dilaporkan memiliki kandungan senyawa aktif (bioaktif) dengan bermacam kegunaan antara lain antibakteri, antioksidan dan antifouling (Nurafni dan Nur, 2018). Selain itu juga ada hasil penelitian bahwa *E. acoroides* mengandung triterpenoid, flavonoid, alkaloid dan steroid (Pradana *et al.* 2018). Hal ini menunjukkan setiap penelitian menemukan senyawa bioaktif yang berbeda-beda.

Potensi senyawa bioaktif dari *E. acoroides* telah banyak dibuktikan seperti penjelasan di paragraph sebelumnya, tetapi data mengenai toksisitas dari ekstrak

lamun tersebut masih terbatas. Toksisitas adalah tingkat merusaknya suatu zat yang berada pada lingkungan atau pada tubuh organisme yang pada kadar tertentu secara konsisten menimbulkan kerusakan bahkan bisa menyebabkan kematian (Indang dan Hendri, 2021). Sifat farmakologis dan toksisitas lamun masih perlu diketahui lebih baik dalam mengungkap risiko penggunaannya dan menjamin keamanannya (Amudha dan Vanitha, 2019). Penelitian lainnya mengungkapkan jika hasil uji toksisitas menunjukkan kematian organisme uji yang tinggi maka bahan alami tersebut layak diproses hingga tahap klinis untuk menemukan obat antikanker (Hisem *et al.* 2011). Hasil penelitian terdahulu mengenai nilai LC_{50} ekstrak *E. acoroides* pada larva nyamuk *Aedes aegypti* yaitu sebesar 0,527 $\mu\text{g/ml}$ dan ini merupakan lamun dengan toksisitas paling tinggi dibandingkan lamun lainnya yang diteliti (Monisha *et al.* 2020).

Berkaitan dengan penjelasan tersebut, perlu diketahui keberadaan logam berat Pb dan Cu di perairan Pulau Pahawang akibat kegiatan disekitar pesisir dan pengecekan konsentrasi logam berat pada air, sedimen dan lamun *E. acoroides* untuk mengetahui logam berat yang telah terakumulasi didalamnya. Selanjutnya lamun *E. acoroides* yang mengandung senyawa bioaktif perlu diketahui tingkat toksisitasnya agar dapat dilakukan tahapan klinis selanjutnya, serta kaitannya dengan konsentrasi logam berat yang ada di dalam lamun. Sejauh ini, belum ada informasi apapun terkait hal yang dijelaskan di atas.

1.2 Rumusan Masalah

Pencemaran logam berat akan menyebabkan ekosistem Perairan Pulau Pahawang mengalami penurunan fungsi. Hasil penelitian sebelumnya yang menemukan adanya akumulasi logam berat di lokasi yang dekat dengan Pulau Pahawang menyebabkan adanya dugaan bahwa akumulasi logam berat tersebut juga terjadi disekitar lokasi Pulau Pahawang. Kondisi ini dikuatkan dengan banyaknya aktivitas wisata seperti lalu lintas perkapalan dan kegiatan yang ada di pesisir yang akan memberikan kontribusi masukan logam berat ke perairan. Ekosistem yang ada di dalamnya seperti ekosistem lamun dan termasuk sedimen, kolom perairan, dan biotanya juga akan terdampak. Beragam makhluk hidup yang

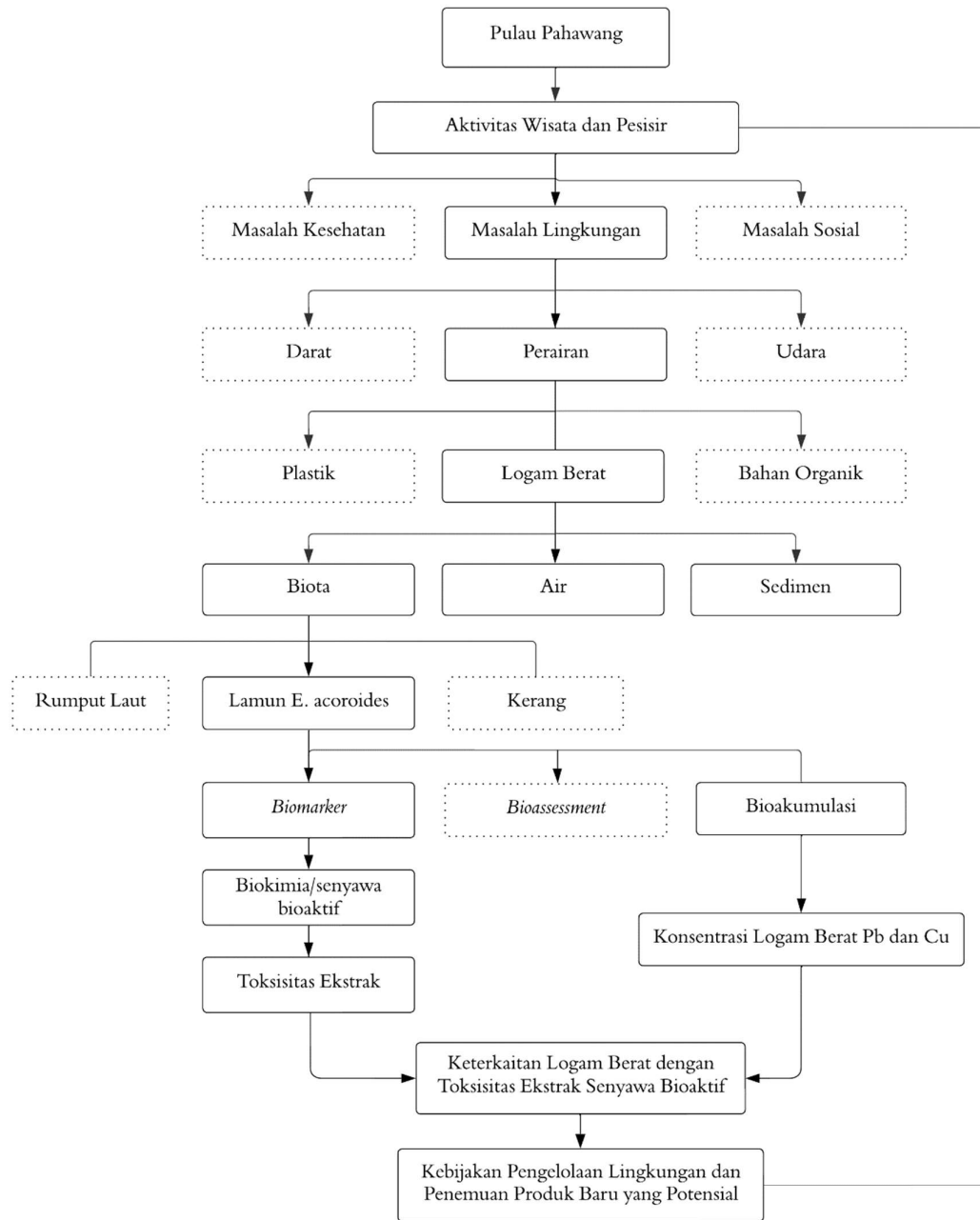
menghuni ekosistem tersebut, termasuk manusia, akan turut merasakan dampak buruk karena logam berat dapat berpindah melalui rantai makanan.

Proses akumulasi logam berat dalam tubuh lamun akan meningkatkan mekanisme pertahanan diri. Mekanisme pertahanan diri ini akan meningkatkan aktivitas senyawa bioaktif dan menghasilkan manfaat lain seperti antioksidan, antibakteri, antifouling dan lainnya. Potensi ini belum disertai dengan data toksisitas dari ekstrak lamun tersebut yang masih terbatas. Data toksisitas ini dapat digunakan untuk mengetahui resiko penggunaan dan pemakaiannya, selain itu data toksisitas dari ekstrak ini juga dapat dikembangkan ke tahap selanjutnya menjadi penemuan senyawa antikanker. Penelitian ini memiliki aspek pengembangan keilmuan yang nantinya akan memberikan informasi signifikan mengenai keterkaitan logam berat dengan respon toksik dari senyawa bioaktif yang terdapat pada lamun di kawasan wisata Pulau Pahawang Lampung.

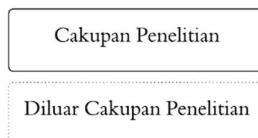
Berdasarkan permasalahan tersebut maka perlu dilakukan pengkajian sebagai berikut.

1. Konsentrasi logam berat pada sedimen, air dan lamun yang diambil dari kawasan wisata Pulau Pahawang Lampung.
2. Tingkat toksisitas fitokimia dan total fenol lamun yang diambil dari kawasan wisata Pulau Pahawang Lampung.
3. Keterkaitan konsentrasi logam berat dengan tingkat toksisitas pada lamun yang diambil dari kawasan wisata Pulau Pahawang Lampung.

Kerangka pemikiran dalam penelitian ini disajikan dalam bentuk diagram alir yang ditampilkan pada Gambar 1.



Keterangan :



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Menganalisis konsentrasi logam berat Pb dan Cu di sedimen, air dan lamun berdasarkan baku mutu yang diambil dari kawasan wisata Pulau Pahawang Lampung.
2. Menganalisis toksisitas fitokimia dan total fenol pada lamun di kawasan wisata Pulau Pahawang Lampung.
3. Membandingkan hubungan antara konsentrasi logam berat Pb dan Cu dengan toksisitas senyawa bioaktif dari lamun di kawasan wisata Pulau Pahawang Lampung.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai konsentrasi logam berat Pb dan Cu dalam sedimen, air, dan lamun serta hubungan keterkaitan konsentrasi logam berat dengan respon toksik senyawa bioaktif dari lamun tersebut yang diambil di kawasan wisata. Manfaat lainnya yaitu dapat dijadikan sebagai acuan untuk penentuan kualitas perairan dan upaya pengelolaan wilayah pesisir dan ekosistem di kawasan sekitarnya. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan bagi masyarakat dan pihak terkait dalam mengambil langkah atau tindakan untuk pemanfaatan lamun yang dominan ditemukan di lokasi sebagai bioindikator logam berat dan penemuan senyawa dan atau obat yang potensial.

DAFTAR PUSTAKA

- Aikoye, A. O. 2020. Theoretical and biochemical information studies on compounds detected in gcms of ethanol extract of *Chromolaena odorata* leaf. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 6(6): 635–648.
- Al Supandi, N. M. T. W., Firdausi, H. N., Samosir, M. F., Tefsele, K. T., Viani, D. O., Oktari, S. C., Kaisinda, F. J., Putri, D., Asri, W., Farani, S. C., Saputra, R. H., Nurhalisa, A. A., Jaya, I., Utomo, D. S. C., & Yusup, M. W. 2023. Pengelolaan ekosistem lamun dengan metode teknologi terf dan sprig anchor untuk keberlanjutan Desa Wisata Pahawang, Kabupaten Pesawaran. *J. Pengabd. Fak. Pertan. Univ. Lampung*, 2(2): 267.
- Aldi, Y., Sabila, W., Latifah, W., Hardini, H., & Tri Syahbani, K. 2022. *Uji Toksisitas Pegagan Embun*.
- Alipour, A., Shekardasht, M. B., & Gharbani, P. 2020. The synthesis, characterization and applications of poly[N -isopropylacrylamide- co -3-allyloxy-1,2-propanediol] grafted onto modified magnetic nanoparticles. *RSC Adv.*, 10(6): 3511–3519.
- Amala, K., Karthi, S., Ganesan, R., Radhakrishnan, N., Srinivasan, K., Mostafa, A. E. Z. M. A., Al-Ghamdi, A. A., Alkahtani, J., Elshikh, M. S., Senthil-Nathan, S., Vasantha-Srinivasan, P., & Krutmuang, P. 2021. Bioefficacy of *Epaltes divaricata* (L.) n-hexane extracts and their major metabolites against the lepidopteran pests *Spodoptera litura* (fab.) and dengue mosquito *Aedes aegypti* (Linn.). *Molecules*, 26(12).
- Ambo-Rappe, R. 2022. The success of seagrass restoration using *Enhalus acoroides* seeds is correlated with substrate and hydrodynamic conditions. *J. Environ. Manage.*, 310: 114692.
- Amudha, P., & Vanitha, V. 2019. Toxicological, biochemical and histopathological evaluation of the ethanolic extract of seagrass-*Enhalus acoroides* in Albino wistar rats. *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, 18(3): 101082.
- Amutha, V., Aiswarya, D., Deepak, P., Selvaraj, R., Tamilselvan, C., Perumal, P., & Balasubramani, G. 2023. Toxicity potential evaluation of ethyl acetate extract of *Cymodocea serrulata* against the mosquito vectors vis-a-vis zebrafish embryos and *Artemia salina* cysts. *South African J. Bot.*, 152: 230–239.
- Andriani, R., & Hartini. 2017. Toksisitas limbah cair industri batik terhadap morfologi sisik ikan nila gift (*Oreochomis niloticus*). *J. SainHealth*, 1(2): 83.
- Andriyono, S., Hidayati, N. V., Fitriani, M., Manaf, L. A., Habib, A., Dewi, U. U., & Mukadar, S. 2024. Ecological risks assessment of fishery commodities from heavy metal in The East Java Province, Indonesia. *J. Water L. Dev.*, 60 183–193.

- ANZECC, & ARMCANZ. 2000. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality, Chapters 1–7. In *In National Water Quality Management Strategy* (Vol. 1).
- Arancibia, L. A., Naspi, C. V., Pucci, G. N., Arce, M. E., & Colloca, C. B. 2016. 7092 CODEN(USA): PCJHBA Biological activity of 1-heneicosanol isolated from *Senecio coluhuapiensis*, an endemic species from Patagonia, Argentina. *Pharm. Chem. J.*, 3(4): 73–77. www.tpcj.org
- Arfiati, D., Zakiyah, U., Nabilah, I. S., Khoiriyah, N., Jayanti, A. S., & Kharismayanti, H. F. 2019. Perbandingan LC50 – 96 jam terhadap mortalitas benih ikan mas, *Cyprinus carpio Linnaeus 1758* pada limbah penyamakan kulit dan insektisida piretroid. *J. Iktiologi Indones.*, 18(2): 103.
- Arif, M., Faizatun, & Purba, A. V. 2021. Formulasi Sediaan gel etosom ekstrak Lamun (*Enhalus acoroides*) Sebagai pencerah dan pelembab pada kulit. *J. Kartika Kim.*, 4(1): 1–12.
- Arifin, A. F., Nurrachmi, I., & Efriyeldi. 2020. Komponen fitokimia dan toksisitas lamun *Thalassia hemprichii* terhadap *Artemia salina*. *J. Perikan. Dan Kelaut.*, 25(3): 163–171.
- Arulkumar, A., Nigariga, P., & Paramasivam, S. 2019. Chemosphere metals accumulation in edible marine algae collected from Thondi coast of Palk Bay, Southeastern India. *Chemosphere*, 221: 856–862.
- Badan Standardisasi Nasional. 2004a. SNI 6992.3:2004. Sedimen – bagian 3: cara uji timbal (Pb) secara destruksi asam dengan spektrofotometer serapan atom (SSA). Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2004b. SNI 6992.5:2004. Sedimen – bagian 5: cara uji tembaga (Cu) secara destruksi asam dengan spektrofotometer serapan atom (SSA). In *Badan Standardisasi Nasional*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2011. SNI 2354.5:2011. Cara uji kimia bagian 5: Penentuan kadar logam berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada produk perikanan. In *Badan Standardisasi Nasional*.
- Badan Standardisasi Nasional. 2014. SNI 2354.13:2014. Cara uji kimia-bagian 5: penentuan kadar logam berat Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) pada produk perikanan. Badan Standardisasi Nasional.
- Badriyah, L., Asih, E. N. N., Ni'amah, S. N., Ningrum, R. H., Mardiyanti, Y., & Wulansari, D. R. 2023. Penambahan ekstrak lamun (*Enhalus acoroides*) dan gonad bulu babi (*Diadema setosum*) sebagai formulasi sediaan moisturizer body lotion. *J. Pengolah. Has. Perikan. Indones.*, 26(1):.
- Bhaskar Rao, P. 2018. Gas Chromatography-Mass spectrometry analysis for identification of bioactive compounds in selected genotypes of *Trigonella foenum-graecum* L. *Pharma Innov. J.*, 7(4): 929–939.
- Birch, G. F., Cox, B. M., & Besley, C. H. 2018. The relationship between metal concentrations in seagrass (*Zostera capricorni*) tissue and ambient fine

- sediment in modified and near-pristine estuaries (Sydney estuaries, Australia). *Mar. Pollut. Bull.*, 128(1): 72–81.
- Bonanno, G., & Borg, J. A. 2018. Comparative analysis of trace element accumulation in seagrasses *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa*: Biomonitoring applications and legislative issues. *Mar. Pollut. Bull.*, 128(6): 24–31.
- Bonanno, G., & Lo Giudice, R. 2010. Heavy metal bioaccumulation by the organs of *Phragmites australis* (common reed) and their potential use as contamination indicators. *Ecol. Indic.*, 10(3): 639–645.
- Bonanno, G., & Vymazal, J. 2017. Compartmentalization of potentially hazardous elements in macrophytes: Insights into capacity and efficiency of accumulation. *J. Geochemical Explor.*, 181: 22–30.
- Borah, R., Taki, K., Gogoi, A., Das, P., & Kumar, M. 2018. Contemporary distribution and impending mobility of arsenic, copper and zinc in a tropical (Brahmaputra) river bed sediments, Assam, India. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 161(336): 769–776.
- Boulebd, H., Mechler, A., Hoa, N. T., & Vo, Q. V. 2020. Thermodynamic and kinetic studies of the antiradical activity of 5-hydroxymethylfurfural: Computational insights. *New J. Chem.*, 44(23): 9863–9869.
- BPS Statistic. 2023. *Badan Pusat Statistik. Jumlah Kunjungan Wisatawan Manca Negara*. Badan Pusat Statistik.
- Chen, Z., Liu, Q., Zhao, Z., Bai, B., Sun, Z., Cai, L., Fu, Y., Ma, Y., Wang, Q., & Xi, G. 2021. Effect of hydroxyl on antioxidant properties of 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4: H -pyran-4-one to scavenge free radicals. *RSC Adv.*, 11(55): 34456–34461.
- Copat, C., Maggiore, R., Arena, G., Lanzafame, S., Fallico, R., Sciacca, S., & Ferrante, M. 2012. Evaluation of a temporal trend heavy metals contamination in *Posidonia oceanica* (L.) Delile, (1813) along the western coastline of Sicily (Italy). *J. Environ. Monit.*, 14(1): 187–192.
- Dafforn, K. A., Simpson, S. L., Kelaher, B. P., Clark, G. F., Komyakova, V., Wong, C. K. C., & Johnston, E. L. 2012. The challenge of choosing environmental indicators of anthropogenic impacts in estuaries. *Environ. Pollut.*, 163: 207–217.
- Das, A. K., Islam, N., Islam, M., Paul, P., Das, U. C., Banik, R., Shuchi, A. T., & Mahmud, H. 2024. Phytochemical screening , antioxidant , cytotoxic , analgesic , antidiarrheal activity and gc-ms analysis of the leaves of *Stachyphrynium placentarium*. 21(10): 1–21.
- De Alencar, D. B., Da Silva, S. R., Pires-Cavalcante, K. M. S., De Lima, R. L., Pereira, F. N., De Sousa, M. B., Viana, F. A., Nagano, C. S., Do Nascimento, K. S., Cavada, B. S., Sampaio, A. H., & Saker-Sampaio, S. 2014. Antioxidant potential and cytotoxic activity of two red seaweed species, *Amansia multifida* and *Meristiella echinocarpa*, from the coast of Northeastern Brazil. *An. Acad.*

- Bras. Cienc.*, 86(1): 251–263.
- Dewi, C. S. U., Soedharma, D., & Kawaroe, M. 2012. Komponen fitokimia dan toksisitas senyawa bioaktif dari lamun *Enhalus acoroides* dan *Thalassia hemprichii* dari Pulau Pramuka, DKI Jakarta. 3(1): 23–28.
- Dinu, C., Vasile, G. G., Buleandra, M., Popa, D. E., Gheorghe, S., & Ungureanu, E. M. 2020. Translocation and accumulation of heavy metals in *Ocimum basilicum* L. plants grown in a mining-contaminated soil. *J. Soils Sediments*, 20(4): 2141–2154.
- Dotulong, V., Wonggo, D., & Montolalau, L. A. D. . 2018. Phytochemical content, total phenols, and antioxidant activity of mangrove *Sonneratia alba* young leaf through different extraction methods and solvents. *Int. J. ChemTech Res.*, 11(11): 356–363.
- El Zrelli, R. B., Yacoubi, L., Castet, S., Grégoire, M., Lin, Y. J., Attia, F., Ayranci, K., Baki, Z. A., Courjault-Radé, P., & Rabaoui, L. J. 2023. Compartmentation of trace metals in *Cymodocea nodosa* from a heavily polluted area (Central Gulf of Gabes; Southern Mediterranean Sea): Potential use of the seagrass as environmental monitoring and bioremediation tool. *Reg. Stud. Mar. Sci.*, 65: 103056.
- Eric Pradana, N., Wardiwira, F. F., Hakim, L., Nur Imamah, A., Istianisa Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, W., Perikanan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, J., Diponegoro Jl Soedarto, U., & Tembalang, S. 2018. Efektivitas ekstrak lamun *Cymodocea rotundata*, *Thalassia hemprichii*, dan *Enhalus acoroides* dari perairan jepara sebagai antibakteri pada. 13(2): 143–147.
- European Commission. 2011. Commission Regulation (Eu). *Off. J. Eur. Union*, 2011(1131): 205–211.
- Falah, F., Suryono, C. A., Departemen, I. R., Kelautan, I., & Perikanan, F. 2020. Logam berat (Pb) pada lamun *Enhalus acoroides* (Linnaeus F.) Royle 1839 (Magnoliopsida: Hydrocharitaceae) di Pulau Panjang dan Pulau Lima Teluk Banten. *J. Mar. Res.*, 9(2): 193–200.
- FAO/SIDA. 1983. *Manual of Methods in Aquatic Environment Research - Donald L. Reish, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Philip S. Oshida.*
- FAO/WHO. 1996. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. In *FAO Fishery Circular* (Issue 764).
- Ferro, J. P., Ferrari, L., & Eissa, B. L. 2021. Acute toxicity of cadmium to freshwater fishes and its relationship with body size and respiratory strategy. *Comp. Biochem. Physiol. Part - C Toxicol. Pharmacol.*, 248(2): 109109.
- Fitrianiingsih, R., & Widiastuti, E. L. 2021. Kandungan Logam Berat Cr , Cu , Fe dan Mn pada Beberapa Biota di Pesisir Teluk Ratai Pesawaran , Lampung. *Pros. Snail 2021 Semin. Nas. Ilmu Lingkungan. Tata Kelola Lingkungan. Untuk Mendukung Pembang. Berkelanjutan*, 3257(2003): 68–74.

- Flefel, H., Nokhrin, D., & Donnik, I. 2020. Determine heavy metals in water, aquatic plants, and sediment in water systems. *E3S Web Conf.*, 222:.
- Gao, Y., Qiao, Y., Xu, Y., Zhu, L., & Feng, J. 2021. Assessment of the transfer of heavy metals in seawater, sediment, biota samples and determination the baseline tissue concentrations of metals in marine organisms. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 28(22): 28764–28776.
- Georgiadou, E. C., Kowalska, E., Patla, K., Kulbat, K., Smolińska, B., Leszczyńska, J., & Fotopoulos, V. 2018. Influence of heavy metals (Ni, Cu, and Zn) on nitro-oxidative stress responses, proteome regulation and allergen production in basil (*Ocimum basilicum* L.) plants. *Front. Plant Sci.*, 9(July): 1–16.
- Ghozali, I. 2012. *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS*. Universitas Diponegoro.
- Gololo, S. S., Mapfumari, N. S., & Mogale, M. A. 2018. Comparative quantitative phytochemical analysis of the leaves of *Senna italica* collected from different areas in Limpopo Province, South Africa. *Int. J. Pharm. Pharm. Sci.*, 10(2): 67.
- Gopi, S., Arulkumar, A., Ganeshkumar, A., Rajaram, R., Miranda, J. M., & Paramasivam, S. 2020a. Heavy metals accumulation in seagrasses collected from Palk Bay, South-eastern India. *Mar. Pollut. Bull.*, 157.
- Gopi, S., Arulkumar, A., Ganeshkumar, A., Rajaram, R., Miranda, J. M., & Paramasivam, S. 2020b. Heavy metals accumulation in seagrasses collected from Palk Bay, South-eastern India. *Mar. Pollut. Bull.*, 157:.
- Grignon-Dubois, M., & Rezzonico, B. 2023. Phenolic chemistry of the seagrass *Zostera marina* Linnaeus: First assessment of geographic variability among populations on a broad spatial scale. *Phytochemistry*, 213:.
- Guo, T. L., Navarro, J., Luna, M. I., & Xu, H. S. 2024. Dietary supplements and the gut – brain axis : a focus on lemon , glycerin , and their combinations. 3: 463–482.
- Gupta, A., Singh, D., & Ranjan, R. 2023. GC-MS analysis of bioactive compounds present in leaves, stem, and roots extract of *Tylophora indica* (Burm.fil.) Merr. *Biog. J. Ilm. Biol.*, 11(1): 130–143.
- Harjuna, R. A., Riniatsih, I., & Suryono, C. A. 2020. Kondisi padang lamun di Pulau Panjang dan Pulau Lima, Banten. *J. Trop. Mar. Sci.*, 3(2): 89–93.
- Haviarini, C. P., Azahra, F. A., Baihaqi, R., & Sofyan, O. H. 2019. Konservasi Jenis lamun di kawasan perairan Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu, Provinsi Dki Jakarta. *J. Geogr. Gea*, 19(1): 42–47.
- Hawar, S. N., Taha, Z. K., Hamied, A. S., Al-shmgani, H. S., Sulaiman, G. M., & Elsilk, S. E. 2023. Antifungal activity of bioactive compounds produced by the endophytic fungus *Paecilomyces* sp . (JN227071 . 1) against *Rhizoctonia solani*. 2023.

- Heng, Y. W., Ban, J. J., Khoo, K. S., & Sit, N. W. 2020. Biological activities and phytochemical content of the rhizome hairs of *Cibotium barometz* (Cibotiaceae). *Ind. Crops Prod.*, 153(2): 112612.
- Hernán, G., Ortega, M. J., & Tomas, F. 2022. Specialized compounds across ontogeny in the seagrass *Posidonia oceanica*. *Phytochemistry*, 196: 113070.
- Hisem, D., Hrouzek, P., Tomek, P., Tomšíčková, J., Zapomělová, E., Skácelová, K., Lukešová, A., & Kopecký, J. 2011. Cyanobacterial cytotoxicity versus toxicity to brine shrimp *Artemia salina*. 57(1): 76–83.
- Indang, D., & Hendri, D. Y. 2021. Toksikologi lingkungan konsep & adaptif. In *Nucl. Phys.* 13(1).
- Irandoost, F., Agah, H., Rossi, L., Calizza, E., Careddu, G., & Costantini, M. L. 2021. Stable isotope ratios ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) and heavy metal levels in macroalgae, sediment, and benthos from the northern parts of Persian Gulf and the Gulf of Oman. *Mar. Pollut. Bull.*, 163: 111909.
- Irhamni, Pandia, S., Purba, E., & Hasan, W. 2017. Kajian Akumulator beberapa tumbuhan air dalam menyerap logam berat secara fitoremediasi. *J. Serambi Eng. Fak. Tek. USM*, 1(5):
- Ishak, Kasman, M., Ishak, E., Effendy, I. J., & Fekri, L. 2023. Analysis of heavy metal content in Martapura River Water, South Kalimantan Province in 2022. *J. Fish. Sci. Innov.*, 7(1): 35–41.
- Jadhav, P. M., Kantevari, S., Tekale, A. B., Bhosale, S. V., Pawar, R. P., & Tekale, S. U. 2021. A review on biological and medicinal significance of thiazoles. *Phosphorus, Sulfur Silicon Relat. Elem.*, 196(10): 879–895.
- Jalaluddin, M., Octaviani, I. N., Nurani, A., Putri, P., Octaviani, W., Aldiansyah, I., Studi, P., Geografi, P., Jakarta, U. N., & Id, M. A. 2020. Padang lamun sebagai ekosistem penunjang kehidupan biota laut di Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu, Indonesia. 20(1).
- Jeong, H., Choi, J. Y., Choi, D. H., Noh, J. H., & Ra, K. 2021. Heavy metal pollution assessment in coastal sediments and bioaccumulation on seagrass (*Enhalus acoroides*) of Palau. *Mar. Pollut. Bull.*, 163(7): 1–7.
- Jiang, Z., Liu, S., Zhang, J., Wu, Y., Zhao, C., Lian, Z., & Huang, X. 2018. Eutrophication indirectly reduced carbon sequestration in a tropical seagrass bed. *Plant Soil*, 426(1–2): 135–152.
- Junaid, H., & Arulsamy, J. 2022. Bio-efficacy of hexadecanoic acid on larvicidal, pupicidal and repellent activities against malarial vector, anopheles stephensi (Liston). (Diptera: Culicidae). *Int. J. Pharma Bio Sci.*, 13(1): 37–43.
- Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. 2000. Trace elements in soils and plants: third edition. in *trace elements in soils and plants: third edition*. CRC Press.
- Kannan, R. R. R., Arumugam, R., & Anantharaman, P. 2010. In vitro antioxidant activities of ethanol extract from *Enhalus acoroides* (L.F.) Royle. *Asian Pac. J. Trop. Med.*, 898–901.

- Karim, F. Y., Kawung, N. J., & Wagey, B. T. 2019. Uji toksisitas dari ekstrak lamun jenis *Thalassia hemprichii* dari perairan Kalasey dengan menggunakan metode brine shrimp lethality test. *J. Pesisir Dan Laut Trop.*, 7(3): 265.
- Khotimah, N. N., Rozirwan, R., Putri, W. A. E., Fauziyah, F., Aryawati, R., Isnaini, I., & Nugroho, R. Y. 2024. Bioaccumulation and ecological risk assessment of heavy metal contamination (lead and copper) build up in the roots of *Avicennia alba* and *Excoecaria agallocha*. *J. Ecol. Eng.*, 25(5).
- Kumar, D., Singh, L., Antil, R., & Kumari, S. 2019. GC-MS analysis and phytochemical screening of methanolic fruit extract of *Citrullus colocynthis* (L.) *Schrad.* 8(3): 3360–3363.
- Kumar, M., Mohapatra, S., Karim, A. A., & Dhal, N. K. 2021. Heavy metal fractions in rhizosphere sediment vis-à-vis accumulation in *Phoenix paludosa* (Roxb.) mangrove plants at Dhamra Estuary of India: assessing phytoremediation potential. *Chem. Ecol.*, 37(1): 1–14.
- Kurniawan, H., & Ropiqa, M. 2021. Uji toksisitas ekstrak etanol daun ekor kucing (*Acalypha hispida* Burm.f.) dengan metode brine shrimp lethality test (BSLT). *J. Syifa Sci. Clin. Res.*, 3(2): 52–62.
- Kusmardika, D. A. 2020. Potensi aktivitas antioksidan daun kelor (*Moringa oleifera*) dalam pencegahan kanker. *J. Stikes-Sitihajar.* 2: 46–50.
- Lacalle, R. G., Bernal, M. P., Álvarez-Robles, M. J., & Clemente, R. 2023. Phytostabilization of soils contaminated with As, Cd, Cu, Pb and Zn: Physicochemical, toxicological and biological evaluations. *Soil Environ. Heal.*, 1(2).
- Lafabrie, C., Pergent, G., Kantin, R., Pergent-Martini, C., & Gonzalez, J. L. 2007. Trace metals assessment in water, sediment, mussel and seagrass species - Validation of the use of *Posidonia oceanica* as a metal biomonitor. *Chemosphere*, 68(11): 2033–2039.
- Li, H., Liu, J., Zhang, L., Che, X., Zhang, M., & Zhang, T. 2024. A pilot restoration of *Enhalus acoroides* by transplanting dislodged rhizome fragments and its effect on the microbial diversity of submarine sediments. *J. Environ. Manage.*, 359(4).
- Luh, N., Widya, G., Gustavina, B., Bagus, G., Dharma, S., & Faiqoh, E. 2018. Identifikasi kandungan senyawa fitokimia pada daun dan akar lamun di Pantau Samuh Bali. *J. Mar. Aquat. Sci.*, 4(2): 271–277.
- M, A., I, M. A., Ramalingam, K., & Shanmugam, R. 2024. Biomedical applications of lauric acid: *A Narrative Review.* 16(6): 1–10.
- Mahmiah, M., Sa'adah, N., Sunur, H. N., & Wijayanti, N. 2023. Profil metabolit ekstrak etanol *Enhalus acoroides* (L.F.) Royle, 1839 dari Nusa Tenggara Timur. *J. Mar. Res.*, 12(1): 151–160.
- Mandal, K., & Dhal, N. K. 2023. Bioaccumulation of industrial heavy metals and interactive biochemical effects on two tropical medicinal plant species.

Environ. Sci. Pollut. Res., 30(15): 43860–43871.

- Mardani, A., Purwanti, F., & Rudiyanti, S. 2018. Strategi pengembangan ekowisata berbasis masyarakat di Pulau Pahawang Propinsi Lampung. *Manag. Aquat. Resour. J.*, 6(1): 1–9.
- Mardiyanti, Y., Asih, E. N. N., Rohmatika, F., & Ni'amah, S. N. 2024. Potensi ekstrak lamun *Enhalus acoroides* kering dan basah dari Perairan Sapeken-Madura sebagai antibakteri vibrio. 5(2): 196–205.
- Maulana, F., Muhiddin, A. H., Lanuru, M., Samad, W., & Ukkas, M. 2023. Distribution of bottom sediment before and after reclamation at center point of indonesia (Cpi) Makassar City. *J. Ilmu Kelaut. SPERMONDE*, 9(1): 10–19.
- Meriem, S. 2023. Mitigasi cekaman kadmium (Cd) pada tanaman padi (*Oryza sativa* L.): pendekatan fisiologi dan molekuler. *Ber. Biol.*, 22(1): 61–75.
- Moelyaningrum, A. D. 2017. Timah hitam (Pb) dan karies gigi. *Stomatognatic-Jurnal Kedokt. Gigi*, 13(1): 28–31.
- Monisha, D., Sivasankar, V., Mylsamy, P., & Gabriel Paulraj, M. 2020. Mosquito larvicidal activity of *Enhalus acoroides* (L.f) Royle and *Halophila ovalis* (R. Br) Hook. f. against the deadly vectors *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus*. *South African J. Bot.*, 133: 63–72.
- Muaja, A. D., Koleangan, H. S. J., & Runtuwene, M. R. J. 2013. Uji toksisitas dengan metode bslt dan analisis kandungan fitokimia ekstrak daun soyogik (*Saurauia bracteosa* DC) dengan Metode Soxhletasi. *J. MIPA*, 2(2).
- Naghibi, S., & Sahebi, H. 2018. Employment of modified Fe₃O₄ nanoparticles using thermo-sensitive polymer for extraction and pre-concentration of cefexime in biological samples. *Biomed. Chromatogr.*, 32(2).
- Newmaster, A. F., Berg, K. J., Ragupathy, S., Palanisamy, M., Sambandan, K., & Newmaster, S. G. 2011. Local knowledge and conservation of seagrasses in the Tamil Nadu State of India. *J. Ethnobiol. Ethnomed.*, 7(1): 37.
- Nguta, J. M., Mbaria, J. M., Gakuya, D. W., Gathumbi, P. K., Kabasa, J. D., & Kiama, S. G. 2012. Cytotoxicity of antimalarial plant extracts from Kenyan biodiversity to the brine shrimp, *Artemia salina* L. (Artemiidae). *Drugs Ther. Stud.*, 2(1): 12.
- Nguyen, X. V., Tran, M. H., & Papenbrock, J. 2017. Different organs of *Enhalus acoroides* (Hydrocharitaceae) can serve as specific bioindicators for sediment contaminated with different heavy metals. *South African J. Bot.*, 113: 389–395.
- Noor, N. M., Febriani, D., & Ali, M. 2021. Seagrass of *Enhalus Acoroides* as a traditional body scrubs in preventing malarial bites by Pahawang Island Community in Indonesia. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 1012(1).
- Novita, S., Abidin, Z., & Kasymir, E. 2022. Valuasi ekonomi dengan metode travel cost pada wisata taman keanekaragaman hayati Kabupaten Mesuji. *J. Ilmu-Ilmu Agribisnis*, 10(2): 217.

- Nurafni, & Nur, R. M. 2018. Aktivitas antifouling senyawa bioaktif dari lamun di perairan Pulau Morotai. *J. Ilmu Kelaut. Kepul.*, 2(1): 107–112.
- Oganezi, Agbaeze, & Kalu. 2024. Identification of bioactive compounds in *Chrysobalanus icaco* seed kernel using gas chromatography-mass spectrometry. *Am. J. Food Sci. Technol.*, 3(1): 13–18.
- Ogundele, D. T., Adio, A., & Oludele, O. E. 2015. Heavy metal concentrations in plants and soil along heavy traffic roads in North Central Nigeria. *J. Environ. Anal. Toxicol.*, 05(06).
- Orno, T. G., & Rantesalu, A. 2020. In vitro citotoxicity assays of seagrass (*Enhalus acoroides*) methanol extract from Soropia Coastal Waters in Southeast Sulawesi Province. *Indones. J. Med. Lab. Sci. Technol.*, 2(1): 27–33.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia. 2021. Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. In *Sekretariat Negara Republik Indonesia* (Vol. 8, Issue 22, p. 483).
- Permana, R., Andhikawati, A., Akbarsyah, N., & Putra, P. K. D. N. Y. 2020. Identifikasi senyawa bioaktif dan potensi aktivitas antioksidan lamun *Enhalus acoroides* (Linn. F). 1(1): 66–72.
- Permata, M. A. D., Purwiyanto, A. I. S., & Diansyah, G. 2018. Kandungan Logam berat Cu (tembaga) dan Pb (timbal) pada air dan sedimen di kawasan industri Teluk Lampung, Provinsi Lampung. *J. Trop. Mar. Sci.*, 1(1): 7–14.
- Prakoso, K., Supriharyono, & Ruswahyuni. 2015. Kelimpahan epifauna di substrat dasar dan daun lamun dengan kerapatan yang berbeda di Pulau Pahawang Provinsi Lampung. *Diponegoro J. Maquares*, 4: 117–122.
- Prakoso, K., Supriharyono, & Ruswahyuni. 2018. Kelimpahan Epifauna di substrat dasar dan daun lamun dengan kerapatan yang berbeda di Pulau Pahawang Provinsi Lampung. *Diponegoro J. Maquares Manag. Aquat. Resour.*, 4: 117–122.
- Pratama, D. A., Rozirwan, & Hendri, M. 2021. Toxicity test of gastropoda extracts of *Littorina scabra* and *Terebralia sulcata* from Payung Island, Musi River Estuary, South Sumatera. *J. Penelit. Sains*, 23(3): 110–116.
- Pribadi, T. D. K., Humaira, R. W., Haryadi, N., Buana, A. S. E., & Ihsan, Y. N. 2020. Asosiasi lamun dan echinodermata pada ekosistem padang lamun Cagar Alam Leuweung Sancang, Jawa Barat. *J. Kelaut. Indones. J. Mar. Sci. Technol.*, 13(3): 176–184.
- Pujianiki, N. N., Dirgayusa, I. G. N. P., & Januatmika, I. M. R. 2020. Pengelolaan wilayah pesisir di Pantai Pandawa. *J. Ilm. Tek. Sipil*, 24(1): 10–17.
- Puspitasari, E., Rozirwan, & M.Hendri. 2018. Uji toksisitas dengan menggunakan metode brine shrimp lethality test (bslt) pada ekstrak mangrove (*Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata*, *Sonneratia alba* dan *Xylocarpus granatum*) yang berasal dari Banyuasin, Sumatera Selatan. *J. Biol. Trop.*, 18(1): 91–103.
- Putra, H. M., Sulaeman, A., Istiqomah, A. N., & Nurfadilah, I. 2023. Penetapan

- toksisitas akut dan subkronis pada ekstrak etanol daun katuk (*Sauropus androgynus* (L.) Merr). *Maj. Farm. Dan Farmakol.*, 27(3): 125–128.
- Putri, R. W. P., Hariani, P. L., & Zainal Arifin. 2023. Biokonsentrasi faktor (BCF) dan faktor translokasi (TF) purun tikus (*Eleocharis dulcis*) dalam fitoremediasi air asam tambang. *J. Pengendali. Pencemaran Lingkungan.*, 5(1): 76–82.
- Rahakbauw, I. D., Program, A., Pendidikan, S., Pengajar, S., Studi, P., & Biologi, P. 2016. Analisis senyawa flavonoid daun lamun *Enhalus acoroides* di perairan Pantai Desa Waai Kabupaten Maluku Tengah. 3: 53–62.
- Rahim, A. A., Nor, E., Ismail, Azlini, Omar, M. N., Rahmat, U. N., & Nizam Wan Ahmad, W. A. 2018. GC-MS analysis of phytochemical compounds in *Syzygium polyanthum* leaves extracted using ultrasound-assisted method. *Pharmacogn. J.*, 10(1): 110–119.
- Rahman, A. A., Nur, A. I., & Ramli, M. 2016. Studi laju pertumbuhan lamun (*Enhalus acoroides*) di perairan pantai Desa Tanjung Tiram Kabupaten Konawe Selatan. *Sapa Laut*, 1(1): 10–16.
- Rakhmawati, I., Maulina, D., & Lengkana, D. 2022. Identification of coral reef cover and invertebrate diversity in Pahawang Island Lampung Indonesia. *Biol. Environ. Pollut.*, 2(1): 1–6.
- Rengasamy, K. R. R., Sadeer, N. B., Zengin, G., Mahomoodally, M. F., Cziáky, Z., Jekó, J., Diuzheva, A., Abdallah, H. H., & Kim, D. H. 2019. Biopharmaceutical potential, chemical profile and in silico study of the seagrass – *Syringodium isoetifolium* (Asch.) Dandy. *South African J. Bot.*, 127: 167–175.
- Richir, J., Salivas-Decaux, M., Lafabrie, C., Lopez y Royo, C., Gobert, S., Pergent, G., & Pergent-Martini, C. 2015. Bioassessment of trace element contamination of Mediterranean coastal waters using the seagrass *Posidonia oceanica*. *J. Environ. Manage.*, 151: 486–499.
- Riyadh, R., Wesnawa, I. G. A., & Citra, I. P. A. 2020. Dampak potensi pariwisata terhadap kualitas air Danau Beratan. *J. Pendidik. Geogr. Undiksha*, 8(1): 23.
- Rizk, R., Juzsakova, T., Ben Ali, M., Rawash, M. A., Domokos, E., Hedfi, A., Almalki, M., Boufahja, F., Shafik, H. M., & Rédey, Á. 2022. Comprehensive environmental assessment of heavy metal contamination of surface water, sediments and Nile Tilapia in Lake Nasser, Egypt. *J. King Saud Univ. - Sci.*, 34(1): 101748.
- Roza, Y., Jurusan, L. M., Sumber, M., Perairan, D., Kelautan, F., & Perikanan, D. 2019. Analisis kandungan Cd, Cu dan Pb pada air permukaan dan sedimen permukaan di muara-muara sungai kota Padang. 4(1).
- Rozirwan, Fauziyah, Wulandari, P. I., Nugroho, R. Y., Agutriani, F., Agussalim, A., Supriyadi, F., & Iskandar, I. 2022. Assessment distribution of the phytoplankton community structure at the fishing ground, Banyuasin estuary, Indonesia. *Acta Ecol. Sin.*, 42(6): 670–678.

- Rozirwan, Khotimah, N. N., Putri, W. A. E., Fauziyah, Apri, R., Isnaini, & Nugroho, R. Y. 2024. Investigating the Antioxidant activity, total phenolics and phytochemical profile in *Avicennia alba* and *Excoecaria agallocha* root extracts as a defence mechanism against pollutants. *Farmacia*, 72(5): 1216–1226.
- Rozirwan, Melki, Apri, R., Fauziyah, Agussalim, A., Hartoni, & Iskandar, I. 2021. Assessment the macrobenthic diversity and community structure in the Musi Estuary, South Sumatra, Indonesia. In *Acta Ecologica Sinica*. 41(4): 346–350.
- Rozirwan, Nanda, Nugroho, R. Y., Diansyah, G., Muhtadi, Fauziyah, Putri, W. A. E., & Agussalim, A. 2023. Phytochemical composition, total phenolic content and antioxidant activity of *Anadara granosa* (Linnaeus, 1758) collected from the east coast of South Sumatra, Indonesia. *Baghdad Sci. J., January*.
- Rozirwan, Nugroho, R. Y., Hendri, M., Fauziyah, Putri, W. A. E., & Agussalim, A. 2022. Phytochemical profile and toxicity of extracts from the leaf of *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. collected in mangrove areas affected by port activities. *South African J. Bot.*, 150: 903–919.
- Sakul, E. H. 2017. Impact of botanical insecticides derived from *Pangium edule* Reinw and *Annona muricata* L. seed extracts on the “gay gantung” diamondback moth, *Plutella xylostella* L. *Agrotech J.*, 2(2): 27–35.
- Saraswati, A. R., & Rachmadiarti, F. 2021. Analisis kandungan logam berat timbal (Pb) pada rumput laut di Pantai Sendang Biru Malang. *LenteraBio Berk. Ilm. Biol.*, 10(1): 67–76.
- Sari, S. P., Rosalina, D., & Adi, W. 2017. Bioakumulasi timbal (Pb) dan cadmium (Cd) pada lamun *Cymodocea serrulata* di Perairan Bangka Selatan. 6(2): 128–137.
- Serrano, O., Mateo, M. A., Dueñas-Bohórquez, A., Renom, P., López-Sáez, J. A., & Martínez Cortizas, A. 2011. The *Posidonia oceanica* marine sedimentary record: A Holocene archive of heavy metal pollution. *Sci. Total Environ.*, 409(22): 4831–4840.
- Setiawan, H., & Subiandono, E. 2015. Konsentrasi logam berat pada air dan sedimen di perairan pesisir Provinsi Sulawesi Selatan. *Indones. For. Rehabil. J.*, 3(1): 67–79.
- Shabbir, Z., Sardar, A., Shabbir, A., Abbas, G., Shamshad, S., Khalid, S., Natasha, Murtaza, G., Dumat, C., & Shahid, M. 2020. Copper uptake, essentiality, toxicity, detoxification and risk assessment in soil-plant environment. *Chemosphere*, 259: 127436.
- Shapla, U. M., Solayman, M., Alam, N., Khalil, M. I., & Gan, S. H. 2018. 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and other food products: effects on bees and human health. *Chem. Cent. J.*, 12(1): 1–19.
- Sidi, N., Aris, A. Z., Mohamat Yusuff, F., Looi, L. J., & Mokhtar, N. F. 2018. Tape seagrass (*Enhalus acoroides*) as a bioindicator of trace metal contamination in Merambong shoal, Johor Strait, Malaysia. *Mar. Pollut. Bull.*, 126(1): 113–118.

- Silalahi, F. R. W., Zainuri, M., & Wulandari, S. Y. 2023. Studi kandungan logam berat timbal (Pb) dan Seng (Zn) di Perairan Muara Sungai Cisadane Kabupaten Tangerang. *Indones. J. Oceanogr.*, 5(1): 01–06.
- Singh, S., Lal, M. M., Southgate, P. C., Wairiu, M., & Singh, A. 2021. Trace metal content in sediment cores and seagrass biomass from a tropical southwest Pacific Island. *Mar. Pollut. Bull.*, 171:.
- Siregar, A. S., Sulisty, I., & Prayogo, N. A. 2020. Heavy metal contamination in water, sediments and *Planiliza subviridis* tissue in the Donan River, Indonesia. *J. Water L. Dev.*, 45: 157–164.
- Sjafrie, N. D. M., Hernawan, U. E., Prayudha, B., Rahmat, Supriyadi, I. H., Iswari, M. Y., Suyarso, Anggraini, K., & Rahmawati, S. 2018. Status padang lamun Indonesia 2018. In *Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI*. 53(9).
- Skuza, L., Szućko-Kociuba, I., Filip, E., & Božek, I. 2022. Natural molecular mechanisms of plant hyperaccumulation and hypertolerance towards heavy metals. *Int. J. Mol. Sci. 2022, Vol. 23, Page 9335*, 23(16): 9335.
- Smith, E. M., Giarikos, D., Daniels, A., & Hiron, A. C. 2019. Heavy metal accumulation in seagrasses in Southeastern Florida. *J. Mar. Biol. Oceanogr.*, 8(2).
- Sondakh, M., Wowor, P. M., Farmakologi, B., Kedokteran, F., Sam, U., & Manado, R. 2017. Uji toksisitas akut ekstrak spons laut (*Callyspongia a*). *J. e-Biomedik*, 5: 0–3.
- Steingraber, L. F., Ludolphy, C., Metz, J., Kierdorf, H., & Kierdorf, U. 2022. Uptake of lead and zinc from soil by blackberry plants (*Rubus fruticosus* L. agg.) and translocation from roots to leaves. *Environ. Adv.*, 9(11):
- Stewart, B. D., Jenkins, S. R., Boig, C., Sinfield, C., Kennington, K., Brand, A. R., Lart, W., & Kröger, R. 2021. Metal pollution as a potential threat to shell strength and survival in marine bivalves. *Sci. Total Environ.*, 755: 143019.
- Sudhir, S., Arunprasath, A., & Sankara Vel, V. 2022. A critical review on adaptations, and biological activities of the mangroves. *J. Nat. Pestic. Res.*, 1: 100006.
- Sudipa, N., Mahendra, S., Adnyana, W. S., & Pujaastawa, I. B. 2016. Status kualitas air di kawasan pariwisata Nusa Penida. *Ecotrophic* •, 14(2): 181–189.
- Sugiyanto, R. A. N., Yona, D., & Kasitowati, R. D. 2016. Analisis akumulasi logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada lamun *Enhalus acoroides* sebagai agen fitoremediasi di Pantai Paciran, Lamongan. *Semin. Nas. Perikan. Dan Kelaut.*, 6: 449–455.
- Suh, S. S., Hwang, J., Park, M., Park, H. S., & Lee, T. K. 2014. Phenol content, antioxidant and tyrosinase inhibitory activity of mangrove plants in Micronesia. *Asian Pac. J. Trop. Med.*, 7(7): 531–535.
- Suleman, I. F., Sulistijowati, R., Hamidah Manteu, S., Nento, W. R., Teknologi, J., Perikanan, H., Perikanan, F., & Kelautan, I. 2022. Identifikasi senyawa

- saponin dan antioksidan ekstrak daun lamun (*Thalassia hemprichii*). *Jambura Fish Process. J.*, 4(2): 94.
- Suleman, I. F., Sulistijowati, R., Manteu, S. H., & Nento, W. R. 2022. Identifikasi senyawa saponin dan antioksidan ekstrak daun lamun (*Thalassia hemprichii*). *Jambura Fish Process. J.*, 4(2): 94–102.
- Sulistyo, Haris, A. Al, Suprijanto, Jusup, Yulianto, & Bambang. 2024. Analisis kualitas air dan kandungan logam berat timbal (Pb) pada air laut di perairan Pelabuhan Tanjung Emas Kota Semarang Jawa Tengah. *J. Mar. Res.*, 13(1): 108–114.
- Supriyantini, E., & Soenardjo, N. 2016. Kandungan logam berat timbal (Pb) dan tembaga (Cu) pada akar dan buah mangrove *Avicennia marina* Di Perairan Tanjung Emas Semarang. *J. Kelaut. Trop.*, 18(2): 98–106.
- Susilowati, F. 2017. Uji brine shrimp lethality test (BSLT) ekstrak etil asetat spons *Calthropella sp.* asal zona intertidal Pantai Krakal Gunung Kidul Yogyakarta. *Pharm. J. Islam. Pharm.*, 1(1): 1.
- Swain, S., Pattanayak, A. A., Sahu, B. K., Satapathy, D. R., & Panda, C. R. 2021. Time-series monitoring and ecological risk assessment of heavy metal pollution in Mahanadi estuary, east coast of India. *Reg. Stud. Mar. Sci.*, 47: 101923.
- Syachriyani, S., Temarwut, F. F., & Abasa, S. 2023. Uji toksisitas akut LD_{50} ekstrak cangkang landak laut (*Diadema setosum*) terhadap tikus (*Rattus norvegicus*). *J. Pharm. Appl. Comput. Sci.*, 1(1): 17–26.
- Torre-castro, M. De, & Ro, P. 2004. Links between humans and seagrasses — an example from tropical East Africa. 47: 361–387.
- Trevathan-Tackett, S. M., Lane, A. L., Bishop, N., & Ross, C. 2015. Metabolites derived from the tropical seagrass *Thalassia testudinum* are bioactive against pathogenic *Labyrinthula sp.* *Aquat. Bot.*, 122: 1–8.
- Usman, K., Al-Ghouti, M. A., & Abu-Dieyeh, M. H. 2019. The assessment of cadmium, chromium, copper, and nickel tolerance and bioaccumulation by shrub plant *Tetraena qataranse*. *Sci. Rep.*, 9(1): 1–11.
- Vitalia, N., Najib, A., & Ahmad, A. R. 2016. Uji toksisitas ekstrak daun pletekan (*Ruellia tuberosa* L.) Dengan menggunakan metode brine shrimp lethality test (BSLT). *J. Fitofarmaka Indones.*, 3(1): 124–129.
- Wang, C., Ju, J., Zhang, H., Liu, P., Zheng, Q., & Hu, X. 2022. Disclosing the ecological implications of heavy metal disturbance on the microbial N-transformation process in the ocean tidal flushing urban estuary. *Ecol. Indic.*, 144: 109504.
- Wang, Z., Lin, K., & Liu, X. 2022. Distribution and pollution risk assessment of heavy metals in the surface sediment of the intertidal zones of the Yellow River Estuary, China. *Mar. Pollut. Bull.*, 174: 113286.
- Widiawati, & Qodri, U. L. 2023. Analisis fitokimia dan penentuan kadar fenolik

total pada ekstrak etanol tebu merah dan tebu hijau (*Saccharum officinarum* L.) Phytochemical analysis and determination of total phenolic content in ethanol extract of red sugar cane and green sugar cane. *Sac. J. Farm. Tinctura*. 4(2): 91–102.

- Wijayanti, T. 2017. Profil pencemaran logam berat pada perairan daerah aliran sungai (DAS). *J. Ilm. Sains*, 17.
- Xiao, J., Wang, Y., Fu, S., Yang, S., Liu, G., Luo, X., & Zhang, C. 2022. Distribution of heavy metals and the exploration of potential indicators and hyperaccumulators in Jiang'an River, Chengdu, PR China. *Ecol. Indic.*, 145.
- Yan, Z., Sun, X., Xu, Y., Zhang, Q., & Li, X. 2017. Accumulation and tolerance of mangroves to heavy metals: a Review. *Curr. Pollut. Reports 2017* 34, 3(4): 302–317.
- Zhang, H., Yang, J., Li, W., Chen, Y., Lu, H., Zhao, S., Li, D., Wei, M., & Li, C. 2019. PuHSA4a Enhances tolerance to excess zinc by regulating reactive oxygen species production and root development in populus. *Plant Physiol.*, 180(4): 2254.
- Zhang, L., Ni, Z., Cui, L., Li, J., He, J., Jiang, Z., & Huang, X. 2021. Heavy metal accumulation and ecological risk on four seagrass species in South China. *Mar. Pollut. Bull.*, 173(PB): 113153.
- Zhong, W. S., Ren, T., & Zhao, L. J. 2016. Determination of Pb (Lead), Cd (Cadmium), Cr (Chromium), Cu (Copper), and Ni (Nickel) in Chinese tea with high-resolution continuum source graphite furnace atomic absorption spectrometry. *J. Food Drug Anal.*, 24(1): 46–55.
- Zurba, N. 2018. Pengenalan padang lamun suatu ekosistem yang terlupakan. In *Unimal Press*.