

**AKTIVITAS ENZIM ANTIOKSIDAN PADA AKAR  
*Sonneratia caseolaris* (L.) Engl. DALAM FITOREMEDIASI  
LOGAM BERAT DI PULAU PAYUNG  
SUMATERA SELATAN**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana di  
Jurusan Biologi pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Sriwijaya**

**Oleh :**

**AFIFAH THOHIROH**

**08041281722029**



**JURUSAN BIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2021**

## HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Aktivitas Enzim Antioksidan pada Akar *Sonneratia caseolaris* (L.) Engl. dalam Fitoremediasi Logam Berat di Pulau Payung Sumatera Selatan

Nama Mahasiswa : Afifah Thohiroh

NIM : 08041281722029


Jurusan : Biologi

Telah disetujui untuk di Sidangkan pada tanggal 1 Desember 2021

Indralaya, Desember 2021

Pembimbing:

1. Drs.Juswardi,M.Si.  
NIP.196309241990021001

  
(.....)

## HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Aktivitas Enzim Antioksidan pada Akar *Sonneratia caseolaris* (L.) Engl. dalam Fitoremediasi Logam Berat di Pulau Payung Sumatera Selatan

Nama Mahasiswa : Afifah Thohiroh

NIM : 08041281722029

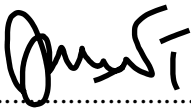
Jurusan : Biologi

Telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji pada Sidang Sarjana di Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 1 Desember 2021. Dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai dengan masukan yang diberikan.

Indralaya, Desember 2021


Ketua:

1. Drs. Juswardi, M.Si.  
NIP. 196309241990021001

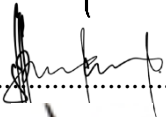
()

Anggota:

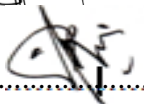
1. Singgih Tri Wardana, S.Si., M.Si.  
NIP. 197109111999031004

()

2. Dr. Sarno, M.Si.  
NIP. 196507151992031004

()

3. Dra. Syafrina Lamin, M.Si.  
NIP. 196211111991022001

()

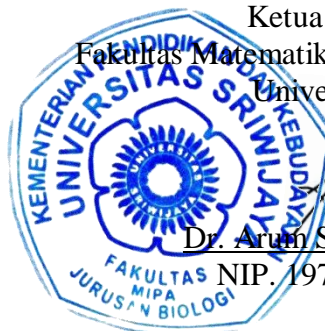
Indralaya, Desember 2021

Mengetahui,

Ketua Jurusan Biologi

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Sriwijaya



Dr. Arum Setiawan, S.Si., M.Si.

NIP. 197211221998031001

## HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Afifah Thohiroh  
NIM : 08041281722029  
Fakultas/Jurusan : MIPA/Biologi

Menyatakan bahwa skripsi saya belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata satu (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain.

Semua informasi yang dimuat dalam skripsi yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.



Indralaya, Desember 2021



Afifah Thohiroh

08041281722029

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK  
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, Yang bertanda tangan

Nama Mahasiswa : Afifah Thohiroh  
NIM : 08041281722029  
Fakultas/Jurusan : MIPA/Biologi  
Jenis Karya : Skripsi

Menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “hak bebas royalti non-eksklusif (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Aktivitas Enzim Antioksidan pada Akar *Sonneratia caseolaris* (L.) Engl. dalam Fitoremediasi Logam Berat di Pulau Payung Sumatera Selatan”.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti nonekklusif Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalihmedia/ mengformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasi tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/ pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, Desember 2021



Afifah Thohiroh  
08041281722029

## **HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

**“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai kesanggupannya”**

**(QS. Al-Baqarah: 286)**

**“Jangan pergi mengikuti kemana jalan akan berujung, buat jalanmu sendiri  
dan tinggalkan jejak”**

***(Ralph Waldo Emerson)***

**Karya Ilmiah ini saya persembahkan untuk:**

- Allah SWT dan Rasulullah SAW
- Kedua orang tua tercinta
- Saudara kandung dan teman-teman seperjuangan
- Almamater

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi yang berjudul “Aktivitas Enzim Antioksidan pada Akar *Sonneratia caseolaris* (L.) Engl. dalam Fitoremediasi Logam Berat di Pulau Payung Sumatera Selatan” dapat diselesaikan. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana S.Si.

Ucapan terimakasih dan penghargaan yang tulus disampaikan kepada kedua orang tua Bapak Taufik Rizani dan Ibu Nalti Asmiriani atas dukungan berupa doa dan materi. Terimakasih kepada Drs. Juswardi, M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, maupun saran sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Yth:

1. Hermansyah, S.Si, M.Si, Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
2. Dr. Arum Setiawan, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan dan Dr. Sarno, M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
3. Dr. Zazili Hanafiah, M.Sc. selaku pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama perkuliahan
4. Singgih Tri Wardana, S.Si., M.Si. dan Dr. Sarno, M.Si. selaku Dosen Pembahas serta Dra. Syafrina Lamin, M.Si. selaku Dosen Penguji sidang yang telah membimbing, memberi tanggapan dan saran.
5. Seluruh dosen Jurusan Biologi beserta karyawan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.
6. Kakak laki-laki dan kedua adik perempuan serta seluruh rekan mahasiswa/i Universitas Sriwijaya khususnya angkatan 2017.

Semoga skripsi ini dapat berguna untuk berbagai pihak khususnya penulis.

Indralaya, Desember 2021

Penulis

**Antioxidant Enzyme Activity In *Sonneratia caseolaris* (L.) Engl. Roots in  
Phytoremediation of Heavy Metals in Pulau Payung, South Sumatra**

**Affah Thohiroh**

**08041281722029**

SUMMARY

One of the heavy metal pollution in rivers comes from industrial waste and will accumulate in aquatic biota. Efforts to overcome it through the process of phytoremediation using mangrove plant *S. caseolaris*. The phytoremediation process of heavy metals can cause stress for *S. caseolaris* and increase free radicals. Adaptation response *S. caseolaris* in that involve changes in antioxidant enzyme activity including peroxidase (PO), polyphenol oxidase (PPO), and catalase (CAT) so a study was conducted to determine the activity of antioxidant enzyme PO, PPO, dan CAT as adaptation response *S. caseolaris* in phytoremediation of heavy metals in Pulau Payung, South Sumatra. The sampling process uses the method convenience sampling. Measurement of heavy metal levels of Pb and Cu using atomic absorption spectrophotometry method. Protein extraction using the principle refreegerated centrifuge. Measurement of total protein content with Biuret reagent Biosystem 2000. Determination of activity of PO with hydrogen peroxide and pyrogalol as substrates; PPO with pyrogalol substrate; and CAT with hydrogen peroxide as substrate using uv-vis spectrophotometry method with a wavelength for each enzyme 420 nm; 420 nm; and 240 nm. Analysis of the data used in the form of quantitative data for measuring parameters of pH and temperature, levels of Pb and Cu, as well as activity data for PO, PPO, and CAT presented by analysis of the average data center and standard deviation. Based on the research that has been done, the antioxidant enzyme activities include PO, PPO, and CAT in *S. caseolaris* in phytoremediation of heavy metals Pb and Cu in Pulau Payung each obtained with PO activity 45,78 U/mg protein/minute; PPO activity 109,05 U/mg protein/minute; and CAT activity 32,02 U/mg protein/minute. The activity of antioxidant enzymes PO, PPO, and CAT is a adaptation response *S. caseolaris* caused by accumulate (phytoremediation) of heavy metals Pb and Cu in sediment and serves to prevent *Reactive Oxygen Species* (ROS) formed.

Keywords: Phytoremediation, Catalase, Heavy Metals, Peroxidase, Polyphenols Oxidase, *Sonneratia caseolaris* (L.) Engl.



**Aktivitas Enzim Antioksidan pada Akar *Sonneratia caseolaris* (L.) Engl.  
dalam Fitoremediasi Logam Berat di Pulau Payung Sumatera Selatan**

**Affiah Thohiroh**

**NIM: 08041281722029**

**RINGKASAN**

Pencemaran logam berat di sungai salah satunya berasal dari limbah industri dan akan terakumulasi pada biota perairan. Upaya untuk mengatasinya melalui proses fitoremediasi menggunakan tumbuhan mangrove *S. caseolaris*. Proses fitoremediasi logam berat dapat menyebabkan cekaman bagi *S. caseolaris* dan meningkatkan radikal bebas. Respons adaptasi *S. caseolaris* berupa perubahan aktivitas enzim antioksidan meliputi peroksidase (PO), polifenol oksidase (PPO), dan katalase (CAT) sehingga dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui aktivitas enzim antioksidan PO, PPO, dan CAT sebagai respons adaptasi *S. caseolaris* dalam fitoremediasi logam berat di Pulau Payung Sumatera Selatan. Proses pengambilan sampel menggunakan metode *convenience sampling*. Pengukuran kadar logam berat Pb dan Cu menggunakan metode spektrofotometri serapan atom. Ekstraksi protein menggunakan prinsip *refreegerated sentrifuge*. Pengukuran kadar protein total dengan reagen Biuret *Biosystem 2000*. Penentuan aktivitas dari PO dengan substrat hidrogen peroksida dan pirogalol; PPO dengan substrat pirogalol; dan CAT dengan substrat hidrogen peroksida menggunakan metode spektrofotometri uv-vis dengan panjang gelombang pada masing-masing enzim berturut-turut 420 nm; 420 nm; dan 240 nm. Analisis data yang digunakan berupa data kuantitatif untuk pengukuran parameter pH dan suhu, kadar Pb dan Cu, serta data aktivitas PO, PPO, dan CAT yang disajikan dengan analisis pemusatan data rata-rata dan standar deviasi. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, aktivitas enzim antioksidan meliputi PO, PPO, dan CAT pada *S. caseolaris* dalam fitoremediasi logam berat Pb dan Cu di Pulau Payung diperoleh masing-masing dengan aktivitas PO 45,78 U/mg protein/menit; aktivitas PPO 109,05 U/mg protein/menit; dan aktivitas CAT 32,02 U/mg protein/menit. Aktivitas enzim antioksidan PO, PPO, dan CAT merupakan respons adaptasi *S. caseolaris* yang disebabkan oleh pengaruh akumulasi (fitoremediasi) logam berat Pb dan Cu pada sedimen dan berfungsi menangkal *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang terbentuk.

Kata kunci: Fitoremediasi, Katalase, Logam Berat, Peroksidase, Polifenol Oksidase, *Sonneratia caseolaris* (L.) Engl.

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>viii</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1. Mangrove .....	6
2.1.1. Potensi Mangrove sebagai Akumulasi.....	6
2.1.2. <i>Sonneratiacaseolaris</i> (L.) Engl. ....	7
2.2. Fitoremediasi.....	9
2.2.1. Mekanisme Fitoremediasi .....	10
2.3. Pencemaran Logam Berat .....	12
2.3.1. Dampak Logam Berat .....	14
2.4. Enzim Antioksidan .....	15
2.4.1. Peroksidase (PO) .....	16
2.4.2. Polifenol Oksidase (PPO) .....	17
2.4.3. Katalase (CAT).....	17
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>19</b>
3.1. Waktu dan Tempat .....	19
3.2. Alat dan Bahan .....	19

3.3. Cara Kerja .....	20
3.3.1. Pengambilan Sampel.....	20
3.3.1.1. Pengambilan Sampel Akar .....	20
3.3.1.2. Pengambilan Sampel Sedimen .....	20
3.3.2. Pengukuran Kadar Logam Berat pada Sedimen.....	20
3.3.3. Parameter.....	22
3.3.3.1. Pengukuran pH .....	22
3.3.3.2. Pengukuran Suhu .....	22
3.3.4. Ekstraksi Protein.....	22
3.3.5. Penentuan Kadar Protein Total.....	22
3.3.6. Pengukuran Aktivitas Peroksidase (PO).....	23
3.3.7. Pengukuran Aktivitas Polifenol Oksidase (PPO).....	23
3.3.8. Pengukuran Aktivitas Katalase (CAT) .....	24
3.4. Analisis Data .....	24
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>25</b>
4.1. Aktivitas Enzim Antioksidan .....	25
4.1.1. Peroksidase (PO) .....	30
4.1.2. Polifenol Oksidase (PPO) .....	31
4.1.3. Katalase (CAT).....	32
4.2. Kadar Logam Berat di Sedimen .....	34
4.3. Parameter Lingkungan.....	39
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>42</b>
5.1. Kesimpulan .....	42
5.2. Saran .....	42
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>43</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>54</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....</b>	<b>62</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Aktivitas enzim antioksidan Akar <i>S. caseolaris</i> dalam fitoremediasi logam berat di Pulau Payung .....	25
Tabel 4.2. Kondisi Perairan di Pulau Payung dan Keputusan Negara Lingkungan Hidup Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut.....	39

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Sonneratia caseolaris</i> (L.) Engl. ....	8
Gambar 4.1. Kadar Logam Berat Pb dan Cu pada Sedimen di Pulau Payung .....	34

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian.....	54
Lampiran 2. Data Pengukuran Kadar Logam Berat di Sedimen .....	56
Lampiran 3. Pembuatan Larutan Buffer .....	57
Lampiran 4. Penentuan Kadar Protein Total.....	58
Lampiran 5. Pengukuran Aktivitas Enzim Antioksidan .....	59

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Pulau Payung merupakan pulau dengan kondisi lingkungan yang masih alami berupa dataran rendah berlumpur akibat pasang surut air laut dan didominasi oleh vegetasi hutan mangrove. Hal ini dikarenakan Pulau Payung terletak pada muara Sungai Musi sehingga memiliki salinitas yang cukup tinggi dan tergolong sebagai kawasan ekosistem estuari (Afriyani *et al.*, 2017). Daerah estuari memiliki karakteristik campuran perairan air laut dan air tawar, secara berkala dipengaruhi pasang surut, serta menjadi tempat penimbunan bahan organik terlarut yang dibawa oleh arus sungai (Barus *et al.*, 2019). Bahan organik di aliran sungai Musi tersebut antara lain dapat berasal dari aktivitas industri, rumah tangga, pertanian maupun pelayaran (Lyustaet *et al.*, 2017).

Aktivitas industri di wilayah hulu sungai secara terus-menerus dapat menghasilkan bahan pencemar. Bahan pencemar ini akan terbawa arus sungai hingga kawasan muara yang kemudian mengalami penumpukan hingga terakumulasi di daerah muara. Bahan pencemar yang biasanya berasal dari aktivitas industri tersebut ialah logam berat (Prianto *et al.*, 2010; Budiastuti *et al.*, 2016). Pencemaran logam berat yang awalnya terdapat di perairan akan mengendap menjadi sedimen pada dasar perairan hingga terakumulasi dalam biota perairan (Setiawan, 2013).

Salah satu biota perairan yang menyerap logam berat adalah mangrove yang terdapat di muara sungai. Kemampuan mangrove dalam hal menyerap dan

Menyimpan logam berat pada jaringan tubuhnya serta tidak mengalami kerusakan akibat pengaruh logam berat, membuat mangrove termasuk sebagai agen fitoremediator (Puspita *et al.*, 2013; Sanadi *et al.*, 2018). Fitoremediasi merupakan proses penghilangan polutan dari tanah dan perairan yang terkontaminasi menggunakan media tumbuhan. Metode fitoremediasi berkembang pesat dan menjadi pilihan untuk proses perbaikan lingkungan dikarenakan lebih murah daripada metode lainnya (Juhaeti *et al.*, 2005).

Menurut Rumanta (2019), *Sonneratia caseolaris* (L.) Engl. merupakan salah satu mangrove yang berpotensi sebagai agen fitoremediator di ekosistem mangrove karena ditemukannya konsentrasi logam berat Pb (timbal) dalam jaringan tumbuhan *S. caseolaris*. Nazli dan Hashim (2010), menjelaskan bahwa kemampuan *S. caseolaris* dalam mengambil logam berat tertentu melalui akar lalu menyimpannya dalam daun menunjukkan potensi *S. caseolaris* sebagai spesies dalam proses fitoremediasi. Potensi fitoremediasi pada tumbuhan mangrove didukung dengan kemampuan mangrove untuk beradaptasi pada kondisi cekaman logam berat (Samiyarsih *et al.*, 2016).

Tumbuhan fitoremediator yang berada dalam kondisi cekaman logam berat, memiliki beberapa mekanisme pertahanan, yang mana proses pertumbuhan seperti pertumbuhan pada akar, proses metabolisme fotosintesis dan lainnya tetap berjalan baik. Mekanisme pertahanan ini berfungsi sebagai pelindung tumbuhan dari kerusakan akibat peningkatan *Reactive Oxygen Species* (ROS) pada tumbuhan yang disebabkan oleh cekaman logam berat (Rosidah *et al.*, 2014; Simbolon *et al.*, 2020). ROS atau radikal bebas biasanya dihasilkan oleh sel melalui jalur



Metabolisme aerobik dan merupakan respons terhadap berbagai cekaman abiotik maupun biotik seperti cekaman logam berat (Kasmiyati dan Sucahyo, 2014).

Pertahanan tumbuhan terhadap ROS diantaranya melalui aktivitas antioksidan. Antioksidan ini terdiri dari antioksidan enzimatis dan non-enzimatis (Das dan Roychoudhury, 2014). Antioksidan enzimatis diantaranya, peroksidase (PO), polifenol oksidase (PPO), dan katalase (CAT). Menurut Winarsih (2007), katalase berfungsi dalam menguraikan salah satu ROS yaitu hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen. Fungsi yang sama juga pada PO dalam penguraian hidrogen peroksida sehingga dapat mengurangi kerusakan fisiologis tumbuhan (Ardiansah *et al.*, 2017). PPO sendiri sebagai respons fisiologis pada pertahanan tumbuhan terhadap cekaman dengan menguraikan senyawa fenolik yang reaktif menjadi quinon yang stabil (Hutabarat dan Halbwirth, 2019).

Beberapa penelitian sebelumnya menjelaskan kemampuan *S. caseolaris* dalam mengakumulasi logam berat. Menurut Nazli dan Hashim (2010), konsentrasi tinggi logam berat kromium (Cr) dan seng (Zn) pada akar *S. caseolaris* menunjukkan kemampuannya dalam mengambil dan mengakumulasi logam berat dari sedimen. Menurut Hamzah dan Setiawan (2010), logam berat Zn dan Pb yang terakumulasi di akar lebih tinggi dibandingkan yang terdapat di daun.

Perubahan aktivitas enzim antioksidan pada mangrove dibuktikan dengan penelitian Yan *et al.* (2008) dimana aktivitas enzim peroksidase dan katalase menjadi mekanisme toleransi untuk melindungi tumbuhan dari kerusakan akibat ROS dikarenakan konsentrasi logam nikel yang berlebihan. Hasil penelitian ini berguna dalam memahami hubungan yang terjadi antara efek racun dari logam

berat dengan perubahan beberapa aktivitas enzim yang terlibat dalam mekanisme pertahanan tumbuhan (Jiang *et al.*, 2010).

## **1.2. Rumusan Masalah**

Pencemaran logam berat di sungai salah satunya berasal dari limbah industri. Logam berat akan terakumulasi pada biota air seperti tumbuhan mangrove. Upaya untuk mengatasinya melalui proses fitoremediasi salah satunya menggunakan tumbuhan mangrove *S. caseolaris*. Proses fitoremediasi ini akan meningkatkan ROS dalam tumbuhan, maka diperlukan adaptasi *S. caseolaris* secara fisiologis melalui perubahan aktivitas enzim antioksidan berupa enzim PO, PPO, dan CAT. Oleh karena itu perlu dilakukannya penelitian tentang aktivitas enzim PO, PPO, dan CAT sebagai respons adaptasi *S. caseolaris* dalam fitoremediasi logam berat di Pulau Payung Sumatera Selatan.

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aktivitas enzim antioksidan berupa peroksidase (PO), polifenol oksidase (PPO), dan katalase (CAT) sebagai respons adaptasi *S. caseolaris* dalam fitoremediasi logam berat di Pulau Payung Sumatera Selatan.

## **1.4. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai aktivitas enzim antioksidan berupa peroksidase (PO), polifenol oksidase (PPO), dan katalase (CAT) pada *S. caseolaris* dalam fitoremediasi logam berat di Pulau

Payung Sumatera Selatan serta dapat digunakan sebagai marka toleransi tumbuhan terhadap logam dalam fitoremediasi logam berat.

## DAFTAR PUSTAKA

- A Singapore Government Agency Website (NParks Flora & Fauna Web). 2020. *Sonneratia caseolaris* (L.) Engl <https://www.nparks.gov.sg/>. Diakses pada tanggal 11 Februari 2021.
- Abedi, T. dan Pakniyat, H. 2010. Antioxidant Enzyme Change in Response to Drought Stress in Ten Cultivars of Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). *Czech J Genet Plant Breed.* 46(1): 27-34.
- Afriyani, A., Fauziah, F., Mazidah, M., dan Wijayanti, R. 2017. Keanekaragaman Vegetasi Hutan Mangrove di Pulau Payung Sungsang Banyuasin Sumatera Selatan. *Jurnal Lahan Suboptimal.* 6(2): 113-119.
- Alemzadeh, A. dan Rastgoo, L. 2011. Biochemical Responses of Gouan (*Aeluropus littoralis*) to Heavy Stress. *Australian Journal of Crop Science.* 5(4): 375-383.
- Alici, E.H. dan Arabaci, G. 2016. Determination of SOD, POD, PPO dan CAT Enzyme Activities in *Rumex obtusifolius* L. *Annual Research & Review in Biology.* 11(3): 1-7.
- Amri, K., Muchlizar, dan Ma'mun, A. 2018. Variasi Bulanan Salinitas, Ph, dan Oksigen Terlarut di Perairan Estuari Bengkalis. *Majalah Ilmiah Globè.* 20(2): 57-66.
- Apel, K. dan Hirt, H. 2004. Reactive Oxygen Species: Metabolism, Oxidative Stress, and Signal Transduction. *Annu Rev Plant Biol.* 55: 373-399.
- Ardiansah, B., Cahyana, A.H., Suwarso, W.P., Maryana, R., dan Merly, S. 2017. Koping Oksidatif Eugenol Menggunakan Ekstrak Enzim Peroksidase Akar Tanaman Sawi Hijau dan Uji Bioaktivitasnya. *Alchemy: Journal of Chemistry.* 5(3): 78-84.
- Arias, D.G., Doria, C.M.M., Ramos, L.R., dan Morocho, H.C.N. 2012. Molecular Characterization of the Polyphenol Oxidase Gene in Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) Var. Castilla. *Braz. J. Plant Physiol.* 2(2): 261-272.
- Arisandy, K.R., Herawan, E.Y., dan Suprayitno, E. 2012. Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Gambaran Histologi pada Jaringan *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh di Perairan Pantai Jawa Timur. *Jurnal Penelitian Perikanan.* 1(1): 15-25.

- Bahrudin, S.S.A. 2018. Fitokimia dan Antioksidan pada Buah Tome-Tome (*Flacourtia inermis*). *Hospital Majapahit*. 10(1): 43-50.
- Bani, A. dan Echevarria, G. 2019. Can Organic Amendments Replace Chemical Fertilizers in Nickel Agromining Cropping System in Albania?. *International Journal of Phytoremediation*. 21: 43-51.
- Barus, B.S., Aryawati, R., Putri, W.A.E., Nurjuliasti, E., Diansyah, G., dan Sitorus, E. 2019. Hubungan N-Total dan C-Organik Sedien dengan Makrozoobentos di Perairan Pulau Payung, Banyuasin, Sumatera Selatan. *Jurnal Kelautan Tropis*. 22(2): 147-156.
- Bialonska, D., Zobel, A. M., Kuras, M., Tykarska, T., dan Kapusta, K. S. 2007. Phenolic Compounds and Cell Structure in Bilberry Leaves Affected by Emissions from A Zn-Pb Smelter. *Water Air Soil Pollut*. 181: 123-133.
- Bienert, G. P., Schjoerring, J. K., Jahn, T. P. 2006. Membrane Transport of Hydrogen Peroxide. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1758: 994-1003.
- Biological Library (BioLib)*. 2009. *Sonneratia caseolaris* (L.) Engl <https://www.biolib.cz/>. Diakses pada tanggal 28 Februari 2021.
- Blokhina, O., Virolainen, E., dan Fagerstedt, K.V. 2003. Antioxidant, Oxidative Damage and Oxygen Deprivation Stress: a Review. *Annals of Botany*. 91: 179-194.
- Boeckx, T., Winters, A.L., Webb, K.J., dan Kingston-Smith, A.H. 2015. Polyphenol Oxidase in Leaves: is There Any Significance to the Chloroplastic Localization?. *Journal of Experimental Botany*. 66(12): 3571-3579.
- Budiastuti, P., Raharjo, M., dan Dewanti, N.A.Y. 2016. Analisis Pencemaran Logam Berat Timbal di Badan Sungai Babon Kecamatan Genuk Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. 4(5): 119-125.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Copper. Dalam *Canadian Environmental Quality Guidelines*. Canadian Council of Ministers of the Environment. Winnipeg.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Lead. Dalam *Canadian Environmental Quality Guidelines*. Canadian Council of Ministers of the Environment. Winnipeg.

- Cahyani, N., Batu, D.T.F.L., dan Sulistiono. 2016. Kandungan Logam Berat Pb, Hg, Cd, dan Cu pada Daging Ikan Rejung (*Sillago sihama*) di Estuari Sungai Donan, Cilacap, Jawa Tengah. *JPHPI*. 19(3): 267-276.
- Chang, Fang-Chih, Ko, Chun-Han, Tsai, Ming-Jer, Wang, Ya-Nang, dan Chung, Chin-Yi. 2014. Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soil by *Jatropha curcas*. *Ecotoxicology*. 23: 1969-1978.
- Clemens, S. 2001. Molecular mechanisms of Plant Metal Tolerance and Homeostasis. *Planta*. 212: 475-486.
- Clemens, S., Palmgren, M. G., dan Kramer, U. 2002. A Long Way Ahead: Understanding and Engineering Plant Metal Accumulation. *Trends in Plant Science*. 7(7): 309-315.
- Danong, M.T., Ruma, M.T.L., dan Boro, T.L., dan Nono, K.M. 2019. Identifikasi Jenis-Jenis Mangrove di Kawasan Ekowisata Mangrove Kelurahan Oesapa Barat Kota Kupang. *Jurnal Biotropikal Sains*. 16(3): 10-25.
- Das, K. dan Roychoudhury, A. 2014. Reactive Oxygen Species (ROS) and Respons of Antioxidants as ROS-Scavengers During Enviromental Stress in Plants. *Frontiers in Environmental Science*. 2: 1-13.
- De Biasi, M. G., Astolfi, S., Acampora, A., Zuchi, S., Fonzo, V., Santangelo, E., Caccia, R., Badiani, M., dan Soressi, G. P. 2003. A H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Forming Peroxidase Rather Than a NAD(P)H-Dependent O<sub>2</sub><sup>•-</sup> Synthase May be The Major Player in Cell Death Responses Controlled by The Pto-Fen Complex Following Fenthion Treatment. *Functional Plant Biology*. 30: 409-417.
- Dedy, K.I., Santoso, A., dan Irwani. 2013. Studi Akumulasi Logam Tembaga (Cu) dan Efeknya terhadap Struktur Akar Mangrove (*Rhizophoramucronata*). *Journal of Marine Research*. 2(4): 8-15.
- Doganlar, Z. B. dan Atmaca, M. 2011. Influence of Airborne Pollution on Cd, Zn, Pb, Cu, and Al Accumulation and Physiological Parameters of Plant Leaves in Antakya (Turkey). *Water Air Soil Pollut*. 214: 509-523.
- Erakhrumen, A.A. 2007. Phytoremediation: An Enviromentally Sound Technology for Pollution Prevention, Control and Remediation in Developing Countries. *Educational Research and Review*. 2(7):151-156.
- Fan, M. H., Wang, M., dan Zou, P. 2005. Effect of Sodium Chloride on The Activity and Stability of Polyphenol Oxidase from Fuji Apple. *Journal pf Food Biochemistry*. 29: 221-230.

- Farhan, I. dan Razif, M. 2017. Penyisihan Konsentrasi Logam Zn Menggunakan Mangrove *Avicennia marina*. *Jurnal Teknik ITS*. 6(2): 223-227.
- Ferdhiani, A. A., Lestari, S., dan Proklamasingih, E. 2015. Aktivitas Enzim Peroksidase dan Kadar Klorofil pada Daun Angsana (*Pterocarpus indicus*) sebagai Peneduh Jalan yang terpapar Timbal. *Biosfer*. 32(2): 126-133.
- Gill, S. S. dan Tuteja, N. 2010. Reactive Oxygen Species and Antioxidant Machinery in Abiotic Stress Tolerance in Crop Plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 48: 909-930.
- Greipsson, S. 2011. Phytoremediation. *Nature Education Knowledge*. 3(10): 1-5.
- Gupta, D. K., Nicoloso, F. T., Schetinger, M. R. C., Rossato, L. V., Pereira, L. B., Castro, G. Y., Srivastava, S., dan Tripathi, R. D. 2009. Antioxidant Defense Mechanism in Hydroponically Grown *Zea mays* Seedlings under Moderate Lead stress. *Journal of Hazardous Materials*. 172: 479-484.
- Hamzah, F. dan Pancawati, Y. 2013. Fitoremidiasi Logam Berat dengan Menggunakan Mangrove. *Ilmu Kelautan*. 18(4):203-212.
- Hamzah, F. dan Setiawan, A. 2010. Akumulasi Logam Berat Pb, Cu, dan Zn di Hutan Mangrove Muara Angke, Jakarta Utara. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 2(2): 41-52.
- Happy, A., Masyamsir, dan Dhahiyat, Y. 2012. Distribusi Kandungan Logam Berat Pb dan Cd pada Kolom Air dan Sedimen Daerah Aliran Sungai Citarum Hulu. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. 3(3): 175-182.
- Harmida dan Juswardi. 2001. Aktivitas Enzim Peroksidase dan Polifenol Oksidase pada Beberapa Varietas Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) yang Terserang Penyakit Karat.
- Hassan, Z. dan Aarts, M. G. M. 2011. Opportunities and Feasibilities for Biotechnological Improvement of Zn, Cd, or Ni Tolerance and Accumulation in Plants. *Environmental and Experimental Botany*. 72: 53-63.
- Hossain, M. A., Piyatida, P., Da Silva, J. A. T., dan Fujita, M. 2012. Molecular Mechanism of Heavy Metal Toxicity and Tolerance in Plants: Central Role of Glutathione in Detoxification of Reactive Oxygen Species and Methylglyoxal and in Heavy Metal Chelation. *Journal of Botany*. 2012: 1-37.

- Hutabarat, O.S. dan Halbwirth, H. 2019. Polyphenol Oxidase and Peroxidase Activity in Apple: Dependency on Cultivar and Fruit Processing. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 355: 1-8.
- Indirawati, S.M. 2017. Pencemaran Logam Berat Pb dan Cd dan Keluhan Kesehatan pada Masyarakat di Kawasan Pesisir Belawan. *Jurnal Jumantik.* 2(2): 54-60.
- Irhamni, Pandia, S., Purba, E., dan Hasan, W. 2017. Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan Air dalam Menyerap Logam Berat secara Fitoremediasi. *Jurnal Serambi Engineering.* 1(2): 75-84.
- Islam, M.S., Saito, T., dan Kurosaki, M. 2015. Phytofiltration of Arsenic and Cadmium by Using an Aquatic Plant, *Micranthemum umbrosum*: phytotoxicity, Uptake Kinetics, and Mechanism. *Ecotoxicol Environ. Saf.* 112: 193-200.
- Jaleel, C.A., Jayakumar, K., Chang-Xing, Z., dan Azooz, M.M. 2008. Effect of Soil Applied Cobalt on Activities of Antioxidant Enzyme in *Arachis hypogaea*. *Global Journal of Molecular Sciences.* 3(2): 42-45.
- Jayakumar, K., Jaleel, C.A., dan Vijayarengan, P. 2007. Changes in Growth, Biochemical Constituents, and Antioxidant Potential in Radish (*Raphanus sativus* L.) under Cobalt Stress. *Turk. J Biol.* 31: 127-136.
- Jiang, N., Luo, X., Zeng, J., Yang, Zhi-Rong, Zheng, Lin-Yong, dan Wang, Song-Tao. 2010. Lead Toxicity Induced Growth and Antioxidant Response in *Luffa cylindrica* Seedlings. *Int. J. Agric. Biol.* 12(2): 205-210.
- Josephine, Candra, A., dan Rahadiyanti, A. 2020. Efek Ekstrak Tomat (*Solanum Lycopersicum*) terhadap Enzim Katalase Hepar Tikus Wistar (*Rattus norvegicus*) yang Terpapar Minyak Jelantah. *JNH.* 8(1): 1-11.
- Juhaeti, T., Syarif, F., dan Hidayati, N. 2005. Inventarisasi Tumbuhan Potensial untuk Fitoremediasi Lahan dan Air Terdegradasi Penambangan Emas. *Biodiversitasi.* 6(1); 31-33.
- Juhriah dan Alam, M. 2016. Fitoremediasi Logam Berat Merkuri (Hg) pada Tanah dengan Tanaman *Celosia plumose* (Voss) Burv. *Jurnal Biologi Makassar.* 1(1): 1-8.
- Jupriyati, R., Soenardjo, N., dan Suryono, C.A. 2013. Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Pengaruhnya terhadap Histologi Akar Mangrove *Avicennia marina* (Forsk). Vierh. di Perairan Mangunharjo Semarang. *Journal of Marine Research.* 3(1): 61-68.



- Kariada, N.T.M. dan Irsadi, A. 2014. Peranan Mangrove sebagai Biofilter Pencemaran Air Wilayah Tambak Bandeng Tapak, Semarang. *J. Manusia dan Lingkungan*. 21(2): 188-194.
- Kasmiyati, S. dan Sucahyo. 2014. Deteksi Cekaman Oksidatif Akibat Toksisitas Krom pada *Sonchus oleraceus* L. Melalui Penentuan Spesies Oksigen Reaktif secara Spektrofotometer dan Histokimia. *Agric*. 26(1): 85-98.
- Kumar, G. H. dan Kumari, J. P. 2015. Heavy Metal Lead Influlative Toxicity and Its Assessment in Phytoremediating Plants-A Review. *Water Air Soil Pollut*. 226 (324): 1-11.
- Kusmana, C. 14-15 Desember 2010. *Respons Mangrove terhadap Perubahan Iklim Global: Aspok Biologi dan Ekologi Mangrove*. Makalah disampaikan pada Lokakarya Nasional Peran Mangrove dalam Mitigasi Bencana dan Perubahan Iklim, KKP, Jakarta.
- Laghlimi, M., Baghdad, B., El Hadi, H., dan Bouabdli, A. 2015. Phytoremediation Mechanisms of Heavy Metal Contaminated Soils: A Review. *Open Journal of Ecology*. 5: 375-388.
- Leonard, S. S., Bower, J. J., dan Shi, X. 2004. Metal-Induced Toxicity, Carcinogenesis, Mechanisms and Cellular Responses. *Molecular and Cellular Biochemistry*. 255: 3-10.
- Lin, H., Peng, Ya-Li, Chen, J., dan Liang, L. 2015. Effect of Heavy Metal Stress on Antioxidase Enzymes. *International Conference on Manufacturing Science and Engineering*. 2(1): 871-876.
- Lyusta, A.H., Agustriani, F., dan Surbakti, H. 2017. Analisis Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) pada Sedimen di Pulau Payung Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan. *Maspari Journal*. 9(1): 17-24.
- Malik, C.P. dan Singh, M.B. 1980. *Plant Enzymology and Histo Enzymology*. New Delh: Kalyani Publisher.
- Mallick, N. dan Rai, L. C. 2002. Physiological Responses of Non-Vascular Plants to Heavy Metals. Dalam E. Cseh, M. N. V. Prasad, dan K. Strzalka, editor. *Physiology and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants*. 111-147. Springer. Netherlands.
- Mayer, A.M. 2006. Polyphenol Oxidases in Plants and Fungi: Going Place? a Review. *Phytochemistry*. 67: 2318-2331.

- Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2004. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut*. Jakarta.
- Mishra, B.B. dan Gautam, S. 2016. Polyphenol Oxidases: Biochemical and Molecular Characterization, Distribution, Role and its Control. *Enz Eng*. 5(1): 1-9.
- Mittler, R. 2002. Oxidative Stress, Antioxidants and Stress Tolerance. *Trends in Plant Science*. 7(9): 405-410.
- Muthusaravanan, S., Sivarajasekar, N., Vivek, J.S., Paramasivan, T., Naushad, M., Prakashmaran, J., Gayathri, V., dan Al-Duaij, O.K. 2018. Phytoremediation of Heavy Metals: Mechanisms, Methods and Enhancements. *Environmental Chemistry Letters*. 16(4): 1339-1359.
- Nazli, F.M. dan Hashim, N.R. 2010. Heavy Metal Concentrations in Important Mangrove Species *Sonneratia caseolaris* in Peninsular Malaysia. *Environment Asia*. 3: 50-55.
- Novita, E., Hermawan, A.A.G., dan Wahyuningsih, S. 2019. Komparasi Proses Fitoremediasi Limbah Cair Pembuatan Tempe Menggunakan Tiga jenis Tanaman Air. *Jurnal Agroteknologi*. 13(1):16-24.
- Odjegba, V. J. Dan Fasidi, I. O. 2007. Changes in Antioxidant Enzyme Activities in *Eichornia crassipes* (Pontederiaceae) and *Pistia stratiotes* (Araceae) under Heavy Metal Stress. *Int J Trop Biol*. 55(3-4): 815-823.
- Palar, H. 2008. Toksikologi dan Pencemaran Logam Berat. Jakarta: Rineka Cipta.
- Palma, J.M., Mateos, R.M., López-Jaramillo, J., Rodríguez-Ruiz, M., González-Gordo, S., Lechuga-Sancho, A.M., dan Corpas, F.J. 2020. Plant Catalase as NO and H<sub>2</sub>S Targets. *Redox Biology*. 34: 1-9.
- Pandey, V.P., Awasthi, M., Singh, S., Tiwari, S., dan Dwivedi, U.N. 2017. A Comprehensive Review on Function and Application of Plant Peroxidase. *Biochem Anal Biochem*. 6(1): 1-16.
- Pranoto. 2013. Fitoteknologi dan Ekotoksikologi dalam Pengolahan Sampah Menjadi Kompos. *Indonesian Journal of Conservation*. 2(1): 66-73.
- Prianto, E., Husnah, dan Aprianti, S. 2010. Karakteristik Fisika Kimia Perairan dan Struktur Komunitas Zooplankton di Kawasan Estuari Sungai Banyuasin Sumatera Selatan. *Bawal*. 3(3): 149-157.

- Purnama, Y., Hilwan, I., dan Kusmana, C. 2012. Pengaruh Tingkat Penggenangan terhadap Pertumbuhan Semai Pedada (*Sonneratia caseolaris* (L.) Engler) di Kawasan Mangrove Tol Sedyatmo Angke Kapuk, Jakarta Utara. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 3(1): 1-7.
- Purwiyanto, A.I.S. 2013. Daya Serap Akar dan Daun Mangrove terhadap Logam Tembaga (Cu) di Tanjung Api-Api, Sumatera Selatan. *Maspri Journal*. 5(1): 1-5.
- Puspita, A.D., Santoso, A., dan Yulianto, B. 2013. Studi Akumulasi Logam Timbal (Pb) dan Efeknya terhadap Kandungan Klorofil Daun Mangrove *Rhizophora mucronata*. *Journal of Marine Research*. 3(1): 44-53.
- Queiroz, C., Lopes, M. L. M., Fialho, E., dan Valente-Mesquita, V. L. 2008. Polyphenol Oxidase: Characteristics and Mechanisms of Browning Control. *Food Reviews International*. 24: 361-375.
- Reddy, A. M., Kumar, S. R., Jyothsnakumari, G., Thimmanaik, S., dan Sudhakar, C. 2005. Lead Induced Changes in Antioxidant Metabolism of Horsegram (*Macrotyloma uniflorum* (Lam.) Verdc.) and Bengalgram (*Cicer arietinum* L.). *Chemosphere*. 60: 97-104.
- Robi, Aritonang, A. B., dan Sofiana, M. S. J. 2021. Kandungan Logam Berat Pb, Cd, dan Hg pada Air dan Sedimen di Perairan Samudera Indah Kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat. *Jurnal Laut Khatulistiwa*. 4(1): 20-28.
- Rosidah, S., Anggraito, Y.U., dan Pukan, K.K. 2014. Uji Toleransi Tanaman Tembakau (*Nicotiana tabacum* L.) terhadap Cekaman Kadmium (Cd) Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) pada Kultur Cair. *Unnes J Life Sci*. 3(2): 68-78.
- Ruley, A. T., Sharma, N. C., dan Sahi, S. V. 2004. Antioxidant Defense in a Lead Accumulating Plant, *Sesbania drummondii*. *Plant Physiology and Biochemistry*. 42: 899-906.
- Rumanta, M. 2019. The Potential of *Rhizophora mucronata* and *Sonneratia caseolaris* for Phytoremediation of Lead Pollution in Muara Angke North Jakarta Indonesia. *Biodiversitas*. 20(8): 2151-2158.
- Sakakibara, M., Watanabe, A., Sano, S., Inoue, M., dan Kaise, T. 2010. Phytoextraction and Phytovolatilization of Arsenic from As-Contaminated Soils by *Pteris vitata*. *Proceedings of the Annual International Conference on Soils, Sediments, water, and Energy*. Japan.

- Sakihama, Y., Cohen, M. F., Grace, S. C., dan Yamasaki, H. 2002. Plant Phenolic Antioxidant and Prooxidant Activities: Phenolics-Induced Oxidative Damage Mediated by Metals in Plants. *Toxicology*. 177: 67-80.
- Samiyarsih, S., Suparjana, T.B., dan Juwarno. 2016. Karakter Anatomi Daun Tumbuhan Mangrove Akibat Pencemaran di Hutan Mangrove Kabupaten Cilacap. *Biosfera*. 33(1): 31-36.
- Sanadi, T.H., Schaduw, J.N.W., Tilaar, S.O., Mantiri, D., Bara, R., dan Pelle, W. 2018. Analisis Logam Berat Timbal (Pb) pada Akar Mangrove di Desa Bahowo dan Desa Talawaan Bajo Kecamatan Tongkaina. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*. 2(1): 9-18.
- Setianto, H. dan Fahritsani, H. 2019. Faktor Determinan yang Berpengaruh terhadap Pencemaran Sungai Musi Kota Palembang. *Media Komunikas Geografi*. 20(2): 186-198.
- Setiawan, H. 2013. Akumulasi dan Distribusi Logam Berat pada Vegetasi Mangrove di Perairan Pesisir Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 7(1): 12-24.
- Sidauruk, L. dan Sipayung, P. 2015. Fitoremediasi Lahan Tercemar di Kawasan Industri Medan dengan Tanaman Hias. *Jurnal Pertanian Tropik*. 2(2): 178-186.
- Simbolon, E., Suedy, S.W.A., dan Darmanti, S. 2020. Pengaruh Hidrogen Peroksida dan Ketersediaan Air terhadap Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.) Merr. Varietas Deja 1. *Agric*. 32(1): 39-50.
- Sinulingga, N., Nurtjahja, K., dan Karim, A. 2015. Fitoremediasi Logam Merkuri (Hg) pada Media Air oleh Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk.). *Jurnal Biologi Lingkungan, Industri, Kesehatan*. 2(1):75-81.
- SNI 06-6992.3-2004. *Cara Uji Timbal (Pb) secara Destruksi Asam dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 06-6992.5-2004. *Cara Uji Tembaga (Cu) secara Destruksi Asam dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Soepardi, G. 1983. *Sifat dan Ciri Tanah*. IPB Press. Bogor.
- Sofo, A., Dichio, B., Xiloyannis, C., dan Masia, A. 2005. Antioxidant Defences in Olive Trees During Droughth Stress: Changes in Activity of Some

Antioxidant Enzymes. *Functional Plant Biology*. 32: 45-53.

- Srivastava, M., Khandelwal, A., dan Srivastava, S. 2019. Heavy Metal Hyperaccumulator Plants: The Resource to Understand the Extreme Adaptations of Plants Towards Heavy Metals. Dalam S. Srivastava, A. K. Srivasava, dan P. Suprasanna. *Plant-Metal Interaction*. 79-97. Springer Nature. Switzerland.
- Suksmerri. 2008. Dampak Pencemaran Logam Timah Hitam (Pb) terhadap Kesehatan. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. 2(2): 200-202.
- Sutrisno, W. 2012. Sintesis Senyawa Dimer Isoeugenol Menggunakan Enzim Peroksidase dari Kulit Bawang Bombay. *Tesis*. Depok. Universitas Indonesia.
- Suwarsito dan Sarjanti, E. 2014. Analisa Spasial dan Pencemaran Logam Berat pada Sedimen dan Biota Air di Muara Sungai Serayu Kabupaten Cilacap. *Geoedukasi*. 3(1): 30-37.
- Thakur, S., Singh, L., Wahid, Z. A. B., Siddiqui, M. F., At Naw, S. M., dan Din, M. F. M. D. 2016. Plant-Driven Removal of Heavy Metals from Soil: Uptake, Translocation, Tolerance Mechanism, Challenges, and Future Perspective. *Environ Monit Assess*. 188(206): 1-11.
- Thipyapong, P., Melkonian, J., Wolfe, D. W., dan Steffens, J. C. 2004. Suppression of Polyphenol Oxidases Increases Stress Tolerance in Tomato. *Plant Science*. 167: 693-703.
- Wawakhi, S., Iranawati, F., dan Pratiwi, D.C. 2015. Teknologi Fitoremediasi *Avicennia alba* dalam Upaya Mengurangi Timbal di Kelurahan Wonorejo, Surabaya. *Seminar Nasional Perikanan dan Kelautan V*. Malang.
- Werdhasari, A. 2014. Peran Antioksidan Bagi Kesehatan. *Jurnal Biotek Medisiana Indonesia*. 3(2): 59-68.
- Wetlands International Indonesia Programme*. 2012. *Sonneratia caseolaris* (L.) Engl. <http://www.wetlands.or.id/index.php>. Diakses pada tanggal 1 Maret 2021.
- Winarsih, H. 2007. *Antioksidan Alami dan Radikal Bebas*. Yogyakarta: Kanisius.
- Winarti, S. 2010. *Makanan Fungsional*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Wulandari, R., Purnomo, T., dan Winarsih. 2014. Kemampuan Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) dalam Menyerap Logam Berat

Kadmium (Cd) Berdasarkan Konsentrasi dan Waktu Pemaparan yang Berbeda. *LenteraBio*. 3(1): 83-89.

Yadav, S.K. 2010. Heavy Metals Toxicity in Plants: An Overview on The Role of Glutathione and Phytochelatins in Heavy Metal Stress Tolerance of Plants. *South African Journal of Botany*. 76: 167-179.

Yan, R., Gao, S., Yang, W., Cao, M., Wang, S., dan Chen, F. 2008. Nickel Toxicity Induced Antioxidant Enzyme and Phenylalanine Ammonia-Lyase Activities in *Jatropha curcas* L. Cotyledons. *Plant Soil Environ*. 54(7): 294-300.

Yruela, I. 2009. Copper in Plants: Acquisition, Transport, and Interactions. *Functional Plant Biology*. 36: 409-430.

Yudo, S. 2006. Kondisi Pencemaran Logam Berat di Perairan Sungai Dki Jakarta. *JAI*. 2(1): 1-15.

Yuniastuti, K.A. dan Iswari, R.S. 2015. Pengaruh Suplementasi Madu Kelengkeng terhadap Kadar TSA MDA Tikus Putih yang Diinduksi Timbal (Pb). *Jurnal MIPA*. 38(2): 108-114.