

SKRIPSI

AKTIVITAS ENZIM ANTIOKSIDAN PADA AKAR *Typha angustifolia* L. DALAM FITOREMEDIASI AIR ASAM TAMBANG BATUBARA DI WETLAND PIT 3 BANKO BARAT

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains
di Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sriwijaya



Oleh :

**EVI LESTARI
08041381621063**

**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

**AKTIVITAS ENZIM ANTIOKSIDAN
PADA AKAR *Typha angustifolia* L. DALAM FITOREMEDIASI
AIR ASAM TAMBANG BATUBARA DI WETLAND PIT 3
BANKO BARAT**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains
di Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sriwijaya

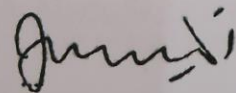
OLEH :

EVI LESTARI
08041381621063

Indralaya, Juni 2020

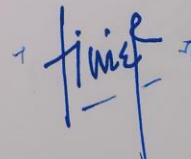
Mengetahui,

Dosen Pembimbing I



Drs. Juswardi, M.Si.
NIP. 196309241990021001

Dosen Pembimbing II



Dra. Sri Pertiwi Estuningsih, M.Si.
NIP.196407111989032001



Dr. Arum Setiawan, S.Si., M.Si.
NIP.197211221998031001

HALAMAN PERSETUJUAN

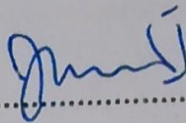
Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul "Aktivitas Enzim Antioksidan pada Akar *Typha angustifolia* L. dalam Fitoremediasi Air Asam Tambang Batubara di *Wetland* PIT 3 Banko Barat" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 10 Juni 2020

Indralaya, Juni 2020

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi:

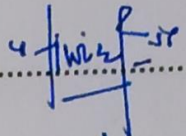
Ketua:

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

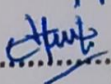

(.....


Anggota:

2. Dra. Sri Pertiwi Estuningsih, M.Si
NIP.196407111989032001

(.....


3. Dra. Harmida, M.Si
NIP.196704171994012001

(.....



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

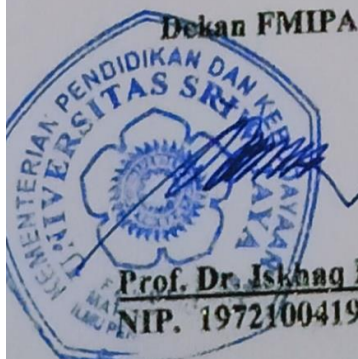
(.....

5. Marieska Verawaty, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP.197503222000032001

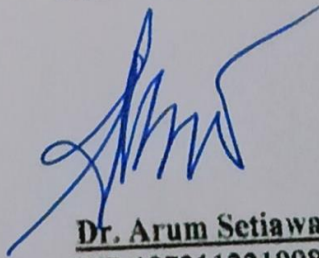
(.....


Mengetahui,

Ketua Jurusan Biologi



Prof. Dr. Iskhag Iskandar, M.Sc.
NIP. 197210041997021001


Dr. Arum Setiawan, M.Si.,
NIP.197211221998031001

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Evi Lestari

NIM : 08041381621063

Judul : Aktivitas Enzim Antioksidan pada Akar *Typha angustifolia* L. dalam Fitoremediasi Air Asam Tambang Batubara di *Wetland* PIT 3 Banko Barat

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

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



Indralaya, Juni 2020

Evi Lestari

080411381621063

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Evi Lestari

NIM : 08041381621063

Judul : Aktivitas Enzim Antioksidan pada Akar *Typha angustifolia* L. dalam Fitoremediasi Air Asam Tambang Batubara di *Wetland* PIT 3 Banko Barat

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

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

Indralaya, Juni 2020



Evi Lestari
080411381621063

RINGKASAN

AKTIVITAS ENZIM ANTIOKSIDAN PADA AKAR *Typha angustifolia* L. DALAM FITOREMEDIASI AIR ASAM TAMBANG BATUBARA DI WETLAND PIT 3 BANKO BARAT

Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi, Mei 2020

Evi Lestari (08041381621063)

Dibimbing oleh Drs. Juswardi. M.Si dan Dra. Sri Pertiwi Estuningsih. M.Si

Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya

xiv+ 44 halaman, 1 gambar, 2 tabel, 3 lampiran

RINGKASAN

Pertambangan batubara di Sumatera Selatan umumnya menggunakan metode tambang terbuka yang mengakibatkan terdedahnya batuan dari kegiatan penambangan dan menghasilkan limbah air asam tambang (AAT). AAT terbentuk karena adanya oksidasi mineral sulfida pada batuan dengan oksigen dan air sehingga memiliki pH kurang dari 4 yang menyebabkan kelarutan logam berat pada air asam tambang. Pengolahan limbah AAT dapat dilakukan dengan cara fitoremediasi pada sistem *wetland*. Proses fitoremediasi AAT dapat menyebabkan stress bagi *Typha angustifolia* L.. Respons fisiologi pada *T. angustifolia* terhadap stress AAT berupa aktivitas enzim antioksidan meliputi peroksidase (PO), polifenol oksidase (PPO) dan katalase (CAT) sehingga dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui aktivitas enzim antioksidan meliputi PO, PPO, dan CAT pada *T. angustifolia* dalam fitoremediasi air asam tambang pada kondisi *wetland* PIT 3 Banko Barat. Proses pengambilan sampel pada penelitian ini menggunakan metode convenience sampling. Pengukuran kadar Fe dan Mn pada AAT menggunakan metode spektrofotometri serapan atom, serta pengukuran kadar sulfat menggunakan metode turbiditas. Ekstraksi protein menggunakan prinsip sentrifugasi. Pengukuran kadar protein total, dan aktivitas PO, PPO, dan CAT menggunakan metode spektrofotometri uv-vis. Analisis data yang digunakan berupa data kuantitatif untuk pengukuran pH, kadar Fe dan Mn, dan pada data aktivitas PO, PPO, dan CAT disajikan dengan analisis pemusatan data dan standar deviasi. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil bahwa aktivitas enzim antioksidan meliputi PO, PPO, dan CAT pada *T. angustifolia* setelah mengalami fitoremediasi air asam tambang dengan pH 4,0 serta kandungan Fe dan Mn berturut-turut 3mg/L dan 4mg/L pada inlet dan peningkatan pH menjadi 5,4 pada *wetland* didapatkan aktivitas PO sebesar 56,98 U/mg protein/menit; PPO sebesar 20,59 U/mg protein/menit; dan CAT sebesar 49,62 U/mg protein/menit. Pengukuran aktivitas enzim antioksidan dapat dijadikan sebagai evaluasi peninjauan keberhasilan dari fitoremediasi AAT.

Kata Kunci : Enzim antioksidan, fitoremediasi, katalase, peroksidase, polifenol oksidase, *Typha angustifolia* L.

Kepustakaan: 65 (1980-2019)

SUMMARY

ANTIOXIDANT ENZYME ACTIVITIES IN *Typha angustifolia* L. ROOTS IN COAL FITOREMEDIATION OF COAL MINING ACID IN WETLAND PIT 3 BANKO BARAT

Scientific Writing consists of a Thesis, May 2020

Evi Lestari (08041381621063)

Supervised by Drs. Juswardi. M.Si and Dra. Sri Pertiwi Estuningsih. M.Si.

Department of Biology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University

xiv+ 44 pages, 1 pictures, 2 tables, 3 attachments

SUMMARY

Coal mining in South Sumatra uses the open pit method which results in exposure to mining activities and produces acid mine drainage (AMD). AMD is formed due to oxidation of sulfide minerals on the surface with oxygen and water so that it has a pH of less than 4 which causes heavy metals in acid mine water. Waste treatment can be done by phytoremediation in the wetland system. In the phytoremediation process, AMD can cause stress for *Typha angustifolia* L.. Physiological responses to *T. angustifolia* to stress AAT that involve antioxidant activity containing peroxidase (PO), polyphenol oxidase (PPO) and catalase (CAT). Research carried out that discusses the antioxidants, PO, PPO, and CAT in *T. angustifolia* in mine acid phytoremediation in the wetlands PIT 3 Banko Barat. The sampling process in this study uses convenience sampling method. Measurement of Fe and Mn levels in AAT using atomic absorption spectrophotometry, and measurement of sulfate levels using the turbidity method. Protein extraction uses the principle of centrifugation. Measurement of total protein content, and PO, PPO, and CAT activities using the UV-Vis spectrophotometry method. Analysis of the data used consists of quantitative data to measure pH, Fe and Mn contents, and the PO, PPO, and CAT activity data will be presented with a analysis table and standard deviations. Based on the research, the results of the PO, PPO, and CAT antioxidant enzymes on *T. angustifolia* after phytoremediation of mine acid with a pH of 4.0 and also the Fe and Mn content collected 3mg / L and 4mg / L in the inlet and Increased pH to 5.4 in wetlands obtained by PO activity of 56.98 U / mg protein / minute; PPO of 20.59 U / mg protein / minute; and CAT 49.62 U / mg protein / minute. Measurement of antioxidant enzyme activity can be done as an evaluation of the success of AMD phytoremediation.

Keywords: Antioxidant Enzymes, Phytoremediation, Catalase, Peroxidase, Polyphenol Oxidase, *Typha angustifolia* L.

Citations: 65 (1980-2019)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Boleh jadi kamu membenci sesuatu padahal ia amat baik bagimu, dan boleh
jadipula kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk bagimu, Allah mengetahui
dedang kamu tidak mengetahui”

(Q.S. Al-Baqarah:216)

“Dan sesungguhnya Kami akan memberi balasan kepada orang-orang yang sabar
dengan pahala yang lebih baik dari apa yang mereka kerjakan”

(Q.S. An-Nahl: 96)

“You can if you think you can”

Karya ini saya persembahkan
kepada Penguat Hati
Allah SWT beserta Habiballah Muhammad SAW
Bapak, ibu dan mbak
Keluarga besar
Almamaterku

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah menganugerahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi yang berjudul “Aktivitas Enzim Antioksidan pada Akar *Typha angustifolia* L. dalam Fitoremediasi Air Asam Tambang Batubara di *Wetland* PIT 3 Banko Barat” dapat diselesaikan. Skripsi ini merupakan suatu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Bidang Studi Biologi di Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Skripsi ini dapat diselesaikan karena adanya bantuan, bimbingan, semangat dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini segenap terimakasih disampaikan kepada yang tersayang kedua orang tua (Bukhori dan Suprihatin) dan kakak (Eka Kurniawati S.Si) yang telah banyak memberi do'a, motivasi akan tujuan hidup serta dukungan materil. Terimakasih kepada Drs. Juswardi, M.Si dan Dra. Sri Pertiwi Estuningsih, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dukungan maupun saran dengan penuh keikhlasan dan kesebaran sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Yth:

1. Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.
2. Dr. Arum Setiawan, M.Si. dan Dr. Elisa Nurnawati, M.Si selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.
3. Dr. Hary Widjajanti M.Si. selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama perkuliahan.
4. Dra.Harmida, M.Si dan Singgih Tri Wardana, S.Si, M.Si. selaku dosen Pembahas yang telah membimbing, dan memberi masukan dalam penyelesaian skripsi.
5. Seluruh dosen dan staff karyawan Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.
6. Seluruh Staf Karyawan di Satuan Kerja Pengelolaan Lingkungan, PT. Bukit Asam, Tanjung Enim, Sumatera Selatan yang telah membantu dalam pengambilan sampel AAT dan *T. angustifolia* di lapangan.

7. Seluruh Staf Karyawan di Balai Riset Standarisasi Industri, Sumatera Selatan yang telah membantu dalam analisis logam berat pada sampel air asam tambang.
8. Seluruh rekan-rekan Mahasiswa/i Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya khususnya angkatan 2016.

Semoga Allah membalas segala amal kebaikan kepada yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk berbagai pihak. Aamiin Allahuma Aamiin.

Inderalaya, Juni 2020

Penulis

Evi Lestari

DAFTAR ISI

Isi	Halaman
HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
RINGKASAN	vi
SUMMARY	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1. Latar belakang	1
1.2. Rumusan masalah	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Air Asam Tambang	5
2.1.1. Mekanisme terbentuknya Air Asam Tambang	5
2.1.2. Logam Berat.....	6
2.1.3. Dampak Air Asam Tambang	7
2.2. Fitoremediasi.....	8
2.2.1. Macam-macam Fitoremediasi	8
2.2.2. Mekanisme Fitoremediasi	10
2.2.3. Tumbuhan Potensi Fitoremediasi.....	11
2.3. <i>Typha angustifolia</i> L.	12
2.4. Enzim Antioksidan.....	12
2.4.1. Peroksidase (PO).....	13
2.4.2. Polifenol Oksidase (PPO)	14
2.4.3. Katalase (CAT)	14
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Waktu dan Tempat	16
3.2. Alat dan Bahan.....	16
3.3. Cara Kerja	16
3.3.1. Pengambilan Sampel.....	16
3.3.1.1. Pengambilan Sampe Air Asam Tambang	16
3.3.1.2. Pengambilan Sampe <i>Typha angustifolia</i> L	17
3.3.2. Parameter Air Asam Tambang.....	17

3.3.2.1. Pengukuran pH pada Air Asam Tambang	17
3.3.2.2. Pengukuran Kadar Fe pada Air Asam Tambang.....	17
3.3.2.3. Pengukuran Kadar Mn pada Air Asam Tambang.....	17
3.3.2.4. Pengukuran Kadar Sulfat pada Air Asam Tambang.....	18
3.3.3. Ekstraksi Protein	18
3.3.4. Penentuan KadarProtein Total	18
3.3.5. Pengukuran Aktivitas Peroksidase (PO)	19
3.3.6. Pengukuran Aktivitas Polifenol Oksidase (PPO).....	19
3.3.7. Pengukuran Aktivitas Katalase (CAT).....	19
3.4. Analisis Data	19
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Aktivitas Enzim Antioksidan	21
4.2. Parameter Lingkungan	28
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	32
5.2. Saran.....	32
DAFTAR PUSTAKA	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Typha angustifolia</i> L	12
---	----

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Penambangan Batubara.....	6
Tabel 4.1. Aktivitas enzim antioksidan <i>Typha angustifolia</i> dalam fitoremediasi di <i>Wetland</i> Pit 3 Banko Barat	21
Tabel 4.2. Konsisi Air Asam Tambang di <i>Wetland</i> PIT 3 Banko Barat dengan Vegetasi <i>Typha angustifolia</i>	28

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengambilan Sampel AAT dan Pengukuran pH	39
Lampiran 2. Pengukuran Fe, Mn, dan SO ₄ pada AAT.....	40

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penambangan batubara di Sumatera Selatan umumnya menggunakan metode tambang terbuka. Menurut Madaniyah (2016), metode tambang terbuka pada kegiatan penambangan batubara dimulai dengan pembersihan lahan, peledakan dan pengupasan tanah atas dan tanah penutup, proses penambangan dan pembersihan batubara, penyimpanan hingga pengangkutan dan pemuatan batubara. Proses penambangan batubara dengan menggunakan metode tambang terbuka menyebabkan tersingkapnya batuan yang akan memungkinkan terjadinya kontak langsung dengan oksigen dan air sehingga menghasilkan limbah cair dengan kondisi pH asam yang disebut limbah air asam tambang (AAT).

Air asam tambang adalah limbah cair yang timbul akibat adanya proses reaksi kimia dan aktivitas biologis. Mineral sulfida tertentu yang ada pada batuan terpapar oleh oksigen dan air akan menyebabkan proses oksidasi yang membentuk asam sulfat. Proses tersebut yang menyebabkan AAT memiliki pH kurang dari 4. Pada pH yang rendah akan menyebabkan peningkatan kelarutan logam berat di dalam air sehingga berpotensi menjadi sumber pencemaran lingkungan karena bersifat toksik (Yunus dan Nopi, 2018).

Logam berat pada limbah AAT merupakan unsur alamiah yang terkandung di dalam batubara seperti Fe dan Mn. Logam berat pada limbah AAT yang bersifat toksik dan menjadi sumber pencemaran lingkungan jika langsung dibuang ke perairan sehingga membutuhkan perlakuan khusus dalam penurunan logam berat. Pengolahan limbah AAT dalam penurunan kadar logam berat dapat dilakukan secara biologis dengan memanfaatkan tumbuhan hiperakumulator yang memiliki kemampuan fitoremediasi (Karahappen *et al.*, 2015).

Fitoremediasi merupakan suatu upaya teknologi dengan memanfaatkan tumbuhan seperti pohon, rumput-rumputan, dan tumbuhan air dalam proses pencucian polutan. Tumbuhan air termasuk tumbuhan yang sering digunakan karena lebih efektif dalam penanganan limbah cair (Caroline dan Guido, 2015),

selanjutnya menurut Mustafa dan Sri (2018), kelebihan dari metode fitoremediasi yakni termasuk metode yang efektif, efisien, tidak memerlukan biaya yang besar dan ramah lingkungan. Hal tersebut dikarenakan penggunaan tumbuhan spesifik dalam penanganan limbah sehingga bersifat lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan menggunakan bahan kimia.

Typha angustifolia L. termasuk salah satu tumbuhan yang berpotensi dalam fitoremediasi air asam tambang dengan metode lahan basah buatan. Hal tersebut karena *T. angustifolia* memiliki habitat pada daerah rawa serta mampu beradaptasi dalam kondisi lingkungan yang ekstrim. Menurut Irhamni *et al.* (2018), kelompok *Typha* sp. memiliki habitat lingkungan yang dengan nilai pH 4 – 10 dan dapat tumbuh di tempat yang mengandung limbah cair tercemar bahan berbahaya seperti logam berat.

Menurut Sulthoni *et al.* (2014), konsentrasi Fe yang tinggi pada organ tumbuhan ekor kucing (*T. latifolia*) menjadikan tumbuhan ini berpotensi sebagai tumbuhan hiperakumulator untuk logam besi karena memiliki kemampuan dalam mengabsorpsi dan mengalokasikan unsur tersebut lebih dari 0,1% pada organ tumbuhan. Hasil ini menunjukkan bahwa jenis tumbuhan ini mempunyai karakter dalam hal pengakumulasian kadar Fe yaitu pada bagian akar tanaman.

Penelitian Fitra *et al.* (2013), diperoleh hasil bahwa tumbuhan *T. latifolia* mampu menurunkan kadar logam dalam media terkontaminasi logam berat dengan menyerap dan mengakumulasi Cd pada bagian organ tumbuhan. Kemampuan tersebut dikarenakan *T. latifolia* memiliki sifat resistensi terhadap stress logam berat terhadap lingkungan hidupnya.

Kemampuan tumbuhan dalam beradaptasi dengan lingkungan akan mempengaruhi proses dan mekanisme fisiologi. Kondisi air asam tambang menjadi salah satu penyebab terjadinya perubahan proses fisiologi tumbuhan karena adanya stress logam berat dan kondisi pH yang rendah. Respons fisiologis yang terjadi jika tumbuhan mengalami stress (cekaman) logam adalah terjadinya pembentukan protein stress (*phytochelatins*) yang dipicu oleh adanya ion-ion logam. Stress logam akan menyebabkan adanya perubahan aktivitas enzimatik (Hidayati, 2013).

Respons tumbuhan terhadap stress dapat dideteksi melalui indikator biokimia melalui aktivitas enzim. Enzim yang digunakan sebagai indikator stress adalah peroksidase (PO), polifenol oksidase (PPO) dan katalase (CAT). PO dan CAT berperan untuk mereaksikan hidrogen peroksida yang berlebih pada tumbuhan. Hidrogen peroksida yang berlebih akan menyebabkan keracunan pada tumbuhan, yang menyebabkan rusaknya membran sel pada tumbuhan. CAT berperan untuk melindungi sel dari pengaruh racun hidrogen peroksida dan menguraikan hidrogen peroksida menjadi oksigen dan air (Marlinda, 2010). Dan menurut Rusnani (2017), PPO berperan dalam menguraikan fenol menjadi quinon dalam jumlah yang stabil. Senyawa fenol yang diuraikan adalah senyawa fenol di dalam sel tumbuhan yang terbentuk karena adanya pengaruh stress lingkungan.

Air asam tambang dapat menyebabkan kondisi lingkungan menjadi faktor stress bagi tumbuhan yang diakibatkan oleh kondisi pH yang rendah atau kondisi asam yang menyebabkan kelarutan logam berat tinggi. Jika konsentrasi AAT terlalu tinggi, maka tumbuhan harus beradaptasi secara fisiologis untuk dapat bertahan hidup, salah satunya dengan mensintesis dan meningkatkan aktivitas enzim antioksidan meliputi peroksidase (PO), polifenol oksidasi (PPO) dan katalase (CAT).

1.2. Rumusan Masalah.

Limbah air asam tambang batubara memiliki pH yang asam sehingga menyebabkan tingginya kelarutan kandungan logam berat yang dapat menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan AAT berupa fitoremediasi menggunakan *T. angustifolia*. Pada proses fitoremediasi AAT dapat menyebabkan stress pada *T. angustifolia*, sebagai respons secara fisiologi *T. angustifolia* akan melakukan perubahan aktivitas enzim antioksidan terutama peroksidase (PO), polifenol oksidase (PPO) dan katalase (CAT). Sehingga perlu dilakukan penelitian tentang aktivitas enzim PO, PPO, dan CAT sebagai respons adaptasi pada *T. angustifolia* dalam fitoremediasi limbah air asam tambang batubara.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aktivitas enzim antioksidan meliputi peroksidase (PO), polifenol oksidase (PPO), dan katalase (CAT) pada *T. angustifolia* dalam fitoremediasi air asam tambang pada kondisi *wetland* PIT 3 Banko Barat.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi mengenai aktivitas enzim antioksidan meliputi peroksidase (PO), polifenol oksidase (PPO), dan katalase (CAT) pada *T. angustifolia* dalam fitoremediasi air asam tambang di *wetland* PIT 3 Banko Barat sebagai upaya dalam evaluasi peninjauan keberhasilan fitoremediasi air asam tambang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulgani, H., Munifatul, I., dan Sudarno. 2014. Kemampuan Tumbuhan *Typha angustifolia* dalam Sistem *Subsurface Flow Constructed Wetland* untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Kerupuk (Studi Kasus Limbah Cair Sentra Industri Kerupuk Desa Kenanga Kecamatan Sindang Kabupaten Indramayu Jawa Barat). *Bioma*. 16(1): 90-101.
- 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.
- Alici, E.M., dan Gulnur, A. 2016. Determination of SOD, POD, PPO and CAT Enzyme Activities in *Rumex obtusifolius* L. *Annual Research & Review in Biology*. 11(3): 1-7.
- Anita, Y., Dan Hani, M. 2014. *Brassica juncea* Peroksidase Sebagai Biokatalis dalam Sintesis Kopling Oksidatif Senyawa Guaiakol. *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*. 12(1): 99-103.
- Ardika, P. U., Erwin, P., dan Endri, J., 2016. Pengaruh Limbah Air Asam Tambang Batubara terhadap Jumlah Eritrosit, Hemoglobin dan Leukosit Ikan Mas (*Cyprinus carpio* L.). Prosiding Semirata. Universitas Jambi.
- Ariyani, D., Ramlah, S., Umi, B.L.U., Rd Indah, N. (2014). Kajian Adsorpsi Logam Fe dan Mn oleh Tanaman Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) pada Air Asam Tambang secara Fitoremediasi. *Sains dan Terapan Kimia*. 8 (2). 87-93.
- Asip, F., Noffia, C., Septi, A. 2015 . Pengaruh Adsorben Diatomaceous Earth Terhadap Penurunan Kadar Besi dan Ion Sulfat dari Air Asam Tambang. *Jurnal Teknik Kimia*. 4(12): 1-10.
- Astrini, Y., Ratna, Y., dan Andi, S. 2014. Analisis Pengaruh Pemberian Logam Berat (Pb, Cd, Cu) Terhadap Pertumbuhan *Melastoma malabathricum* L. *Jurnal Penelitian*. 1(1): 1-7.
- Campbell, N.A., Jane, B. R., dan Lawrence, G. M. 2002. *Biologi Edisi Kelima Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Caroline J., dan Guido, M. 2015. Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) pada Limbah Industri Peleburan Tembaga dan Kuningan. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan III*. Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. 21-24.

- Cavalcanti, F. S., José, T. A., Aparecida, S., Ricardo, R. Viégas dan Joaquim, A. G. 2004. Superoxide Dismutase, Catalase And Peroxidase Activities Do Not Confer Protection Against Oxidative Damage In Salt-Stressed Cowpea Leaves. *New Phytologist*. 163(1): 563–571.
- Choudhary, R., Ajaya, E. S., dan P. L. Swarnkar. 2012. Effect of abscisic acid and hydrogen peroxide on antioxidant enzymes in *Syzygium cumini* plant. *J Food Sci Technol*. 49(5):649–652.
- Daryani. 1999. Respons Pertumbuhan Potongan Jaringan Daun Sukun (*Artocarpus communis* Forst) dan aktivitas Polifenol Oksidase dengan pemberian NAA dan BAP dalam Kultur In vitro. *Skripsi Sarjana Sains*. Jurusan Biologi. FMIPA. Universitas Sriwijaya. Indralaya. 45 hlm.
- Fahrudin. 2009. Pengaruh Jenis Sedimen *Wetland* dalam Reduksi Sulfat pada Limbah Air Asam Tambang (AAT). *J. Tek.Lin*. 10(1): 26-30.
- Farnese, F., Juraci, A. O., Mariana, S. F., Grasielle, S. G., Neidiquele, M. S., dan Luhan, I. S. 2014. Uptake Arsenik by Plants Effects on Mineral Nutrition, Growth and Antioxidant Capacity. *IDESIA*. 32(1): 99-106
- Fathirizki, K.A., Kamarati., Marlon, I.A. dan M. Sumaryono. 2018. Kandungan Logam Berat Besi (Fe), Timbal (Pb) dan Mangan (Mn) pada Air Sungai Santan. *Jurnal Penelitian Ekosistem Dipterokarpa*.4(1): 49-56.
- 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.
- Fitra, A., Yuni, S.R., Winarsih. 2013. Kemampuan Fitoremediasi *Typha latifolia* dalam Menurunkan Kadar Logam Kadmium (Cd) Tanah yang Tercemar Lumpur Lapindo di Porong Sidoarjo. *LenteraBio*. 2(3):185–189.
- Foyer CH, dan Noctor G. 2005. Oxidant and antioxidant signaling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. *Plant Cell Environ* 28:1056–1071
- Harmida dan Juswardi. 2001. Aktivitas Peroksidase dan Polifenol Oksidase pada Beberapa Varietas Kedelai (*Glycine max* (L) Merrill) yang terserang Penyakit Karat. *Jurnal Penelitian Sains*. 9(1): 15-24.
- Hartanti,P.I., Haji, A.T.S., dan Wirosodarmo, S. 2014.Pengaruh Kerapatan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) terhadap Penurunan Logam Chromium padaLimbah Cair Penyamakan Kulit. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 31-37.

- Herniwanti., Priatmadi.J., Yanuwiadi., Soemarno. 2013. Water Plants Characteristic For Phytoremediation Of Acid Mine Drainage Passive Treatment. *International Journal Of Basic & Applied Sciences*. 13(6): 14-21.
- Henny, C., Ajie, G.S., dan Susanti, E. 2010. *Pengolahan air asam tambang menggunakan system Passive Treatment*. Prosiding Seminar Nasional Limnologi V. 331-334.
- Hidayah, E, N., dan Wahyu, A. 2010. Potensi dan Pengaruh Tanaman pada Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Sistem *Constructed Wetland*. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. 2(2): 11-18.
- Hidayat, L. 2017. Pengolahan Limbah Areal Tambang Batubara (Studi Kasus Pengolahan Air Asam Tambang (*Acid Mining Drainage*) di PT. Bhumi Rantau Energi Kabupaten Tapin Kalimantan Selatan. *Jurnal Adham*. 7(1): 44-52
- Hidayati, 2013. *Mekanisme Fisiologis Tumbuhan Hiperakumulator Logam Berat*. Pusat Penelitian Biologi Lipi. 9-12.
- Ijazah F. Z., D. Rohmat., Y. Malik. 2016. Dampak Aktivitas Penambangan Batubara terhadap Kualitas Air Sungai Enim Di Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim. *Antologi Pendidikan Geografi*. 4(2): 1-14.
- Irhamni., Setiaty, P., Edison., Wirsal., 2017. Analisis Limbah Tumbuhan Fitoremediasi (*Typha latifolia*, Enceng Gondok, Kiambang) Dalam Menyerap Logam Berat. *Serambi Engineering*. 3(1): 344-351.
- Jibril, N. 2018. Studi Aktivitas Enzim Polifenol Oksidase (PPO) dari Buah Langsung (*Lansium parasiticum*). *Skripsi*. Makassar. Universitas Hasanauddin.
- Karahappen, M., Rudy Hendrawan Noor. 2015. Pencemaran Kualitas Air Dari Adanya Potensi Air Asam Tambang Akibat Penambangan Batubara (Studi Kasus Pada Sungai Patangkep). *Jurnal Intekna*. 15(2): 156 – 160.
- Kartika, K., dan Akbar, F. 2017. Potensi Alfalfa Sebagai Tanaman Hiperakumulator pada Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat. *Seminar Nasional Kependidikan Biologi dan saintek II*. 726-730.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 13 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batubara. 1-8.
- Kumar, S., Doreddula, S., V Arun., Venkateswalu., Satish, K., Rama, R. 2013. A Review Of *Typha angustata*. *International Journal of Phytopharmacology*. 4(4). 277-281.

- Kurniawan, F., T. Abu, H., dan Subardi, B. 2015. Analisis Logam (Fe, Pb), Nitrat (NO₃⁻, dan Sulfida (S₂⁻) pada Limbah Tambang Batubara PT. Tri Bakti Sarimas di Desa Pangkal Kuansing. *JOM MIPA*. 2(1): 212-221.
- Latifah, S. 2005. *Analisis Vegetasi Hutan*. Universitas Sumatra Selatan. e-USU Repository.
- Luhova, L., A. Labede., D. Hedererova., dan P. Pec. 2003. Activities of Amine Oxidase, Peroxida, and Catalase in Seedling of *Pisum sativum* L. Under Different Light Conditions. *Plant Soil Environ.* 49 (4): 151–157.
- Madaniyah. 2016. Efektivitas Tanaman Air dalam Pembersihan Logam Berat pada Air Asam Tambang. *Skripsi*. Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Malik, C.P. dan Singh, M.B. 1980. *Plant Enzymology and Histo Enzymology*. New Delhi.: Kalyani Publishers. vii+433 pages.
- Marlinda, 2010. Aktivitas Enzim Peroksidase, Katalase, dan Kandungan Protein pada Kakao (*Theobroma cacao* L.) Hasil Mutasi Menggunakan *Ethyl Methane Sulfonate* (Ems). *Skripsi*. Jember. Universitas Jember.
- Mirouze, M dan Jerzy, P. 2011. Epigenetic Contribution to Stress Adaptation in Plants Current. *Opinion in Plant Biology*. 14:1-8.
- Mustafa, A. B., dan Sri, W. 2018. Fitoremediasi Sebagai Alternatif Pemulihan Lahan Pasca Tambang. *IRIBB*. 6(1): 1-6.
- Nasir, S., Purba, M., dan Sihombing, O. 2014. Pengolahan Air Asam Tambang Dengan Menggunakan Membran Keramik Berbahan Tanah Liat, Tepung Jagung Dan Serbuk Besi. *Jurnal Teknik Kimia*. 3(20): 22-30.
- Normaningsih, Y. 2009. Kandungan Mangan dalam Air Sungai Riam Kanan dan Hati Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* L) di Kecamatan Karang Intan Kabupaten Banjar. *Jurnal Bioscientiae*. 8:723-736.
- Ordog, V. 2011. *Plant Physiology*. Institute of Plant Biology. Gyor.
- Pandey N, GC Pathak, DK Pandey, R Pandey. 2009. Heavy metals, Co, Ni, Cu, Zn, and Cd, produce oxidative damage and evoke differential antioxidant responses in spinach. *Brazilian Society of Plant Physiology* 21(2): 103-111.
- Peraturan Gubernur No. 8 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah Cair untuk Kegiatan Pertambangan Batubara. 1-3.
- Proklamasiningsih, E., dan Hernayati, 2010. Rizofiltrasi Logam Pb (Plumbum) pada Beberapa Jenis Tumbuhan Air. *Biosfera*. 27(1); 30-37.
- Puspanti, A. 2013. Kajian Fitoremediasi Sebagai Salah Satu Pendukung Kegiatan Pengelolaan Lahan Pasca Penambangan Batubara. *Prosiding Seminar Nasional*. Balai Penelitian Teknologi Konservasi Sumber Daya Alam.

- Rahayu, S.T., Faradilla, M., Verawati, E.Y., dan Triyana, M. 2014. Respon Bioakumulator Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) terhadap Logam Berat Pb dan Cd di Sungai Pengangsaam Dua. *Original Artikel*. 1(1): 9-15.
- Resmiyanti, T. 2012. Efektivitas Kitosan dan Biofilter Eceng Gondok dan Kijing Taiwan sebagai Adsorben pada Pengolahan Limbah yang Mengandung Logam Hg, Cd, dan Pb. *Skripsi*. Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Rosidah, S., Yustinus, U., dan Krispinus, K. 2014. Uji Toleransi Tembakau (*Nicotiana tabacum* L. terhadap Cekaman Kadmium (Cd), Timbal (Pb), dan Tembaga (Cu) pada Kultur Cair. *Unnes Journal of Science*. 3(2). 68-77.
- Rusnani, 2014. *Aktivitas Polifenol Oksidase Kultur Antera Padi Setelah Praperlakuan Cekaman Manitol*. 72-77.
- Saravanan, T., Bashkaran, R., dan Muthusamy, M. 2004. *Pseudomonas fluorescens* Induced Enzymmological Changes In Banana Roots (Cv. Rasthali) against Fusarium Wilt Disease . *J Plant Pathology*. 3(2): 72-80.
- Sari, K., Widya, S.S. 2017. Respon Fisiologis Tanaman Terhadap Kondisi Lingkungan Yang Tercemar Logam Berat, Kalah Atau Bertahan?. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan*. Universitas Muhammadiyah Metro.
- Serang. L.K.O., Handayanto, E., dan Rindyastuti, R. 2018. Fitoremediasi Air Tercemar Kromium dengan Menggunakan *Sagittaria lancifolia* dan *Pistia stratiotes* serta Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan Kangkung Darat (*Ipomea reptans*). *Jurnal Tanah dan Sumber Daya Lahan*. 5 (1): 739-746Pelczar dan Chan (1986).
- Sofa,A., Antonio, S., Maria, N., dan Antonella, V. 2015. Ascorbate Peroxidase and Catalase Activities and Their Genetic Regulation in Plants Subjected to Drought and Salinity Stresses. *Int. J. Mol. Sci*. 16(1): 13561-13578.
- Sonowal, S., Majeti, N., dan Hemen. S. 2018. C3 and C4 plants as potential phytoremediation and bioenergy crops for stabilization of crude oil and heavy metal co-contaminated soils-response of antioxidative enzymes. *Tropical Plant Research*. 5(3): 306–314.
- Sulthoni, M., Badruzsaufari, Fadly H. Yusran., dan Eny Dwi Pujawati. 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 Kcmb Kabupaten Banjar. *Enviroscientiae*. 10(1): 80-87.

- Suprihatin dan Nastiti, S.I. 2010. Penyisihan Logam Berat dari Limbah Cair Laboratorium dengan Metode Presipitasi dan Adsorpsi. *Makara, Sains*. 14(1): 44-50.
- Susanti, R dan Fibriana, F. 2017. *Teknologi Enzim*. Semarang: CV.Andi Offset. 1-5.
- Sutriyono, D. 2012. Translokasi Merkuri (Hg) pada Daun Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea reptan Poir*) pada Tanah Tercemar. *Skripsi*. Palu. MIPA UNTAD.
- The U.S. Department Of Agriculture (Usda)*. 2019. Narrowleaf Cattail *Typha angustifolia* L. <[Http://Plants.Usda.Gov](http://Plants.Usda.Gov)> Or The Plant Materials. Diakses pada tanggal 12 September 2019.
- Yunus, R., dan Nopi, S. P. 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*. 7(1): 73-85.
- Yusmur., A. 2018. Identifikasi dan Mitigasi Air Asam Tambang melalui Hutan Rawa Buatan di Lahan Pasca Tambang. *Skripsi*. Bogor. Institut Pertanian Bogor.

