

**AKTIVITAS PEROKSIDASE DAN POLIFENOL OKSIDASE  
PADA *Avicennia alba* Blume DALAM FITOREMEDIASI  
LOGAM BERAT DI PULAU PAYUNG SUMATERA SELATAN**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapat Gelar Sarjana Sains pada  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya

**SKRIPSI**

**Oleh:**

**RISKI NITAMI**  
**08041381722106**



**JURUSAN BIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2021**

## **HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI**

Judul Skripsi : Aktivitas Peroksidase dan Polifenol Oksidase pada *Avicennia alba* Blume dalam Fitoremediasi Logam Berat di Pulau Payung Sumatera Selatan.

Nama Mahasiswa : Riski Nitami

NIM : 08041381722106

Jurusan : Biologi

Telah disetujui untuk disidangkan pada tanggal 10 November 2021

Indralaya, November 2021

Pembimbing :

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



(.....)

## HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Aktivitas Peroksidase dan Polifenol Oksidase pada *Avicennia alba* Blume dalam Fitoremediasi Logam Berat di Pulau Payung Sumatera Selatan.

Nama Mahasiswa : Riski Nitami

NIM : 08041381722106

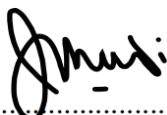
Jurusan : Biologi

Telah dipertahankan dihadapan Pembimbing dan Pembahas pada Sidang di Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya 10 November 2021 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai dengan masukan yang diberikan

Indralaya, November 2021

Ketua

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



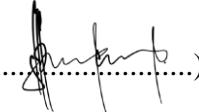
(.....)

Anggota :

1. Singgih Tri Wardana, S.Si., M.Si.  
NIP. 197109111999031004
2. Dr. Sarno, M.Si.  
NIP. 196507151992031004
3. Drs. Erwin Nofyan, M.Si.  
NIP. 195611111986031002



(.....)

(.....)


(.....)

Indralaya, November 2021



## **HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH**

Saya yang bertanda tangan :

Nama : Riski Nitami  
NIM : 08041381722106  
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 saya buat dengan sebenarnya.



Indralaya, November 2021



Riski Nitami  
08041381722106

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

Sebagai sivitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan

Nama : Riski Nitami  
NIM : 08041381722106  
Fakultas/Jurusan : MIPA/Biologi  
Jenis Karya : Skripsi

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

Aktivitas Peroksidase dan Polifenol Oksidase pada *Avicennia alba* Blume dalam Fitoremediasi Logam Berat di Pulau Payung Sumatera Selatan.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalty nonekslusif 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, November 2021



Riski Nitami  
08041381722106

## **HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

**Boleh jadi kamu membenci sesuatu padahal ia amat baik bagimu,  
dan boleh jadi pula kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk bagimu,  
Allah mengetahui sedang kamu tidak mengetahui  
(QS. Al-Baqarah (2): 216)**

**Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum,  
kecuali mereka mengubah keadaan mereka sendiri  
(QS. Ar Ra'd (13): 11)**

### **Karya Ilmiah saya persembahkan untuk:**

- Allah SWT
- Kedua orang tua bapak Lahmuddin dan ibu Umaiyah yang selalu mendoakan dan memberi support
- Saudara kandung, sahabat dan teman seperjuangan
- Almamater

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi yang berjudul “Aktivitas Peroksidase dan Polifenol Oksidase pada *Avicennia alba* Blume dalam Fitoremediasi Logam Berat di Pulau Payung Sumatera Selatan” dapat diselesaikan. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains (S.Si).

Pada kesempatan ini segenap terimakasih kepada kedua orang tua Bapak Lahmuddin dan Ibu Umaiyah yang telah memberi dukungan baik berupa doa maupun materi. Terimakasih kepada Drs. Juswardi, M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dukungan maupun saran dengan penuh keikhlasan dan kesabaran 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. dan Dr. Sarno, M.Si. selaku Ketua dan Sekertaris Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
3. Drs. Hanifa Marisa, M.S. selaku pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama perkuliahan.
4. Singgih Tri Wardana, S.Si., M.Si. dan Dr. Sarno, M.Si. sebagai dosen Pembahas yang telah membimbing, memberi tanggapan dan saran serta Erwin Nofyan, M.Si. sebagai dosen penguji yang telah memberikan saran.
5. Seluruh dosen Jurusan Biologi beserta karyawan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.
6. Kakak Andriyadi dan Natasha Puji Agustiani. Kemudian tim fitoremediasi yang telah membantu selama penelitian.

Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat untuk berbagai pihak khususnya bagi penulis.

Indralaya, November 2021

Penulis

**Peroxidase and Polyphenol Oxidase Activities in *Avicennia alba* Blume  
in Heavy Metal Phytoremediation in Pulau Payung South Sumatra**

**Riski Nitami**

**NIM: 08041381722106**

**SUMMARY**

The position of Pulau Payung, which is right in the middle of the Musi River estuary, makes this island potentially polluted by heavy metal waste. One alternative that can be used for the management of water pollution from heavy metals is phytoremediation. *Avicennia alba* has the ability to absorb heavy metals so that it can be used as a phytoremediation agent. The physiological response of *Avicennia alba* to heavy metal stress causes changes in the activity of free radical enzymes, especially PO and PPO, so a study was conducted to determine the activity of peroxidase (PO) and polyphenol oxidase (PPO) as a response to plant physiology adaptation of *Avicennia alba* in phytoremediation of heavy metals in Pulau Payung South Sumatra. This research was carried out in April 2021-July 2021 at the Physiology and Developmental Laboratory of the Department of Biology, Sriwijaya University. The sampling process uses the Cluster sampling method. Measurement of the levels of Pb and Cu using atomic absorption spectrophotometry. Protein extraction using the principle of centrifugation. Measurement of total protein content, and activity of PO and PPO using uv-vis spectrophotometry method. Analysis of the data used in the form of quantitative data for measuring pH, temperature, metal content of Pb and Cu and the activity data of PO and PPO presented by analysis of data centering and standard deviation. Based on the research that has been done, it is found that the high activity of PO and PPO in *A. alba* in phytoremediation of heavy metals in Payung Pulau at station 2, namely PO of  $59.64 \pm 10.60$  U/mg protein/minute and PPO of  $117.94 \pm 6.21$  U/mg protein/minute indicates a physiological response that is influenced by the high content of heavy metals Cu and Pb in the sediment with an average of Cu  $6.71 \pm 0.08$  mg/kg and Pb of  $6.98 \pm 0.57$  mg/kg.

**Keywords:** *Avicennia alba* Blume, Stress, Phytoremediation, Heavy Metals, Peroxidase, Polyphenol Oxidase.

# **Aktivitas Peroksidase dan Polifenol Oksidase Pada *Avicennia alba* Blume dalam Fitoremediasi Logam Berat di Pulau Payung Sumatera Selatan**

**Riski Nitami**

**NIM: 08041381722106**

## **RINGKASAN**

Posisi Pulau Payung yang tepat berada di tengah aliran muara Sungai Musi menjadikan pulau ini berpotensi tercemar limbah logam berat. Alternatif yang dapat digunakan untuk pengelolaan pencemaran suatu perairan dari logam berat salah satunya adalah fitoremediasi. *Avicennia alba* mempunyai kemampuan menyerap logam berat sehingga dapat dijadikan sebagai agen fitoremediasi. Respons fisiologis *Avicennia alba* terhadap stress logam berat menyebabkan terjadinya perubahan aktivitas enzim radikal bebas terutama PO dan PPO sehingga dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui aktivitas peroksidase (PO) dan polifenol oksidase (PPO) sebagai respons adaptasi fisiologi tumbuhan *Avicennia alba* dalam fitoremediasi logam berat di Pulau Payung Sumatera Selatan. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2021-Juli 2021 bertempat di Laboratorium Fisiologi dan Perkembangan Jurusan Biologi, Universitas Sriwijaya. Proses pengambilan sampel menggunakan metode *Cluster sampling*. Pengukuran kadar logam Pb dan Cu menggunakan spektrofotometri serapan atom. Ekstraksi protein menggunakan prinsip sentrifugasi. Pengukuran kadar protein total, dan aktivitas PO dan PPO menggunakan metode spektrofotometri uv-vis. Analisis data yang digunakan berupa data kuantitatif untuk pengukuran pH, Suhu, kadar logam Pb dan Cu dan pada data aktivitas PO dan PPO disajikan dengan analisis pemusatan data dan standar deviasi. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil bahwa tingginya aktivitas PO dan PPO pada *A. alba* dalam fitoremediasi logam berat di Pulau Payung pada stasiun 2 yaitu PO sebesar  $59,64 \pm 10,60$  U/mg protein/menit dan PPO sebesar  $117,94 \pm 6,21$  U/mg protein/menit menunjukkan adanya respons fisiologis yang dipengaruhi oleh tingginya kandungan logam berat Cu dan Pb yang ada didalam sedimen dengan rata-rata Cu sebesar  $6,71 \pm 0,08$  mg/kg dan Pb sebesar  $6,98 \pm 0,57$  mg/kg.

**Kata kunci:** *Avicennia alba* Blume, Cekaman, Fitoremediasi, Logam berat, Peroksidase, Polifenol Oksidase

## DAFTAR ISI

Halaman

<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	i
<b>HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI.....</b>	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....</b>	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....</b>	iv
<b>HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....</b>	v
<b>HALAMAN MOTO DAN PERSEMBAHAN.....</b>	vi
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	vii
<b>SUMMARY .....</b>	viii
<b>RINGKASAN.....</b>	ix
<b>DAFTAR ISI.....</b>	x
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	xii
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	xiv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	1
1 1.. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJUAN PUSTAKA .....</b>	6
2.1. Mangrove.....	6
2.2. Fitoremediasi.....	7
2.2.1. Macam-macam Fitoremediasi.....	8
2.3. Mangrove <i>Avicennia alba</i> .....	10
2.4. Logam Berat.....	12
2.5. Respons Tumbuhan Terhadap Logam Berat.....	14
2.6. Enzim.....	16
2.6.1. Peroksidase (PO) .....	16
2.6.2. Polifenol Oksidase (PPO) .....	18
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	19
3.1. Waktu dan Tempat.....	19
3.2. Alat dan Bahan.....	19
3.3. Cara Kerja.....	19
3.3.1. Pengambilan Sampel.....	19
3.3.1.1. Pengambilan Sampel Akar.....	21
3.3.1.2. Pengambilan Sampel Sedimen.....	21
3.3.2. Preparasi Sedimen.....	21
3.3.3. Parameter Logam Berat yang Ada di Lingkungan.....	22
3.3.3.1. Pengukuran Ph pada Air Logam Berat.....	22
3.3.3.2. Pengukuran Suhu.....	22
3.3.3.3. Ekstraksi Protein.....	23
3.3.4. Penentuan Kadar Protein Total.....	23

3.3.5. Pengukuran Aktivitas Peroksidase (PO) .....	23
3.3.6. Pengukuran Aktivitas Polifenol Oksidase (PPO) .....	24
3.4. Analisis Data.....	25
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>26</b>
4.1. Aktivitas Peoksidase (PO) .....	26
4.2. Aktivitas Polifenol Oksidase (PPO) .....	29
4.3. Parameter Lingkungan.....	33
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>38</b>
5.1. Kesimpulan.....	38
5.2. Saran.....	38
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>39</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>45</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....</b>	<b>47</b>

## **DAFTAR GAMBAR**

Halaman

Gambar 2.1. <i>Avicennia alba</i> .....	10
Gambar 2.2. Peta Lokasi Sampling.....	20

## **DAFTAR TABEL**

	Halaman
Tabel 4.1. Aktivitas Peroksidase pada akar <i>Avicennia alba</i> dalam Fitoremediasi Logam Berat di Pulau Payung Sumatera Selatan.....	26
Tabel 4.2. Aktivitas Peroksidase pada akar <i>Avicennia alba</i> dalam Fitoremediasi Logam Berat di Pulau Payung Sumatera Selatan.....	30
Tabel 4.3. Kadar Logam Cu dan Pb pada bagian Sedimen di Pulau Payung Sumatera Selatan.....	33
Tabel 4.4. Parameter Lingkungan Kondisi Air di Pulau Payung Sumatera Selatan.....	35

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Halaman

Lampiran 1. Pengambilan Sampel Akar dan Sedimen.....	45
Lampiran 2. Pengukuran Parameter Lingkungan.....	46
Lampiran 3. Pengukuran Kadar Logam di Sedimen.....	46
Lampiran 4. Pengukuran Peroksidase (PO) dan Polifenol Oksidase (PPO).....	46

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Ekosistem mangrove pada umumnya terdapat di daerah muara, tepi pantai di wilayah pesisir yang terlindungi oleh hampasan ombak serta juga daerah yang landai. Dahuri (2003) menjelaskan bahwa daerah tepi pantai yang mempunyai muara sungai besar dan endapan yang aliran airnya mengandung banyak substrat lumpur merupakan kawasan yang optimal untuk tumbuhnya mangrove.

Kawasan mangrove yang berada di Pesisir Timur Sumatera Selatan salah satunya yaitu Pulau Payung. Pulau ini terdapat di Muara Sungai Musi (Lyusta *et al.*, 2017). Letak Pulau Payung yang berada di tengah aliran Muara Sungai Musi membuat pulau ini berpotensi tercemar limbah logam berat yang berasal dari aktivitas manusia seperti industri, rumah tangga dan pelayaran yang berada di sepanjang aliran sungai, serta tingginya aktivitas pertanian juga menjadi penyebab pencemaran lingkungan (Surbakti, 2012).

Status Pulau Payung sebagai *Marine Protected Area* (MPA) menyediakan fungsi tambahan untuk mendukung area perairan di sekitarnya. Hampir dari total area di Pulau Payung adalah pohon mangrove yang secara biologis untuk tempat bertelur dan berkembang biak untuk ikan, kepiting, kerang dan udang (Purwiyanto dan Agustriani, 2017). Fungsi fisik mangrove diantaranya dapat melindungi pantai dari hampasan ombak dan angin, menahan abrasi, menyerap air

hujan untuk menghindari terjadinya banjir dan menjadi menyerap limbah yang akan mencemari perairan (Mulyadi *et al.*, 2009).

Pencemaran logam berat merupakan pencemaran yang berbahaya. Logam berat termasuk bahan pencemar lingkungan yang sering kali ditemukan didalam perairan (Mohiuddin *et al.*, 2011). Adanya aktivitas industri yang intens maupun kegiatan manusia baik dalam bidang pertambangan, industri penggilingan dan industri manufaktur menimbulkan terlepasnya limbah pencemar kedalam lingkungan (Karbassi *et al.*, 2008). Efek dari adanya pencemaran logam berat dari kegiatan industri dan aktivitas rumah tangga perlu diatasi, hal ini dikarenakan akan meningkatkan permasalahan yang besar bagi perkembangan hidup manusia maupun biota yang berada di sekitarnya (Wulan *et al.*, 2013).

Alternatif yang dapat digunakan untuk pengelolaan pencemaran suatu perairan dari pecemaran logam berat yaitu dengan menggunakan fitoremediasi. Menurut Hardyanti dan Rahayu (2007), fitoremediasi yaitu penggunaan tumbuhan dan bagian lainnya untuk membersihkan limbah dan permasalahan pencemaran lingkungan baik secara *ex-situ* menggunakan bak buatan dan juga *in-situ* pada tanah atau tempat yang tercemar limbah.

Mangrove termasuk tumbuhan yang bersifat hiperakumulator dimana tumbuhan ini mampu menghilangkan logam berat yang terserap kedalam lingkungan pada konsentrasi tertentu. Mangrove merupakan tumbuhan yang bisa dimanfaatkan atau dikembangkan untuk mengatur permasalahan pencemaran logam berat yang ada di lingkungan (Sanadi *et al.*, 2018).

Salah satu spesies mangrove yang berada di Pulau Payung adalah *Avicennia alba* Blume. Tipe akar *A. alba* yang kompleks menyebabkan *A. alba* mampu menyerap logam berat yang ada pada bagian akar. *A. alba* merupakan jenis mangrove yang dikategorikan kedalam mangrove pioner dimana mangrove ini mampu beradaptasi di daerah lumpur dengan kadar garam yang tinggi (Rodtassana dan Poungparn, 2012).

Menurut Rachmawati *et al.* (2018), dapat dilihat bahwa kadar konsentrasi Pb dan Cu di lokasi penelitian pada sedimen, daun dan akar dibandingan Pb kandungan Cu lebih tinggi. Ketersediaan Cu yang secara alami lebih tinggi dibandingkan Pb diduga menjadi penyebab tingginya kandungan Cu. Logam berat yang berada di lingkungan sekitar mampu diserap dan didegradasi oleh *A. alba* yang terdapat didalam tubuhnya, tetapi tumbuhan ini mempunyai mekanisme fitoremediasi yang berbeda (fitostabilisasi untuk Cu dan fitoekstraksi untuk Pb).

Tumbuhan yang mampu mengakumulasi logam berat diikuti oleh peningkatan respirasi. Peningkatan respirasi tersebut dapat menginduksi reaktif oksigen spesies (ROS). ROS dikendalikan secara enzimatik dengan enzim antioksidan (enzim oksidatif radikal bebas). Menurut Novita dan Purnomo (2012), tumbuhan akan merespons masuknya logam berat ke dalam jaringan sebagai bentuk dari cekaman lingkungan dan akan memberikan perubahan sebagai respons adaptasi. Respons enzimatis dapat dilihat dari aktivitas enzim peroksidase. Salah satu fungsi dari enzim peroksidase yaitu sering dikaitkan dengan proses ketahanan (Yanti, 2011). Enzim antioksidatif tumbuhan terhadap

cekaman logam berat diantaranya Superoxida dismutase (SOD), peroksidase (POX) dan Katalase (CAT) (Erdal dan Demirtas, 2010).

Menurut zhang *et al.* (2007), *Kandelia candel* (L.) Druce memiliki toleransi yang lebih besar terhadap tekanan logam berat dibandingkan dengan *Bruguiera gymnorhiza* (L.), dan terdapat perbedaan yang signifikan dalam aktivitas peroksidase (POD) antara *K. candel* dan *B. gymnorhiza*. Sehingga dapat dikatakan bahwa *K. candel* lebih efisien dalam menghilangkan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh peroksidasi membran lipid.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Logam berat yang masuk ke dalam perairan yang merupakan akibat dari kegiatan manusia dan industri dapat mencemari lingkungan. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi perrmasalan logam berat salah satunya dengan memanfaatkan *Avicennia alba* sebagai agen fitoremediasi. Tanaman akan merespons masuknya logam berat ke dalam jaringan sebagai cekaman lingkungan dan memberikan perubahan sebagai respons adaptasi tumbuhan secara fisiologis sehingga akan terjadi perubahan aktivitas enzim radikal bebas terutama peroksidase (PO) dan polifenol oksidase (PPO). Sehingga perlunya dilakukan penelitian mengenai aktivitas PO dan PPO pada *Avicennia alba* Blume dalam fitoremediasi logam berat di Pulau Payung Sumatera Selatan.

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aktivitas peroksidase (PO) dan polifenol oksidase (PPO) sebagai respons adaptasi fisiologi tumbuhan *Avicennia alba* Blume dalam fitoremediasi logam berat di Pulau Payung Sumatera Selatan

#### **1.4. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi mengenai aktivitas enzim yang berperan sebagai penanda fisiologi tumbuhan seperti PO dan PPO serta memanfaatkan tumbuhan *Avicennia alba* Blume sebagai agen fitoremediasi logam berat yang berada di Pulau Payung Sumatera Selatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afriyani, A., Fauziyah, F., Mazidah, M., dan Wijayanti, R. 2017. Keanekaragaman Vegetasi Hutan Mangrovedi Pulau Payung Sungsang Banyuasin Sumatera Selatan. *Jurnal Lahan Suboptimal*. 6(2) :113-119.
- Al-Baarri, A. N., Legowo, A. M., Siregar, R. F., Utami, T., Adi, C. W. C., Rachmantyo, A., dan Pradhana, F. L. 2016. *Peroksidase Daun Tomat dan Aplikasinya untuk Antibakteri*. Semarang: Indonesian Food Tecnologist.
- Aldila, F., Anggarwulan, E., dan Solichatun. 2015. Kadar Prolin dan Polifenol Tanaman Kimpul (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott) pada Variasi Intensitas Cahaya dan Ketersediaan Air. *Biodiversitas*. 1-14.
- Anggarwulan, E., Soichatun., dan Mudyantini, W. 2008. Karakter Fisioogi Kimpul (*Xanthosoma Sagittifolium* (L.) Schott) pada Variasi Naungan dan Ketersediaan Air. *Biodiversitas*. 9(4): 264-268.
- Arifin, Z. 2008. Beberapa Unsur Mineral Esensial Mikro dalam Sistem Biologi dan Metode Analisisnya. *Jurnal Litbang Pertanian*. 27(3): 99-105.
- Arifin, Z., D. Fadhlina. 2009. Fraksinasi Logam Berat Pb, Cd, Cu dan Zn dalam Sedimen dan Bioavailabilitasnya Bagi Biota di Perairan Teluk Jakarta. *Indonesian Journal of Marine Science*. 14(1): 27–32.
- Armita, D dan Alawiyatun, N. A. W. 2020. Studi Pertumbuhan dan Aktivitas Enzim Antioksidan pada Kultur In Vitro Tomat Akibat Cekaman Salinitas. *Journal of Agricultural Science*. 5(1): 64-73.
- Awaliyah., Yona, D., dan Pratiwi, D. C. 2018. Akumulasi Logam Berat Pb dan Cu pada Akar dan Daun Mangrove *Avicennia Marina* di Sungai Lamong, Jawa Timur. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir nan Perikanan*. 7(3): 187-197.
- Berniyanti, T. 2018. *Biomarker Toksisitas Paparan Logam Tingkat Molekuler*. Surabaya: University Airlangga Press.
- Biological Library (BioLib). 2009. *Avicennia alba* <https://biolib.cz/>. Diakses pada tanggal 15 Juli 2021.

- 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.
- Dahuri, 2003. Profil Ekosistem Mangrove di Desa Bahoi Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Ilmiah Platax*. 3:(2): 140-188.
- Erdal, S dan Demirtas, A., 2010. Effect of Cement Flue Dust a Cement Factory on Stress Parameters and Diversity of Aquatic Plants. *Toxicology and Industrial Health*. 26(6): 339-343.
- Fatmawati, N. 2013. Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd). *Biogenesis*. 1(1): 74-83.
- Ferdhiani, A. A., Sri, L., Elly, P. 2015. Aktivitas Enzim Peroksidase dan Kadar Klorofil pada Daun Angsana (*Pterocarpus indicus*) sebagai Peneduh Jalan yang Terpapar Timbal. *Biosfera*. 32(2): 126-133.
- Gunarto. 2004. Konservasi Mangrove Sebagai Pendukung Sumber Hayati Perikanan Pantai. *Jurnal Litbang Pertanian*. 23(1) : 102-130.
- Halliwell, B. 2006. Reactive Species and Antioxidants: Redox Biology is a Fundamental Theme of Aerobic Life. *Plant physiol.* 141: 312-322.
- Hamzah, F. dan Pancawati, Y. 2013. Fitoremidiasi Logam Berat dengan Menggunakan Mangrove. *Indonesian Journal of Marine Sciences*.1(4): 203-212.
- Handayanto, E., Nuraini, Y., Muddarisna, N., Syam, N., dan Fiqri, A. 2017. *Fitoremediasi dan Phytomining Logam Berat Pencemar Tanah*. Malang: UB Press.
- Hardiani H. 2009. Potensi Tanaman dalam Mengakumulasi Logam Cu pada Media Tanah Terkontaminasi Limbah Padat Industri Kertas. *Berita Selulosa*. 44(1): 27-40.
- Hardyanti, N. dan Rahayu, S. S. 2007. Fitoremediasi Phospat dengan Pemanfaatan Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) (Studi Kasus pada Limbah Cair Industri Kecil Laundry). *Jurnal Presipitasi*. 2(1): 28-33.
- Harmida dan Juswardi. 2001. Aktivitas Enzim Peroksidase dan Polifenol Oksidase pada Beberapa Varietas Kedelai (*Glycine max (L) Merril*) yang Terserang Penyakit Karat. *Jurnal Penelitian Sains*. 9 : 15-24.

- Hidayati, N. 2004. Fitoremediasi dan Tumbuhan Hiperakumulator. *Hayati*. 12(1): 35-40.
- Hidayati, N. 2005. Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator. *Hayati Journal of Biosciences*. 12(1): 35-40.
- Imelda, M., Estiati, A., & Hartati, N. S. 2001. Induction of Mutation through Gamma Irradiation in three Cultivars of Banana. *J. Annalaes Bogorienses*. 7(2): 75-82.
- Irawanto, R., Damayanti, A., Tangahu, B. V., dan Purwanti, I. F. 2015. Konsentrasi Logam Berat (Pb dan Cd) pada Bagian Tumbuhan Akuatik *Coix lacryma-jobi* (Jali). *Seminar Nasional Konservasi dan Pemanfaatan Sumber Daya Alam*.
- James, J. H., Paulus., Natalie, D. C., Rumampuk., Pelle, W. E., Kawung, N. K., Kemer, K., dan Rompas, R. M. 2020. *Buku Ajar Pencemaran Laut*. Yogyakarta: CV Budi Utama.
- Jupriyati, R., Soenardjo, N., dan Suryono, C. A. 2013. Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Pengaruhnya Terhadap Histologi Akar Mangrove *Avicennia marina* (Forssk). Vierh. di Perairan Mangunharjo Semarang. *Journal of Marine Research*. 3(1): 61-68.
- Kamaruzzaman, B. Y., Ong, M. C., Jalal, K. C. A., Shahbudin, S., dan Nor, O. M. 2008. Accumulation of Lead and Copper in *Rhizophora apiculata* from Setiu Mangrove Forest, Terengganu, Malaysia. *Journal of Environmental Biology*. 30(5): 821-824.
- Karbassi, A. R., Monavari, S.M., Bidhendi, G. R., Nouri, J., dan Nematpour, K. 2008. Metal Pollution Assessment of Sediment and Water in the Shur River. *Environmental Monitoring and Assessment*. 147: 107-116.
- Lyusta, A., Agustriani, F., dan Surbakti, H. 2017. Analisis Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) pada Sedimendi Pulau Payung Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan. *Jurnal Maspari*. 9(1): 17-24.
- Malecka, A., Piechalak, A., Zielinska, B., Kutrowska, A., dan Tomaszewska, B. 2014. Response of the Pea Roots Defense Systems to the Two-Element Combinations of Metals (Cu, Zn, Cd, Pb). *Acta Biochimica Polonica*. 61(1) :23-28.
- Mardiah, E. 2011. Mekanisme Inhibisi Enzim Polifenol Oksidase pada Sari Buah Markisa dengan Sistein dan Asam Askorbat. *J.Ris. Kim.* 4(2): 32-37.
- Masriadi., Patang., dan Erdawati. Analisis Laju Distribusi Cemaran Kadmium (Cd) di Perairan Sungai Jeneberang Kabupaten Gowa. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*. 5(2): 14-25.

- Mohiuddin, K. M., Ogawa, Y., Zakir, H. M., Otomo, K., dan Shikazono, N. 2011. Heavy Metals Contamination in The Water and Sediments of an Urban River in a Developing Country. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 8: 723-736.
- Mulyadi, E., Laksmono, R., dan Aprianti D. 2009. Fungsi Mangrove Sebagai Pengendali Pencemar Logam Berat. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. 1: 33-40.
- Mulyaningsih, T. R., Alfian., dan Sutisna. 2012 Distribusi Logam Berat dalam Sedimen Daerah Aliran Sungai Ciujung Banten. *Jurnal Teknik Reaktor Nuklir*. 14(3): 157-169.
- Noor, Y. R., Khazali, M., dan Suryadiputra, I. N. N. 2012. *Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia*. PHKA/WI-IP. Bogor Cetakan 3.
- Novita, Y dan Purnomo, T. 2012. Penyerapan Logam Timbal (Pb) dan Kadar Klorofil *Elodea Canadensis* pada Limbah Cair Pabrik Pulp dan Kertas. *Lentera Bio*. 1(1): 1-8.
- Paramita, R. W., Wardhani, E., dan Pharmawati, K. 2017. Kandungan Logam Berat Kadium (Cd) Dan Kromium (Cr) di Air Permukaan dan Sedimen: Studi Kasus Waduk Saguling Jawa Barat. *Reka Lingkungan*. 2(5):1-12.
- Phabiola, T. A. dan Khalimi, K. 2012. Pengaruh Aplikasi Formula *Pantoea agglomerans* Terhadap Aktivitas Antioksidan dan Kandungan Klorofil Daun Tanaman Strowberi. *Agrotrop*. 2(2): 125-131.
- Purwiyanto A. I. S. 2013. Daya Serap Akar Mangrove Terhadap Logam Tembaga (Cu) di Tanjung Api-Api Sumatera Selatan. *Maspari journal*. 5(1) :1-5.
- Purwiyanto, A. I. S dan Agustriani, F. 2017. Assessment of Carbon Status in Marine Protected Area of Payung Island Waters, South Sumatera Province, Indonesia. *Ilmu Kelautan*. 22(1): 1-6.
- Putra, K. G. D. 2002. *Petunjuk Teknis Pemantauan Kualitas Air*. Denpasar: Undanyana University Press.
- Rachmawati., Yona, D., dan Kasitowati, R. D. 2018. Potensi Mangrove *Avicennia alba* Sebagai Agen Fitoremediasi Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) di Perairan Wonorejo, Surabaya. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan Kelautan*. 7(3): 227-236.
- Rochyatun E., Kaisupy M. T., dan Rozak A. 2006. Distribusi Logam Berat dalam Air dan Sedimen di Perairan Muara Sungai Cisadane. *Makara*. 10(1): 35-40.

- Rodtassana dan Poungparn, S. 2012. Quantitative Analysis of The Root System of *Avicennia alba* Based on The Pipe Model Theory Chadtip. *ScienceAsia*. 38: 414-418.
- Rosyada, A dan Purnomo, T. 2018. Kemampuan Tapak Dara Air (*Ludwigia adscendens*) sebagai Fitoremediator dalam Menurunkan Logam Berat Cadmium (Cd) pada Perairan yang Tercemar Lumpur Lapindo, Sidoarjo. *LenteraBio*. 7(3): 258-264.
- Rusnani, 2014. Aktivitas Polifenol Oksidase Kultur Antera Padi Setelah Praperlakuan Cekaman Manitol. *Jurnal Sains dan Matematika*. 72-77.
- Sanadi, T. H., Schaduw, J. N. W., Tilaar, S. O., Mantiri, D., Bara, R., dan Pelle, W. 2018. Analisis Logam Timbal (Pb) pada Akar Mangrove di Desa Bahowo dan Desa Talawaan Bajo Kecamatan Tongkaina. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*. 2(1): 9-18.
- Sari, K., Widya, S.S. 2017. Respon Fisiologis Tanaman Terhadap Kondisi Lingkungan yang Tercemar Logam Berat, Kalah atau Bertahan?. *Prosidding Seminar Nasional Pendidikan*. Universitas Muhammadiyah Metro
- Setiawan, H dan Subiando, E. 2015. Konsentrasi Logam Berat pada Air dan Sedimen di Perairan Pesisir Propinsi Sulawesi Selatan. *Forest Rehabilitation Journal*. 3(1): 67-79.
- 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 Patricius, S. 2015. Fitoremediasi Lahan Tercemar di Kawasan Industri Medan dengan Tumbuhan Hias. *Jurnal Pertanian Tropik*. 2(2): 178-186.
- Sudding., Side, S., dan Dewi, A. M. 2012. Analisis Kadar Timbal (Pb) pada Akar Api-Api Putih (*A. alba* Blume) di Saluran Pembuangan Jongaya Jalan Metro Tanjung Bunga Kota Makassar. *Jurnal Chemica*. 13(2): 26-32.
- Sukoasih., Widiyanto, T., Suparmin, 3. 2017. Hubungan Antara Suhu, Ph dan Berbagai Variasi Jarak dengan Kadar Timbal (Pb) pada Badan Air Sungai Rompang dan Air Sumur Gali Industri Batik Sokaraja Tengah Tahun 2016. *Buletin Keslingmas*. 36(4): 360-368.
- Surbakti H. 2012. Karakteristik Pasang Surut dan Pola Arus di Muara Sungai Musi, Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Sains*. 15(1): 35- 39.

- Susanti, R dan Fibriana, F. 2017. *Teknologi Enzim*. Yogyakarta: Andi.
- Wawakhi, S., Feni, I., dan Dwi, C. 2015. Teknologi Fitoremediasi *Avicennia alba* dalam Upaya Mengurangi Limbah di Kelurahan Wonorejo, Surabaya. *Seminar Nasional Kelautan dan Perikanan V*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Wulan, S. P., Thamrin., dan Amin, B. 2013. Konsentrasi, Distribusi dan Korelasi Logam Berat Pb, Cr dan Zn pada Air dan Sedimen di Perairan Sungai Siak Sekitar Dermaga PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang Propinsi Riau. *Jurnal Kajian Lingkungan*. 1(1): 72-92.
- Yodo S. 2006. Kondisi pencemaran logam berat di perairan Sungai DKI Jakarta. *JAI*. 2(1): 1-15.
- Yudasakti, P., Rahmadhani, T dan Nainggolan, M. 2014. *Mangroves Siak & Kepulauan Meranti*. Jakarta: Environmental & Regulatory Compliance Division Safety, Health & Environment Department Energi Mega Persada.
- Zhang, F. Q., Wang, Y. S., Lou, Z. P., dan Dong, J. D. 2007. Effect of Heavy Metal Stress on Antioxidativ Enzymes and Lipid Peroxidation in Leaves and Roots of Two Mangrove Plant Seedlings (*Kandelia candel* and *Bruguiera gymnorhiza*). *Chemosphere*. 67(1): 44-50.
- Zoz, T., Steiner, F Dan Guimaraes, V. F. 2013. Peroxidase Activity As An Indicator of Water Deficit Tolerance In Soybean Cultivars. *Biosci. J.* 29(1): 1664-1671.

