

**AKTIVITAS ENZIM ANTIOKSIDAN PADA AKAR
Eleocharis dulcis (Burm.f.) Trin. ex Henschel DALAM FITOREMEDIASI
AIR ASAM TAMBANG BATUBARA DI WETLAND PT. BUKIT ASAM,
TANJUNG ENIM, SUMATERA SELATAN**

SKRIPSI

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

Oleh :

WIKE AGUNG SAFITRI

08041281823029



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

2022

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Aktivitas Enzim Antioksidan pada Akar *Eleocharis dulcis* (Burm.f.) Trin. Ex. Henschel dalam Fitoremediasi Air Asam Tambang di Wetland PT. Bukit Asam, Tanjung Enim, Sumatera Selatan.

Nama Mahasiswa : Wike Agung SAfitri

NIM : 08041281823029

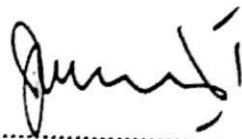
Jurusan : Biologi

Telah disetujui untuk disidangkan pada tanggal 13 Juli 2022.

Indralaya, Juni 2022

Pembimbing

1. Drs. Juswardi, M.Si
NIP. 196309241990022001


(.....)

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal Skripsi : Aktivitas Enzim Antioksidan Pada Akar *Eleocharis dulcis* (Burm.f) Trin. ex Henschel Dalam Fitoremediasi Air Asam Tambang Batubara Di Wetland PT. Bukit Asam, Tanjung Enim Sumatera Selatan

Nama Mahasiswa : Wike Agung Safitri

NIM : 08041281823029

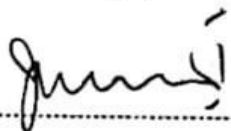
Jurusan : Biologi

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Sidang Ujian Skripsi Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 13 Juli 2022 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui dengan masukan panitia sidang ujian skripsi.

Indralaya, Juli 2022

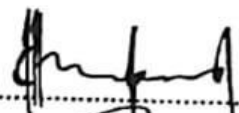
Ketua :

1. Dr. Juswardi, M. Si
NIP. 196309241990022001

(..........)

Anggota :

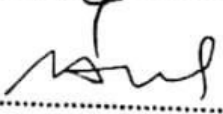
1. Dr. Sarno, M.Si
NIP. 196507151992031004

(..........)

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

(..........)

3. Prof. Dr. Hilda Zulkifli, M.Si, DEA
NIP. 195304141979032001

(..........)

Mengetahui,

Ketua Jurusan Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sriwijaya



Dr. Arum Sctiawan, M.Si
NIP. 197211221998031001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Wike Agung Safitri
NIM : 08041281823029
Fakultas/Jurusan : MIPA/Biologi

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah karya saya sendiri dan karya ilmiah ini 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 ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.



Indralaya, Juli 2022

Penulis



Wike Agung Safitri
NIM. 08041281823029

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

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Wike Agung Safitri
NIM : 08041281823029
Fakultas/Jurusan : MIPA/Biologi
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya 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 *Eleocharis dulcis* (Burm.f.) Trin. Ex. Henschel dalam Fitoremediasi Air Asam Tambang di Wetland PT. Bukit Asam, Tanjung Enim, Sumatera Selatan"

Dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih media/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, Juli 2022

Penulis



Wike Agung Safitri
NIM. 08041281823029

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan syukur, saya persembahkan skripsi ini untuk :

- ❖ Allah subhanahu wata'ala sang pemilik semesta alam serta penguat hati dan Nabi Muhammad Sholallahu 'alaihi wassallam sebagai suri tauladan setiap insan.
- ❖ Kedua orang tua tercinta dan tersayang Bapak Supardi dan Ibu Suparmi dan seluruh keluarga besarku, serta ketiga adikku Muhammad Randi Permana Ikhsan, Annisa Ahlul Maghfirah dan Ilham Firman Ramadhan Semoga Allah jadikan kalian sebagai orang beriman yang senantiasa taat, bertakwa dan memiliki visi yang besar.
- ❖ Sahabat dan teman seperjuanganku : Octaria Meisye Rahmasari, Baswara Amerta, dan Bioers'18.
- ❖ Serta Almamater kebanggaanku, Universitas Sriwijaya.

“Milikilah visi yang besar untuk hari esok.
usahakan untuk mencapai titik terbaik dalam setiap hal.
Sandingkan visi tersebut dengan meminta pertolongan kepada Allah dan
beribadah kepada-Nya”
- Nuzul Dzikri

“Ya Allah aku berlindung kepadamu dari kelemahan, rasa malas, rasa takut,
kejelekan di waktu tua, dan sifat kikir. Dan aku juga berlindung kepada-Mu dari
siksa kubur serta bencana kehidupan dan kematian”

HR. Bukhori

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah Subhanahu Wata'ala karena berkat rahmat dan karunia-Nya, sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Aktivitas Enzim Antioksidan pada Akar *Eleocharis dulcis* (Burm.f.) Trin. Ex. Henschel dalam Fitoremediasi Air Asam Tambang di Wetland PT. Bukit Asam, Tanjung Enim Sumatera Selatan” sebagai syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains di Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Terimakasih dan penghargaan kepada kedua orang tua yaitu bapak Supardi dan ibu Suparmi yang telah mendidik dengan tulus serta memberikan dukungan doa dan materi semoga Allah balas kebaikan beliau dengan surga. Terima kasih kepada Drs. Juswardi, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran, dukungan, nasihat, dan kesabarannya selama pelaksanaan penelitian serta penulisan skripsi ini. Terimakasih juga disampaikan kepada:

1. Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
 2. Dr. Arum Setiawan, M.Si. dan Dr. Sarno, M.Si. selaku Ketua Jurusan dan sekretaris jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
 3. Dra. Syafrina Lamin M.Si selaku dosen Pembimbing Akademik yang memberikan bimbingan dan arahan selama proses perkuliahan.
 4. Dr. Sarno, M.Si dan Singgih Tri Wardana S.Si, M.Si selaku dosen pembahas
 5. Prof. Dr. Hilda Zulkifli, M.Si., DEA sebagai dosen penguji
 6. Seluruh dosen dan staff karyawan Jurusan Biologi FMIPA UNSRI
- Semoga karya tulis ini dapat berguna untuk berbagai pihak khususnya penulis.

Indralaya, Juli 2022

Penulis

AKTIVITAS ENZIM ANTIOKSIDAN PADA AKAR
***Eleocharis dulcis* (Burm.f.)Trin. ex Henschel DALAM FITOREMEDIASI**
AIR ASAM TAMBANG BATUBARA DI WETLAND PT. BUKIT ASAM
TANJUNG ENIM, SUMATRA SELATAN

Wike Agung Safitri

08041281823029

RINGKASAN

Proses penambangan batubara di PT. Bukit Asam, Tanjung Enim, Sumatra Selatan menggunakan metode tambang terbuka yang dilakukan dengan peledakan dan pengupasan lapisan tanah bagian atas. Batuan yang tersingkap akan bereaksi dengan air dan oksigen akan membentuk air asam tambang (AAT) yang memiliki pH asam dan kelarutan logam berat yang tinggi. Pengolahan AAT dilakukan dengan metode aktif menggunakan bahan kimia dan metode pasif dengan fitoremediasi pada sistem *wetland*. Proses fitoremediasi AAT dapat menyebabkan cekaman pada *E. dulcis*. Respons fisiologi *E. dulcis* dalam fitoremediasi AAT berupa enzim antioksidan meliputi Peroksidase (PO), Polifenol Oksidase (PPO) dan Katalase (CAT). Sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aktivitas enzim antioksidan pada akar *E. dulcis* dalam fitoremediasi Air Asam Tambang di *wetland* PT. Bukit Asam, Tanjung Enim, Sumatera Selatan.

Metode pengambilan sampel menggunakan metode *convenience sampling*. Pengukuran kadar logam Fe, dan Mn menggunakan SSA. Ekstraksi protein menggunakan prinsip sentrifugasi dengan kecepatan 12.500g dan suhu 0°C selama 20 menit. Pengukuran kadar protein total menggunakan campuran 400 µl protein standar (Bovin Serum Albumin), 400 µl aquades dan 200 µl reagen biuret, aktivitas PO, CAT dengan substrat H₂O₂, PPO tanpa H₂O₂ diukur nilai absorbansi menggunakan spektrofotometri uv-vis. Analisis data yang digunakan berupa data kuantitatif untuk pengukuran pH, kadar logam Fe dan Mn. Data aktivitas PO, PPO dan CAT disajikan dengan analisis pemusatan data dan standar deviasi.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan aktivitas enzim antioksidan *E. dulcis* dalam fitoremediasi AAT berupa PO 178,98 U/mg protein/menit, PPO 388,96 U/mg protein/menit dan CAT 184,34 U/mg protein/menit. *E. dulcis* mampu meningkatkan pH dari 5,6 menjadi 7,7 serta menurunkan kadar Fe dari 7,88 mg/l menjadi 0,25 mg/l dan Mn 1,71 mg/l menjadi 0,75 mg/l pada AAT. Pengukuran aktivitas enzim antioksidan dapat dijadikan sebagai evaluasi peninjauan keberhasilan dari fitoremediasi AAT.

Kata kunci : Fitoremediasi, Enzim Antioksidan, *Eleocharis dulcis*, Cekaman logam berat.

ANTIOXIDANT ENZYME ACTIVITIES ON ROOTS
***Eleocharis dulcis* (Burm.f.) Trin. Ex Henschel IN PHYTOREMEDIATION**
OF ACID MINE DRAINAGE IN WETLAND PT. BUKIT ASAM,
TANJUNG ENIM, SOUTH SUMATRA

Wike Agung Safitri
08041281823029

RESUME

Coal mining process in PT. Bukit Asam, Tanjung Enim, South Sumatra using the open pit mining method which is carried out by blasting and stripping the topsoil. The exposed rock will react with water and oxygen and produce acid mine drainage (AMD) which has an acidic pH and high heavy metal solubility. The AMD treatment can use an active method using chemical material and a passive method using phytoremediation in the wetland. AMD phytoremediation process can cause stress in *E. dulcis*. The physiological response of *E. dulcis* in phytoremediation AAT is involve antioxidant enzymes including Peroxidase (PO), Polyphenol Oxidase (PPO), and Catalase (CAT). This study aims to determine the activity of antioxidant enzymes in roots of *E. dulcis* on phytoremediation of acid mine drainage in PT. Bukit Asam, Tanjung Enim, South Sumatra.

The sampling method in this study uses convenience sampling. Measurement of metal content of Fe and Mn using AAS. Protein extraction used the principle of centrifugation at a speed of 12,500g and a temperature of 0°C for 20 minutes. Measurement of total protein content using a mixture of 400µl standard protein (Bovine Serum Albumin). 400µl of distilled water and 200µl of biuret reagent, PO and CAT activities used H₂O₂ as a substrate, PPO without H₂O₂. measured absorbance value using uv-vis spectrophotometry. Analysis of the data used consist of quantitative data presented with a analysis table and standart deviations. Based on the research the result of activities anzyme antioxidant *E. dulcis* on fitoremediation of AMD is PO 178.98 U/mg protein/minute, PPO 388.96 U/mg protein/minute and CAT 184.34 U/mg protein/minute. *E. dulcis* was able to increase the pH from 5.6 to 7.7 and reduce Fe levels from 7.88 mg/l to 0,25 mg/l and Mn 1.71 mg/l to 0,75 mg/l in AMD. Measurement of antioxidant enzyme activity can be used as an evaluation of the review of the success of AMD phytoremediation.

Keyword : Phytoremediation, Antioxidant Enzyme, *Eleocharis dulcis*, Heavy Metals Stress.

DAFTAR ISI

COVER	
LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN SEMINAR HASIL	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
RESUME	vii
RINGKASAN	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan	4
1.4. Manfaat	5

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Air Asam Tambang	6
2.1.1. Mekanisme Terbentuknya Air Asam Tambang	7
2.1.2. Logam Berat	8
2.1.3. Dampak Air Asam Tambang.....	10
2.2. Fitoremediasi.....	10
2.2.1. Mekanisme Fitoremediasi	11
2.2.2. Tumbuhan Berpotensi Fitoremediasi	14
2.3. <i>Eleocharis dulcis</i>	14
2.4. Enzim Antioksidan.....	16
2.4.1. Peroksidase (PO)	16
2.4.2. Polifenol Oksidase (PPO).....	17
2.4.3. Katalase (CAT)	18

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat	19
3.2. Alat dan Bahan	20
3.3. Cara Kerja	20
3.3.1. Pengambilan Sampel.....	20
3.3.1.1. Pengambilan Sampel Air Asam Tambang	20
3.3.1.2. Pengambilan Sampel <i>Eleocharis dulcis</i>	20
3.3.2. Parameter Pengamatan	21
3.3.2.1. Pengukuran pH pada Air Asam Tambang.....	21

3.3.2.2. Pengukuran Kadar Fe pada Air Asam Tambang	21
3.3.2.3. Pengukuran Kadar Mn pada Air Asam Tambang	22
3.3.3. Ekstraksi Protein	23
3.3.4. Penentuan Kadar Protein Total	23
3.3.5. Pengukuran Aktivitas Peroksidase (PO)	24
3.3.6. Pengukuran Aktivitas Polifenol Oksidase (PPO)	24
3.3.7. Pengukuran Aktivitas Katalase (CAT)	25
3.4. Analisis Data	25
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Aktivitas Enzim Antioksidan	26
4.1.1 Aktivitas Polifenol Oksidase.....	32
4.1.2 Aktivitas Peroksidase.....	33
4.1.3 Aktivitas Catalase	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	37
5.2. Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Baku Mutu Limbah Cair Kegiatan Pertambangan Batubara Berdasarkan PERGUB No. 8 Tahun 2012	7
Tabel 2.2. Kadar Logam Berat Terlarut pada Air Asam Tambang dari Lokasi yang Berbeda.....	9
Tabel 4.1. Aktivitas Enzim Antioksidan pada Akar <i>E. dulcis</i> dalam Fitoremediasi Air Asam Tambang.....	26
Tabel 4.2. Kondisi Air Asam Tambang <i>Inlet</i> , <i>Wetland</i> dan <i>Outlet</i> di PT. Bukit Asam, Tanjung Enim dengan vegetasi <i>E.dulcis</i>	27

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Morfologi <i>E. dulcis</i>	15
--	----

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian.....	47
Lampiran 2. Data Pengukuran Kadar Logam Berat pada AAT.....	48
Lampiran 3. Pembuatan Larutan Buffer	49
Lampiran 4. Penentuan Kadar Protein Total.....	50

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perusahaan pertambangan di dunia sebagian besar menggunakan metode tambang terbuka yang disebut dengan *open pit mining* atau *open cut mining*. Menurut Fadli *et al.*, (2015), metode *open cut mining* dilakukan dengan cara menggali bahan deposit baik batubara, mineral, ataupun bahan fosil yang terdapat pada batuan. Batuan yang terdapat unsur sulfur akan teroksidasi dan bereaksi dengan air sehingga akan membentuk air asam tambang (AAT).

AAT dapat dengan mudah ditemukan di daerah pertambangan. Perusahaan tambang pada umumnya memiliki cara tersendiri dalam menangani permasalahan lingkungan dengan melihat karakteristik AAT. Menurut Ojinimi *et al.*, (2020), terdapat perbedaan pH pada lokasi pengolahan AAT berupa *inlet*, *outlet* dan *wetland*. pH AAT berkisar antara 1,2 – 4. pH yang rendah mengakibatkan logam berat tertentu dapat larut seperti aluminium, mangan, kadmium, besi, timah, seng, arsenik dan merkuri, tingkat turbiditas atau kekeruhan yang tinggi dan total padatan yang dapat disuspensi rendah (Nasir *et al.*, 2014).

Logam berat yang terkandung pada AAT jika dibuang sembarangan di perairan maka dapat membahayakan lingkungan. Menurut Irawan *et al.*, (2016), penurunan kualitas air yang ditimbulkan oleh AAT dapat mengakibatkan gangguan pada biota yang hidup di perairan maupun yang ada di darat. Menurut

Taberima *et al.*, (2019), komponen pada AAT dapat mencemari lingkungan perairan dan mencemari air tanah karena bersifat larut dalam air.

Pencemaran akibat AAT dapat diatasi salah satunya dengan cara fitoremediasi. Tujuan utama dari teknik fitoremediasi adalah untuk memperkecil dan detoksifikasi polutan dengan menggunakan tumbuhan yang berpotensi untuk meminimalisir polutan baik berupa logam berat dan mineral tinggi yang terkandung di suatu lahan atau perairan (Priyanti dan Ety, 2013). Fitoremediasi dapat dilakukan secara *ex-situ* menggunakan kolam buatan atau reaktor dan secara *in-situ* pada tanah atau daerah yang terkontaminasi limbah (Hardyanti dan Rahayu, 2007).

Tumbuhan yang digunakan dalam fitoremediasi AAT yaitu eceng gondok (*Eichhornia crassipes* Martius), ekor kucing (*Typha angustifolia* L.), purun tikus (*Eleocharis dulcis* (Burm.f.) Trin. ex Henschel) dan beberapa tumbuhan akuatik lain. Kemampuan adaptasi purun tikus di daerah asam yang tinggi tergolong baik karena mampu memfiltrasi Fe dan Mn yang terkandung di lingkungan (Sulthoni *et al.*, 2014).

Purun tikus tahan terhadap daerah atau lingkungan yang memiliki tingkat kemasaman tinggi yaitu pH 2,5 – 3,5. Sehingga purun tikus dapat dikategorikan bersifat spesifik lahan sulfat masam (Wianto *et al.*, 2011). Menurut Wulan *et al.*, (2020), purun tikus yang ditanam pada daerah bekas tambang bauksit mampu menaikkan pH air menjadi lebih tinggi karena kemampuan purun tikus yang mampu menyerap besi atau logam berat di akar sehingga mengakibatkan sedimen

bauksit di perairan menjadi berkurang dan menaikkan pH air yang awalnya cenderung asam.

Purun tikus melakukan mekanisme fisiologi sebagai bentuk respon fisiologi dalam fitoremediasi AAT. Kondisi AAT yang memiliki pH rendah dan kandungan logam berat yang terlarut mengakibatkan tumbuhan mengalami stres atau cekaman. Organ utama pada tumbuhan yang bersentuhan langsung dengan ion logam yang beracun adalah akar (Muradoglu *et al.*, 2015).

Ion – ion logam dapat mengakibatkan tumbuhan mengalami stres dan memicu terbentuknya hidrogen peroksida yang berlebihan. Tumbuhan akan melakukan serangkaian proses untuk mempertahankan dirinya jika berada dalam cekaman. Menurut Hasanuzzaman *et al.*, (2020), sistem yang digunakan tanaman untuk pertahanan diri dapat berupa pertahanan secara enzimatik yaitu enzim antioksidan dan non-enzimatik berupa asam amino. Enzimatik dan non-enzimatik bertugas melindungi sel tanaman dari kerusakan oksidatif dengan cara mengatur kaskade oksidasi. Aktivitas enzimatik pada tumbuhan dapat berubah dengan adanya stres logam yang mengakibatkan tumbuhan akan memproduksi enzim antioksidan lebih banyak dibandingkan dalam kondisi normal (Hidayati, 2013).

Peroksidase, polifenol oksidase dan katalase merupakan enzim antioksidan yaitu enzim yang dapat mengkatalisis reaksi antara substrat dengan molekul oksigen. Sifat enzim disebut dengan sifat spesifik (spesifitas enzim) yaitu kemampuan suatu enzim untuk membedakan substratnya berdasarkan perbedaan afinitas (K_m) substrat-substratnya untuk dapat mengaktifkan enzim. Substrat dari enzim peroksidase adalah hidrogen peroksida (Gardjito, 2014).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Chinmayee *et al.*, (2014), terdapat peningkatan aktivitas katalase, polifenol oksidase, dan peroksidase pada *Jatropha curcas* L. yang mengalami cekaman logam berat cadmium dan timbal masing masing 9,1 U/g (CAT), 1,5 U/g (PO), dan 2,4 U/g (PPO). Didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Ariyani *et al.*, (2014) bahwa purun tikus memiliki kemampuan menyerap logam berat Fe berkisar 26,92 mg/g sampel – 91,76 mg/g dan Mn berkisar antara 0,0596 mg/g – 0,2364 mg/g.

1.2. Rumusan Masalah

Air asam tambang dampak limbah pertambangan cenderung memiliki pH rendah dan logam berat yang terlarut yang tinggi. Salah satu metode pengendalian AAT dilakukan dengan fitoremediasi menggunakan purun tikus. Purun tikus dalam melakukan fitoremediasi memberikan respons fisiologi akibat dari cekaman logam berat dan pH yang rendah. Respons fisiologi tersebut dapat dilihat dari aktivitas enzim antioksidan terutama PO, PPO dan CAT. Sehingga diperlukannya penelitian lebih lanjut mengenai aktivitas enzim PO, PPO, dan CAT sebagai respons adaptasi fisiologi pada *Eleocharis dulcis* dalam fitoremediasi AAT.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aktivitas enzim PO, PPO, dan CAT sebagai respons adaptasi fisiologi pada (*Eleocharis dulcis*) dalam fitoremediasi limbah Air Asam Tambang pada kondisi *wetland* PT. Bukit Asam.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi mengenai aktivitas enzim PO, PPO, dan CAT sebagai respons adaptasi fisiologi pada (*Eleocharis dulcis*) dalam fitoremediasi Air Asam Tambang pada kondisi *wetland* PT. Bukit Asam sebagai salah satu upaya dalam evaluasi peninjauan keberhasilan fitoremediasi AAT.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvarenga, P., Nadia, G., Isabel, S., Maria, J., and Patricia, P. 2021. Assessment of The Environmental Impact of Acis Mine Drainage on Surface Water, Stream Sediments, and Macrophytes Using a Battery of Chemical and Exotoxicological Indicators. *Journal Water MDPI*.
- Akhtar, M., Yoko, Oki., Bich, B., and Nakashima, Y. 2019. Estimation of Phytofiltration Potential for Cu and Zn Relative Growth Response of *Azolla japonica* and *Azolla pinnata*. *Journal of Agircultural Science and Technology*. 21 (4) : 895 – 909.
- Ali, H., Khan, E., and Sajad, M. A. 2013. Phytoremediation of heavy metals— Concepts and applications. *Chemosphere*. 91 : 869–881.
- Ariyani, D., Ramlah, S., Umi, B., Nirtha., dan Indah, Rd. 2014. Kajian Absorbansi Logam Fe dan Mn Oleh Tanaman Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) pada Air Asam Tambang Secara Fitoremediasi. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*. 8 (2) : 87 – 93.
- Atteridge, A., May, A., dan Agus, N. 2018. Contemporary Coal Dynamics in Indonesia. *Stockholm Environment Institute Paper*. 1 (4) : 1 – 30.
- Aydemir, T. 2004. Partial purification and characterization of polyphenol oxidase from artichoke (*Cynara scolymus* L.) heads. *Food Chem*. 87: 59–67.
- Ayora, C., Marcias, F., Torres, E., Alba, L., Sergio, C., Jose-miguel, N., Rafael, P., Alejandro, F., and Hiram, C. 2016. Recovery of Rare Earth Elements and Yttrium from Passive-remediation System of Acid Mine Drainage. *Environment Science Technology*. 50 : 8255 – 8262.
- Barbosa, B., and Ana, F. 2018. Aided Phytostabilization of Mine Waste. *Journal Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation*. 1 (9) : 147 – 157.
- Boeckx, T., Ana, W., K, Judith., and Alison, H. 2015. Polyphenol oxidase in leaves: is there any significance to the chloroplastic localization. *Journal of Experimental Botany*. 12 (66) : 3571 – 3579.
- Burken, J., and Limmer, M. 2021. Phytovolatilization of Organic Contaminants. *Environmental Science and Technology*. 50 : 6632 – 6643.
- Chamba, I., Daniel, R., Carolina, K., and Selvaraj, T. 2017. Erato polymnioides – A Novel Hg Hyperaccumulator Plant in Ecuadorian Rainforest Acid Soil

With Potential of Microbe-associated Phytoremediation. *Elsevier Chemosphere*. 10 : 1 – 21.

Chaundary, R., Santosh, R., and Mukesh, K. 2012. Organization Climate, Climate Strenght and Work Engagement. *Social and Behavioral Science*. 133 : 291 – 303.

Chinmayee, D., Anu, M., Mahesh, B., A, Marysheeba., I, Mini., and Swapna, Ts. 2014. A comparative study of heavy metal accumulation and antioxidant responses in *Jatropha curcas* L. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*. 8 (7) : 58 – 67.

Csiszar, J., Agnes, G., Edit, H., Piroska, D., Magdolna, G., Zsolt, V., Laszlo, E., Janos, G., and Irma, T. 2012. Different Peroxidase Activities and Expression of Abiotik Stress-relates Peroxidases in Apical Root Segments of Wheat Genotypes with Different Drought Stress Toleranse Under Osmotic Stress. *Plant Physiology and Biochemistry*. 52 : 119 – 129.

Cuypers, A., Hendrix, S., Amaral dos Reis, R., De Smet, S., Deckers, J., Gielen, H., Jozefczak, M., Loix, C., Vercampt, H., Vangronsveld, J., and Keunen, E. 2016. Hydrogen peroxide, signaling in disguise during metal phytotoxicity. *Frontiers in Plant Science*. 7: 470.

Demim, S., Drouiche, N., Aouabed, A., T, Benayad., Michael, C., dan Semsari, S. 2014. Study of Heavy Metal Removal from Heavy Metal Mixture Using The CCD Method. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 20 (2) : 512 – 520.

Dewi, I., Putu, S., Iryanti, E., dan Wahyu, D. 2016. Penurunan Bod, Cod, dan Zat Warna Limbah Pencelupan dengan Fitoekstraksi Menggunakan Kiambang (*Salvinia natans*). *Jurnal Bumi Lestari*. 16 (1) : 11 – 15.

Ding, Y., Lihong, D., Yiji, X., Feijuan, W., and Cheng, Zhu. 2020. Emerging Roles Of MicroRNAs in Plant Heavy Metal Tolerance and Homeostatis. *Journal of Agricultur and Food Chemistry*. 11 – 12.

Effendi, M., Priyo, C., dan Budi, P. 2015. Pengaruh Toksisitas Besi Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Biomassa pada Tiga Klon Tanaman Nanas. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 2 (2) : 179 – 189.

Etikan, I., Sulaiman, A., dan Rukayya, A. 2016. Comparison of Convenience Sampling and Purposive Sampling. *Journal of Theorotical and Applied Statistic*. 5 (1) : 1 – 4.

- Fadli., Sri, W., dan Agus, A. 2015. Desain PIT Penambangan Batubara Blok C Pada PT. Intibuana Indah Selaras Kabupaten Nunukan Provinsi Kalimantan Utara. *Jurnal Geomine*. 1 (1) : 55 – 62.
- Faisal, M., Quaiser, S., and Abdulrahman, A. 2020. Cellular and Molecular Phytotoxicity of Heavy Metals. *Journal Springer* : Switzerland.
- Farid, M., Ali, S., Rizwan, M., Rashid, S., Hafiz, M., Raisham, S., Ahmed, S., and Nighat, R. 2017. Microwave Irradiation and Citric Acid Assisted Seed Germination and Phytoextraction of Nickel (Ni) by *Brassica napus* L.: Morpho-Physiological and Biochemical Alterations under Ni Stress. *Journal Environment Science Pollution*. 24 : 21050–21064.
- Ferdhiani, A., Sri, L., dan Elly, P. 2015. Aktivitas Enzim Peroksidase dan Kadar Klorofil pada Daun Angsana (*Pterocarpus indicus*) Sebagai Peneduh Jalan yang Terpapar Timbal. 32 (2) : 126 – 133.
- Gardjito, M. 2014. Etilen Luka Aktivitas Enzim Peroksidase, Polifenol Oksidase, dan Fenil Alanin Liasepada Irisan Mesokarp Labu Kuning. *Jurnal Agritech*. 9 (4) : 68 – 72.
- Gill, M. 2014. Heavy Metal Stress in Plant : A Review. *International Journal of Advanced Research*. 2 (6) : 1043 – 1055.
- Gutierrez-Martinez, P., Martha, I., Maria, C., Josefina, C., Patricia, Z., Elena, S., and Blanca, C. 2020. Assessment of Antioxidant Enzymes in Leaves and Roots of *Phaseolus vulgaris* Plant Under Cadmium Stress. *Journal Biotecnia*. 2 (22) : 110 – 118.
- Hardyanti, N., S. Rahayu. 2007. Fitoremediasi Fospat dengan Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) (Studi Kasus Pada Limbah Cair Industri Kecil Laundry). *Jurnal Presipitasi*. 2 (1) : 28 – 33.
- Hasanuzzaman, M., Borhanuddin, B., Khursheda, P., Tasmin. F., Taufik, Islam., Kamrun, N., Shahadat, H., Faisal, Z., Mahabub, A., and Masayuki, F. 2020. Regulation of ROS Metabolism in Plant Under Environmental Stress : A Review of Recent Experimental Evidence. *International Journal of Molecular Science*. 21 : 1 – 42.
- Herniwanti, J., Priatmadi, B., Yanuwiadi., dan Soemarno. 2014. Penanganan Air Asam Tambang Dengan Cara Fitoremediasi Tanaman (Pasif). *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*. 4(3): 167– 76.
- Hidayati. 2013. *Mekanisme Fisiologis Tumbuhan Hiperakumulator Logam Berat*. Bogor : Pusat Penelitian Biologi LIPI.

- Ila, B., Rita, M. 2012. Evaluation of Peroxidases From Various Plant Source. *International Journal of Scientific and Research Publication*. 2 (5) : 1 – 6.
- Irawan, S., Indiannor, M., Fakhur, R., dan Susilawati. 2016. Kajian Penanggulangan Air Asam Tambang pada Salah Satu Perusahaan Pemegang Ijin Usaha Pertambangan di Desa Lemo, Kabupaten Barito Utara, Kalimantan Tengah. *Environmental Science Journal*. 12 (1) : 50 – 59.
- Irawanto, R., Alia, D., Bieby, V., dan Ipung, F. 2015. Konsentrasi Logam Berat (Pb dan Cd) pada Bagian Tumbuhan Akuatik *Coix lacryma-jobi* (Jali). *Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana XIV – ITS Surabaya*.
- Jibril, N. 2018. Studi Aktivitas Enzim Polifenol Oksidase (PPO) dari Buah Langsung (*Lansium parasiticum*). *Skripsi*. Makassar. Universitas Hasanuddin.
- Kaur, R., Surbhi, S., and Navjot, K. 2019. Heavy Metals Toxicity and The Environment. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 14 (3) : 247 – 249.
- Kiswanto., Wintah., dan Nur, L. 2020. Analisis Logam Berat (Mn, Fe, Cd), Sianida dan Nitrat pada Air Asam Tambang Batubara. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan*. 1 (18) : 20 – 26.
- Komariah., Santoso, K., dan Siahaan, C. 2019. Karakteristik Reproduksi dan Perbedaan Respon Fisiologis Kerbau di Lahan Basah dan Lahan Kering di Kabupaten Serang Banten. *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan*. 7 : 67–74.
- Kurnia, K., Shafa, W., Shipa, P., dan Erlangga, M. 2021. Isolasi Senyaa Turunan Kuinon dari Tanaman. *Jurnal Syntax Idea*. 3 (6) : 1 – 7.
- Kuswanto, F. 2020. Conservation, Phytoremediation Potential and Invasiveness Status of Bali Botanic Garde Aquatic Plant Collection. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*. 5 (1) : 16 – 26.
- Kuter, N. 2013. *Reclamation od Degraded Lanscapes due to Opencast Mining Chapter 33*. Turkey : Cankiri Karatekin University.
- Lee, M., Kim, Y., and Kim, J. 2019. Characteristics of Removal and Precipitation of Heavy Metals with pH change of Artificial Acid Mine Drainage. *International Environmental Journal*. 52 (6) : 1 – 14.

- Lestari, E. 2020. *Aktivitas Enzim Antioksidan pada Akar Typha angustifolia L. dalam Fitoremediasi Air Asam Tambang Batubara di Wetland PIT 3 Banko Barat*. Skripsi Jurusan Biologi FMIPA. Universitas Sriwijaya : Indralaya.
- Li, C., Cai-xia, Y., Yu, L., and Zhang, T. 2015. Phytotoxicity of Cadmium on Peroxidation, Superoxide Dismutase, Catalase, and Peroxidase Activities in Growing Peanut (*Arachis hypogaeae* L.). *African Journal Biotechnology*. 14 (13) : 1151 – 1157.
- Li, Z., Tu, C., Wu, H., Willie, J., Stephen E., and Yong, M. 2017. Pathways of root uptake and membrane transport of Cd(2+) in the zinc/cadmium hyperaccumulating plant *Sedum plumbizincicola*. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 36 : 1038–1046.
- Lin, H., Ya-li, P., Jun, C., and Liang, L. 2015. Effect of Heavy Metal Stress on Antioxidase Enzyme. *International Conference on Manufacturing Science and Engineering*. 2 (4) : 871 – 876.
- Mardalena, M., M. Faizal., and Napoleon, A. 2018. The Absorption of Iron (Fe) and Manganese (Mn) from Coal Mining Wastewater with Phytoremediation Technique Using Floating Fern (*Salvinia natans*), Water Lettuce (*Pistia stratiotes*) and Water Hyacinth (*Eichornia crassipes*). *Biological Research Journal*. 2 (4) : 1–7.
- Mayer, A. 2006. Polyphenol oxidases in plants and fungi: going places? A review. *Journal Phytochemistry*. 67 : 2318–2331.
- Mining Sector Diagnostic. 2018. *Report on Indonesia Mining Sector Diagnostic*. Indonesian Mining Institute.
- Mohanty, K., Lingaswamy, M., Rao, G., and Sankaran, S. 2018. Impact of Acid Mine Drainage and Hydrogeochemical Studies in a Part of Rajrappa Coal Mining Area of Ramgarh District, Jharkhand State of India. *Groundwater for Sustainable Development*. 7 (1) : 164 – 175.
- Munawar, A. 2017. *Pengelolaan Air Asam Tambang : Prinsip – Prinsip dan Penerapannya*. Bengkulu : Unib Press.
- Murodaglu, F., Muttalip, G., Sezai, E., Tarik, E., Fikri, B., Hawa, Z., and Muhammad, Z. 2015. Cadmium Toxicity Affects Chlorophyll a and b Content, Antioxidant Enzyme Activities and Mineral Nutrient Accumulation In Strawberry. *Biological Research*. 48 (11) : 1 – 7.

- Mutrikah., Hari, S., and Syauqi, A. 2018. Profil Bioaktif pada Tanaman Temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb) dan Beluntas (*Pluchea indica* Less). *Biosaintropis (Bioscience-Tropic)*. 4 (1) :15 – 21.
- Nasir, S., Marlis, P., dan Otto, S. 2014. Pengelolaan Air Asam Tambang dengan Menggunakan Membran Keramik Berbahan Tanah Liat, Tepung Jagung dan Serbuk Besi. *Jurnal Teknik Kimia*. 3 (20) : 22 – 30.
- Nguegang, B., Vhahangwele, M., Titus, A., and Memory, T. 2021. The Treatment of Acid Mine Drainage Using Vertically Flowing Wetland : Insight Into The Fate of Chemical Species. *MDPI Journal Minerals*. 11 (47) : 1 – 24.
- Nieto, J., Sarmiento, A., Canovas, C., Manuel, O., and Carlos, A. 2013. Acid Mine Drainage in The Iberian Pyrite Belt Hydrochemical Characteristics and Pollutant Load of The Tianto and Odiel Rivers. *Environmental Science Pollutant Journal*. 20 : 7509 – 7519.
- Ojinimi, T., Okeme I.C., Phiri-Chanda. T., dan Enejo, G . 2021. Acid Mine Drainage (AMD) Contamination in Coal Mine and The Need for Extensive Prediction And Remediation : A Review. *Nigerian Journal of Technology*. 9 (1) : 3129 – 3136.
- Pandey, V., Manika, A., Swaty, S., Sameeksha, T., and Upendra, N. 2017. A Comprehensive Review on Function and Application of Plant Peroxidases. *Journal Biochemistry Analysis*. 6 : 308.
- Pawlik, M., Tomasz, P., Sofie, T., Isabel, P., Jaco, V., and Zofia, P. 2020. Comparison of Two Inoculation Method of Endophytic Bacteria to Enhance Phytodegradation Efficacy of an Aged Petroleum Hydrocarbons Pollutan soil. *Journal Agronomy*. 10 : 1 – 16.
- Priyanti., E. 2013. Uji Kemampuan Daya Serap Pertumbuhan Genjer (*Lymnocharis flava*) Terhadap Logam Berat Besi (Fe) dan Mangan (Mn). *Prosiding Seminar FMIPA Universitas Lampung*. Seminar 2013 FMIPA Unila.
- Putra, G., dan Wartini., Dewi. 2010. Karakteristik Enzim Polifenol Oksidase Biji Kakao (*Theobroma cacao* Linn.). *Jurnal Agritechnology*. 30 (3) : 152 – 157.
- Rahmatia, C., Hilwan, I., dan Irdika, M. 2019. Identifikasi Jenis Tumbuhan Potensial Sebagai Agen Fitoremediasi di Hutan Rawa Buatan Air Asam Tambang. *Jurnal Kehutanan*. 3 (9) : 1 – 10.
- Resti, Z., Trimurti, H., Deddi, dan P., Nasrun. 2016. Aktivitas Enzim Peroksidase Bawang Merah yang Diintroduksi dengan Bakteri Endofit dan Tahan

- Terhadap Penyakit Hawar Daun Bakteri (*Xanthomonas axonopodis* PV.ALLII). *Jurnal Hama dan Proteksi Tanaman*. 16 (2) : 131 – 137.
- Ryu, S., Naidu, G., Hasan, J., Youngkwon, C., Sanghyun, J., and Saravanamuthu, V. 2019. Acid mine drainage treatment by integrated submerged membrane distillation–sorption system. *Chemosphere*. 218 : 955 – 965.
- Saadani, O., Imen, C., Manel, C., Souhir, A., Fathi, B., Jebara, M., and Salwa, J. 2016. In situ phytostabilisation capacity of three legumes and their associated Plant Growth Promoting Bacteria (PGPBs) in mine tailings of northern Tunisia. *Journal Ecotoxicology and Environmental Safety*. 130 : 263 – 269.
- Said, N. 2014. Teknologi Pengolahan Air Asam Tambang Batubara “ Alternatif Pemulihan Teknologi ”. *JAI*. 7 (2) : 119 – 138.
- Schützendübel, A., and Polle, A. 2002. Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *Journal of Experimental Botany*. 53 (372) : 1351 – 65.
- Setiawan, A., dan Nunik, S. 2020. Botani Ekonomi Tekay (*Eleocharis dulcis*) Asal Pulau Madura. *Jurnal Etnobotani Tropis*. 5 (1) : 1 – 7.
- Sharma, A. 2012. Spectral characterization and quality assessment of organic compost for agricultural purposes. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.* 8 : 197–213.
- Sinaga, F. 2016. Stress Oksidatif dan Status Antioksidan pada Aktivitas Fisik Maksimal. *Jurnal Generasi Kampus*. 9 (2) : 176 – 190.
- Sulthoni, M., Badruzzaufari, H., Yusran., and Eny, D. 2014. Kemampuan Tanaman Ekor Kucing (*Typha latifolia*) Dan Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) dalam Penurunan Konsentrasi Fe dan Mn dari Air Limbah PIT Barat PT. Pamapersada Nusantara Distrik Kemb Kabupaten Banjar. *Enviroscientae*. 10 (1) : 80 – 87.
- Sunil, B., Saini, D., Bapatla, R.B., Vetcha, A., and Agepati, S. 2019. Photorespiration Is Complemented by Cyclic Electron Flow and the Alternative Oxidase Pathway to Optimize Photosynthesis and Protect against Abiotic Stress. *Research Photosynthesis*. 139 : 67–79.
- Susilawati, A., dan Linda, I. 2016. Teknologi Penurunan Kadar Fe Air Sawah Pasang Surut Melalui Penggunaan Biofilter Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*). *Jurnal Ilmu Hayati*. 1 (15) : 1 – 6.

- Syahputra. 2005. Fitoremediasi Logam Cu dan Zn dengan Tanaman Eceng Gondok. *Jurnal Logika*. 2 (2) : 57 – 69.
- Taranto, F., Antonella, P., Giacomo, M., Pasquale, T., Monica, M., Stefano, P., and Cinzia, M. 2016. Polyphenol Oxidase in Crops : Biochemical, Physiological and Genetic Aspects. *Internation Journal of Molecular Science*. 18(337) : 1 – 16.
- Trisnawati, N., Ida, B., dan Iryanti, E. 2016. Fitodegradasi dengan Tanaman Pancing (*Speciosus cheilocostus*) untuk Menurunkan Kandungan Pb, Cd dan Hg Limbah Cair Laboratorium. *Indonesian E-Journal of Applied Chemistry*. 1 (4) : 77 – 83.
- Vieira, B., Pameló, T., Giselle, P., Renata, P., Dirk, V., and Bernhard, K. 2014. Biological Treatment of Acid Mine Drainage in Batch Reaktor : Evaluation of Initial pH and Metal Precipitation. *Conference Paper*. 1 – 10.
- Vital, B., Bartacek, J., Ortega-Bravo J., and David, J. 2018. Treatment of acid mine drainage by forward osmosis: heavy metal rejection and reverse flux of draw solution constituents. *Chemistry English Journal*. 332:85–91
- Wahyuni, Sri. 2017. *Biokimia Enzim dan Karbohidrat*. Sulawesi : Unimal Press.
- Wang, L., Ji, B., Hu, Y., Runqing, L., and Wei, S. 2017. A Review on in Situ Phytoremediation of Mine Tailings. *Journal Elsevier Chemosphere*. 6 (25) : 1 – 23.
- Wen, J., Hua, S., Chen, H., Liu, Y., Jiang, L., Hua, Q., and Yan, Z. 2018. Allelochemical on *Microcytis aeruginosa*. *Journal Chemical Engineering and Proses Technology*. 9 (2) : 2 – 6.
- Wianto, T., Ishaq., Akhmad, F., dan Abdullah, H. 2011. Rekayasa Tumbuhan Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) Sebagai Substitusi Bahan Matrik Komposit Pada Pembuatan Papan Partikel. *Jurnal Fisika FLUX*. 8 (2) : 154 – 164.
- Wijaya, A. 2010. Sistem Pengolahan Air Asam Tambang pada Water Pond dan Aplikasi Model Encapsulation In-Pit Disposal Pada Waste Dump Tambang Batubara. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 1 (17) : 1 – 10.
- Wulan, N., Tri, A., dan Winny, R. 2020. Studi Fitoremediasi Serapan Besi (Fe) dari Kolam Bekas Tambang Bauksit Menggunakan Purun (*Eleocharis sp.*). *LIMNOTEK Perairan Darat Tropis di Indonesia*. 22(7) : 67 – 78.

- Yang, T., and Poovalah. B. W. 2000. Hydrogen peroxide homeostasis: Activation of plant catalase by calcium calmodulin. *Biochemistry Biophysical Research Community*. 275 : 601–607.
- Yuan, M., Cungfang, L., Xuejun, Q., and Duanning, C. 2021. Mechanism of Acid Mine Drainage Remediation With Steel Slag : A Review. *Journal American Chemical Society*. 6 (1) : 30205 – 30213.
- Yunus, R., dan Nopi, S. 2018. Fitoremediasi Fe dan Mn Air Asam Tambang Batubara dengan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) dan Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) pada Sistem LBB di PT. JBG Kalimantan Selatan. *Jurnal Sainsmat*. 1 (7) : 73 – 85.
- Zengin, F., and Munzuroglu, O. 2006. Toxic Effect of Cadmium (Cd) on Metabolism of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Seedlings. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*. 56(3) : 224-229.
- Zgorelec, Z., Nikola, B., Kristina, K. Marija, G., and Silva, Z. 2020. Cadmium and Mercury Phytostabilization From Soil Using *Michanthus X giganthus*. *Scientific Reports*. 10 : 1 – 10.
- Ziyan E, dan Pekyardimic S. 2003. Characterization of Polyphenol Oxidase from *Helianthus tuberosus*. *Turk. J Chem*. 27: 217-225.