

**EFEKTIVITAS PENAMBAHAN JERAMI PADI DALAM
MEMPERCEPAT PROSES FITOREMEDIASI BESI (Fe^{2+}) OLEH JENIS
TANAMAN AIR BERBEDA PADA AIR EKS GALIAN PASIR**

(SKRIPSI)

Oleh

**GUSTI PUTU NOPENDI
1714201020**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

**EFEKTIVITAS PENAMBAHAN JERAMI PADI DALAM
MEMPERCEPAT PROSES FITOREMEDIASI BESI (Fe^{2+}) OLEH JENIS
TANAMAN AIR BERBEDA PADA AIR EKS GALIAN PASIR**

Oleh

GUSTI PUTU NOPENDI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA PERIKANAN**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

EFEKTIVITAS PENAMBAHAN JERAMI PADI DALAM MEMPERCEPAT PROSES FITOREMEDIASI BESI (Fe^{2+}) OLEH JENIS TANAMAN AIR BERBEDA PADA AIR EKS GALIAN PASIR

Oleh

Gusti Putu Nopendi

Kecamatan Pasir Sakti Kabupaten Lampung Timur memiliki perairan danau eks galian pasir yang mengandung konsentrasi Fe^{2+} tinggi. Salah satu upaya untuk mengurangi konsentrasi Fe^{2+} yang ada di perairan adalah remediasi dengan tanaman air (fitoremediasi). Namun proses remediasi dengan menggunakan tanaman air saja sering kali membutuhkan waktu lama sehingga membutuhkan kombinasi perlakuan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji efektivitas penambahan jerami padi dalam mereduksi Fe^{2+} oleh jenis tanaman air berbeda. Perlakuan disusun menggunakan rancangan acak lengkap terdiri dari 4 perlakuan dan 3 ulangan, yaitu perlakuan A (kontrol), B (jerami padi dan *A. pinnata* 50%), C (jerami padi dan *S. molesta* 50%), D (jerami padi dan *E. crassipes* 50%). Hasil dari kombinasi perlakuan berdasarkan uji anova pada tingkat kepercayaan 95%, menunjukkan penambahan jerami padi sebagai adsorben pada fitoremediasi oleh tanaman *A. pinnata*, *S. molesta*, dan *E. crassipes* dengan luas tutupan 50% tidak menunjukkan perbedaan nyata terhadap penurunan konsentrasi Fe^{2+} .

Kata Kunci: *fitoremediasi, jerami padi, konsentrasi Fe^{2+}*

ABSTRACT

THE EFFECTIVENESS OF RICE STRAW TO ACCELERATE IRON (Fe^{2+}) PHYTOREMEDIATION PROCESS BY DIFFERENT SPECIES OF AQUATIC PLANTS IN EX-SAND MINING WATER

By

Gusti Putu Nopendi

Pasir Sakti Subdistrict, East Lampung Regency has ex-sandpit lakes that contain high concentrations of Fe^{2+} . One of the efforts to reduce the concentration of Fe^{2+} in the water is remediation by aquatic plants (phytoremediation). However, the remediation process using aquatic plants often takes a long time, so it requires a combination of treatments. The purpose of this study was to examine the effectiveness of the addition of rice straw in accelerating the reduction of Fe^{2+} by aquatic plants. The treatments were arranged using a completely randomized design consisting of 4 treatments and 3 replications, namely treatment A (control), B (rice straw and *Azolla pinnata* 50%), C (rice straw and *Salvinia molesta* 50%), D (rice straw and *Eichhornia crassipes* 50%). The results showed that the addition of rice straw as an adsorbent in the phytoremediation process by *A. pinnata*, *S. molesta*, and *E. crassipes* did not show a significant difference in the acceleration of Fe^{2+} reduction on the contrary.

Keywords: *phytoremediation, rice straw, Fe^{2+} Concentration*

HALAMAN PENGESAHAN

**Judul : EFEKTIVITAS PENAMBAHAN JERAMI PADI
DALAM MEMPERCEPAT PROSES FITOREMEDIASI
BESI (Fe^{2+}) OLEH JENIS TANAMAN AIR BERBEDA
PADA AIR EKS GALIAN PASIR**

Nama : Gusti Putu Nopendi

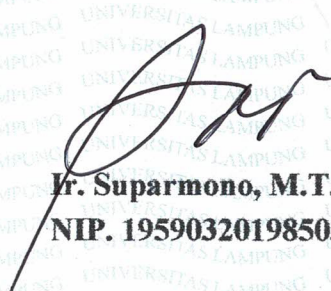
NPM : 1714201020


Program Studi : Sumber Daya Akuatik

Fakultas : Pertanian



1. Komisi Pembimbing


Ir. Suparmono, M.T.A.
NIP. 195903201985031004


Qadar Hasani, S.Pi., M.Si.
NIP. 197901182002121002

2. Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan


Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si.
NIP. 197008151999031001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

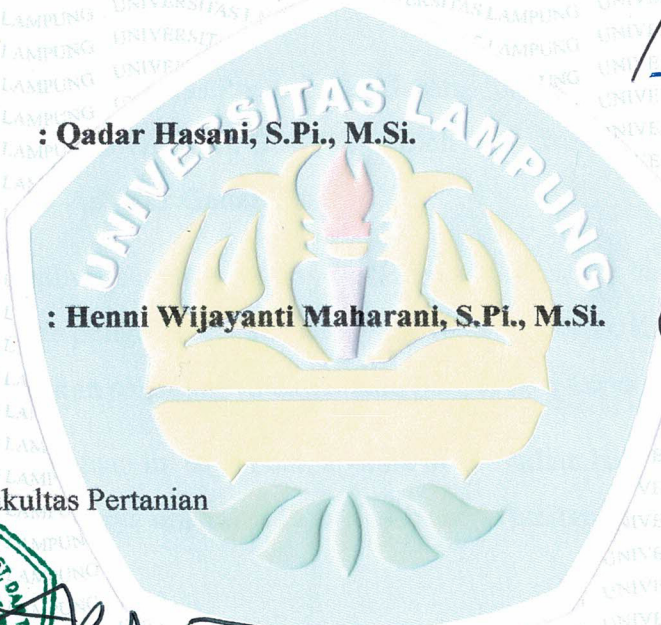
Ketua : Ir. Suparmono, M.T.A.



Sekretaris : Qadar Hasani, S.Pi., M.Si.



Anggota : Henni Wijayanti Maharani, S.Pi., M.Si.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Arwan Sukri Banuwa, M.Si.

NIP. 196110201986031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 24 Desember 2021

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Gusti Putu Nopendi

NPM : 1714201020

Jusul Skripsi : Efektivitas Penambahan Jerami Padi dalam Mempercepat Proses Fitoremediasi Besi (Fe^{2+}) oleh Jenis Tanaman Air Berbeda pada Air Eks Galian Pasir

Menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis ini adalah murni hasil karya saya sendiri berdasarkan pengetahuan dan data yang saya dapatkan. Karya ini belum pernah dipublikasikan sebelumnya dan bukan plagiat dari karya orang lain.

Demikian pernyataan ini saya buat, apabila di kemudian hari terbukti terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 24 Januari 2022



Gusti Putu Nopendi

RIWAYAT HIDUP



Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang dilahirkan di Desa Raman Endra, Kecamatan Raman Utara, Kabupaten Lampung Timur pada tanggal 18 November 1998, dari pasangan Bapak Gusti Putu Muliarka dan Ibu Nyoman Aprillia Susanti. Penulis memulai pendidikan formal di Taman Kanak-kanak (TK) Saraswati dan diselesaikan pada tahun 2005, pendidikan dasar di SD Negeri 1 Restu Rahayu yang diselesaikan pada tahun 2011, pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 2 Raman Utara yang diselesaikan pada tahun 2014, dan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Kota Gajah diselesaikan pada tahun 2017. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan strata 1 (S1) di Program Studi Sumberdaya Akuatik, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2017 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten praktikum Manajemen Kualitas Air. Penulis juga telah mengikuti kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Bukoposo, Kecamatan Way Serdang, Kabupaten Mesuji pada bulan Januari-Februari 2020, dan melakukan kegiatan Praktik Umum (PU) di Desa Rejo Mulyo Kecamatan Pasir Sakti Kabupaten Lampung Timur dan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi, Universitas Lampung pada bulan Juli 2020. Penulis juga aktif mengikuti organisasi tingkat jurusan sebagai anggota bidang pengkaderan di Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan (Himapik) periode 2019/2020 dan UKM Hindu Unila sebagai anggota Bidang seni dan Olahraga periode 2018/2019 sampai 2019/2020

PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan berkahnya sehingga skripsi ini telah selesai sebagai syarat seorang mahasiswa untuk memperoleh gelar sarjana.

Kupersembahkan skripsi ini kepada:

Orang tua tercinta, Bapak Gusti Putu Muliarka dan Ibu Nyoman Aprillia Susanti

Adikku tersayang, Sayu Made Widiantari

Seluruh keluarga besar yang senantiasa hadir mengiringi perjalanan hidup,
terimakasih atas doa dan dukungan selama masa studi

Serta

Almamater tercinta, Universitas Lampung

MOTTO

“Lebih baik mengerjakan kewajiban sendiri walaupun tidak sempurna daripada dharmanya orang lain yang dilakukan dengan baik; lebih baik mati dalam tugas sendiri dari pada tugas orang lain yang sangat berbahaya”

(Bhagavad Gita III-35)

“Tidak ada rahasia sukses. Itu adalah hasil dari persiapan, kerja keras, dan belajar dari kegagalan”

(Colin Powell)

“Cintai hidup yang anda jalani. Jalani hidup yang anda cintai”

(Bob Marley)

***“Berdoa memberimu keyakinan
Berusaha memberimu kesempatan”***

(NN)

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi yang berjudul “Efektivitas Penambahan Jerami Padi dalam Mempercepat Proses Fitoremediasi Besi (Fe^{2+}) oleh Jenis Tanaman Air Berbeda pada Air Eks Galian Pasir” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Penulis sangat menyadari terdapat banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini, maka dari itu diharapkan adanya saran dan kritik yang membangun dari semua pihak.

Penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan saran dari berbagai pihak, maka penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
2. Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si., selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan serta Ketua Program Studi Sumberdaya Akuatik;
3. Ir. Suparmono, M.T.A., selaku Pembimbing Utama atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, kritik, dan saran dalam proses penyelesaian skripsi ini;
4. Qadar Hasani, S.Pi., M.Si., selaku Pembimbing Kedua atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, kritik, dan saran dalam proses penyelesaian skripsi ini;
5. Heny Wijayanti Maharani, S.Pi., M.Si., selaku Pembahas yang telah memberikan bimbingan, kritik, dan saran dalam penyelesaian skripsi ini;
6. Maulid Wahid Yusup, S.Pi., M.Si., selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama menjalani perkuliahan;

7. Seluruh Dosen serta Staf Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung atas seluruh ilmu dan arahan yang telah diberikan selama masa studi;
8. Tim penelitian Lampung Timur, Arrasyid Albir Sagara, Furqon Imam Mutaqin dan Fahri Dwi Cahyo, yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan motivasi selama penelitian kepada penulis.
9. Analis dan Staf UPT LTSIT Universitas Lampung yang telah memberikan bantuan, ilmu, dan pemahaman selama penelitian.
10. Ibu, Ayah, Adik Widya dan keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan, sehingga penulis selalu diberi kemudahan dan kelancaran selama masa studi;
11. Teman, sahabat, saudara, dan orang-orang terkasih, yang selalu memberikan segala dukungan, saran, doa, serta bantuan dalam mengerjakan tanggung jawab dan kewajiban pribadi;
12. Teman-teman Jurusan Perikanan dan Kelautan angkatan 2017;

Bandar Lampung, 14 Maret 2022

Gusti Putu Nopendi

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	5
1.3 Manfaat Penelitian	5
1.4 Kerangka Pikir	5
1.5 Hipotesis.....	8
II. TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Logam Besi (Fe).....	9
2.2 Fitoremediasi.....	10
2.3 Tinjauan tentang <i>Azolla pinnata</i>	12
2.3.1 Klasifikasi <i>Azolla pinnata</i>	12
2.3.2 Morfologi <i>Azolla pinnata</i>	12
2.3.3 Fisiologi <i>Azolla pinnata</i>	13
2.3.4 Ekologi <i>Azolla pinnata</i>	13
2.4 Tinjauan tentang Eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>).....	14
2.4.1 Klasifikasi Eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>)	14
2.4.2 Morfologi Eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>)	14
2.4.3 Ekologi Eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>).....	16
2.5 Tinjauan tentang Kiambang (<i>Salvinia molesta</i>).....	16
2.5.1 Klasifikasi (<i>Salvinia molesta</i>)	16
2.5.2 Morfologi (<i>Salvinia molesta</i>)	16
2.5.3 Ekologi (<i>Salvinia molesta</i>).....	17
2.6 Mekanisme Penyerapan Logam oleh Tanaman	18
2.7 Jerami Padi.....	19
2.8 Parameter Kualitas Air	20
2.8.1 pH	20
2.8.2 DO (<i>Dissolved Oxygen</i>)	21
2.8.3 Suhu	21
2.9 Nutrient pada Perairan	22
2.9.1 Amonia	22
2.9.2 Nitrat.	23
2.9.3 Fosfat	24

2.9.4 Sulfat	25
III METODE PENELITIAN	26
3.1 Waktu dan Tempat	26
3.2 Alat dan Bahan	27
3.3 Rancangan Penelitian.....	27
3.3.1 Tata Letak Wadah Penelitian	27
3.3.2 Rancangan Percobaan	28
3.3.3 Tahapan Uji	29
3.4 Rancangan Respon	30
3.4.1 Konsentrasi Logam Besi (Fe^{2+})	30
3.4.2 Faktor Biokonsentrasi dan Translokasi.....	32
3.4.3 Kualitas Air	32
3.4.4 Analisis Data	33
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Konsentrasi Fe^{2+} dalam Air	34
4.2 Parameter Kualitas Air	36
4.3 Konsentrasi Fe^{2+} pada Tanaman	40
V PENUTUP	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	54

DAFTAR GAMBAR

No	Halaman
1. Kerangka pikir penelitian	7
2. Tanaman <i>A. pinnata</i>	12
3. Morfologi eceng gondok (<i>E. crassipes</i>)	15
4. Tumbuhan kiambang (<i>S. molesta</i>).....	17
5. Peta lokasi penelitian.....	26
6. Tata letak wadah penelitian	27
7. Grafik penurunan konsentrasi Fe ²⁺ pada masing-masing perlakuan.....	35
8. Grafik persentase penurunan konsentrasi Fe ²⁺ pada akhir perlakuan	36
9. Pencarian tanaman <i>E. crassipes</i> disekitar lokasi penelitian	65
10. Pengambilan tanaman <i>S. molesta</i> disekitar lokasi penelitian	65
11. Pengambilan tanaman <i>A. pinnata</i>	65
12. Proses pengambilan jerami padi	65
13. Proses pencucian dan penjemuran jerami padi	65
14. Pembuatan kolam percobaan	65
15. Penempatan jerami padi di kolam	66
16. Pengisian air eks galian pasir	66
17. Penempatan tanaman pada kolam	66
18. Pengecekan kualitas air kolam	66
19. Uji laboratorium	66
20. Uji sampel logam dengan ICP Oes	66
21. Uji sampel kualitas air	67
22. Air sampel yang diuji	67

DAFTAR TABEL

No	Halaman
1. Konsentrasi Fe^{2+} (mg/l) pada tiap perlakuan	34
2. Parameter kualitas air berdasarkan perlakuan.....	37
3. Konsentrasi nutrient yang tersedia pada masing-masing perlakuan	39
4. Berat tanaman (g) pada kolam uji dengan luas tutupan 50%	40
5. Konsentrasi Fe^{2+} pada akar dan daun tanaman di awal dan akhir perlakuan ...	41
6. Nilai faktor translokasi dan biokonsentrasi pada setiap perlakuan	41
7. Konsentrasi Fe^{2+} pada jerami padi	43

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pasir merupakan komoditas tambang yang penting sebagai bahan material pembangunan infrastruktur. Kegiatan penambangan pasir juga dapat menyerap tenaga kerja dan tumbuhnya kesempatan usaha masyarakat di sekitar lokasi penambangan pasir (Rahmadian dan Dharmawan, 2014), namun jika tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan dampak negatif pada keseimbangan dan fungsi lingkungan, seperti menyebabkan terjadinya pengikisan humus tanah, terbentuknya lubang-lubang besar dan mengakibatkan erosi (Suherman *et al.*, 2015).

Kegiatan pertambangan baik dalam proses penggalian, pengangkutan, maupun pengolahan akan menimbulkan gangguan besar bagi permukiman masyarakat. Penambangan pasir dapat berdampak langsung pada lingkungan dan ekosistem. Dampak yang ditimbulkan dapat berupa rusaknya vegetasi dan habitat serta hilangnya flora dan fauna (Ramadhan *et al.*, 2001), perubahan struktur tanah bagian atas dapat mengalami pengikisan, sehingga terbentuk cekungan-cekungan besar dari bekas kegiatan tersebut. Cekungan besar tersebut akan terisi air hujan dan resapan air tanah sehingga membentuk danau-danau (Dyahwanti, 2007).

Daerah-daerah di Indonesia banyak terdapat bekas aktivitas pertambangan pasir, salah satunya di Kecamatan Pasir Sakti Kabupaten Lampung Timur. Bekas penambangan pasir ini membentuk cekungan-cekungan yang karena proses hujan dan masukannya air tanah mengakibatkan lubang-lubang bekas galian pasir terisi oleh air dan membentuk danau-danau besar (Malik, 2017). Dampak aktivitas pertambangan pasir pada lingkungan perairan yaitu menurunnya kualitas air yang meliputi pencemaran air dan tingginya kandungan logam (Hasani *et al.*, 2021^a).

Pengukuran kandungan logam yang dilakukan oleh Dinas Kelautan Perikanan Provinsi Lampung tahun 2017 di lahan eks galian pasir Kecamatan Pasir Sakti, diperoleh hasil konsentrasi Fe^{2+} berkisar antara 0,22-1,54 mg/l dan 1,75-36,46 mg/100 g pada daging ikan yang hidup pada lahan eks galian pasir. Menurut Hasani *et al.*, (2021^c) Hasil pengukuran di tiga stasiun lahan eks galian pasir sepanjang tahun 2019 didapatkan konsentrasi Fe berkisar antara 0,159-5,898 mg/l. Dijelaskan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492/-MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air ditetapkan bahwa standar maksimal konsentrasi logam berat besi (Fe^{2+}) 0,3 mg/l dan untuk kehidupan ikan kandungan besi yang baik di perairan yaitu maksimum 0,02 mg/l (Krismono *et al.*, 1998). Hal ini menunjukkan bahwa kandungan Fe^{2+} yang terdapat di perairan eks galian pasir sudah melebihi ambang batas yang diperbolehkan. Kandungan logam yang tinggi dapat bersumber dari alam, atau dapat bersumber dari proses geogenik dan masukan limbah dari luar sehingga dapat mencemari perairan bekas galian pasir (Khatri *et al.*, 2017). Konsentrasi Fe^{2+} yang tinggi pada perairan memiliki dampak negatif terhadap organisme akuatik seperti dapat mengalami pembengkakan hati dan empedu, pembekuan sel syaraf sehingga pertumbuhan terhambat, terjadinya anoxia, hingga kematian ikan (Nofrita *et al.*, 2013).

Logam berat tidak dapat didegradasi, sehingga untuk melakukan remediasi area yang tercemar oleh logam berat dilakukan secara fisik dan kimiawi, namun metode tersebut mahal, tidak efektif dan berdampak negatif bagi lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemulihan dengan cara fitoremediasi. Merupakan salah satu cara pembersihan polutan menggunakan tanaman. Teknologi ini relatif murah dan ramah lingkungan yang dapat meminimalkan konsentrasi logam berat di tanah dan perairan (Kaewtubtim *et al.*, 2016). Teknik ini relatif mudah karena tidak memerlukan peralatan yang spesifik dan eksklusif, ini berlaku untuk remediasi area skala besar dimana teknik konvensional lain terbukti sangat tidak efisien dan mahal. Beberapa kontaminan dapat diatasi dengan teknologi fitoremediasi seperti insektisida, pelarut terklorinasi, *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAHs), *polychlorinated biphenyl* (PCBs), petroleum hidrokarbon, radio nukleosida, surfaktan, elemen peledak dan logam berat (Ali *et al.*, 2020).

Telah diketahui lebih dari 500 spesies dari 101 famili tumbuhan dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi (Sarma, 2011). Pada penelitian ini tanaman yang digunakan sebagai agen fitoremediasi yaitu *A. pinnata* (Hasani *et al.*, 2021^b), *E. crassipes* (Hasani *et al.*, 2021^a), dan *S. molesta* (Oktavia, 2016). Tanaman ini dipilih karena bersifat hiperakumulator, yaitu mampu mengakumulasi logam tertentu pada jaringan akar atau tajuk dengan konsentrasi yang tinggi (Hidayati, 2005). Selain itu, ketiga jenis tanaman ini juga mudah ditemukan di sekitar lokasi eks galian pasir di Kecamatan Pasir Sakti.

Remediasi dengan menggunakan tanaman air saja seringkali membutuhkan waktu cukup lama, hal ini dibuktikan dalam penelitian (Hasani *et al.*, 2021^a) dan (Hasani *et al.*, 2021^b) dengan menggunakan tanaman *A. pinnata* dan *E. crassipes* membutuhkan waktu 21 hari dalam proses remediasi Fe. Oleh karena itu, perlu dilakukan kombinasi perlakuan untuk mempercepat proses remediasi, salah satu yaitu dengan menambahkan jerami padi. Selama ini jerami padi dimanfaatkan oleh petani sebagai pakan ternak sekitar 22%, pupuk kompos sekitar 20-29% dan sisanya dibakar untuk menghindari penumpukan sehingga pemanfaatannya belum optimal (Andini *et al.*, 2015). Jerami padi kaya akan kandungan selulosa berkisar antara 35-50%. Selulosa adalah unsur yang paling berlimpah dan penyusun utama dinding sel tumbuhan, dan mempunyai kemampuan untuk mengadsorpsi logam berat (Dini *et al.*, 2013). Adsorpsi merupakan gaya ikatan yang bekerja pada permukaan adsorben padat yang berfungsi menarik bahan yang harus dipisahkan dari campurannya sehingga dapat terjadi proses pemisahan bahan tersebut dari campuran gas atau zat cair (Nursyamsi *et al.*, 2011). Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui apakah fitoremediasi dengan tumbuhan air yang ditambah jerami padi mampu mempercepat reduksi Fe²⁺ sehingga nantinya bekas galian tersebut dapat digunakan untuk kegiatan budi daya perikanan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah

- (1) Mengkaji efektivitas penambahan jerami padi dalam mempercepat reduksi Fe^{2+} oleh tanaman *A. pinnata*, *S. molesta*, dan *E. crassipes* di perairan eks galian pasir.
- (2) Menentukan nilai faktor translokasi Fe^{2+} pada tanaman *A.pinnata*, *S. molesta*, dan *E. crassipes* dengan penambahan jerami padi (adsorben).
- (3) Menentukan nilai faktor biokonsentrasi Fe^{2+} pada tanaman *A.pinnata*, *S. molesta*, dan *E. crassipes* dengan penambahan jerami padi (adsorben).

1.3 Manfaat Penelitian

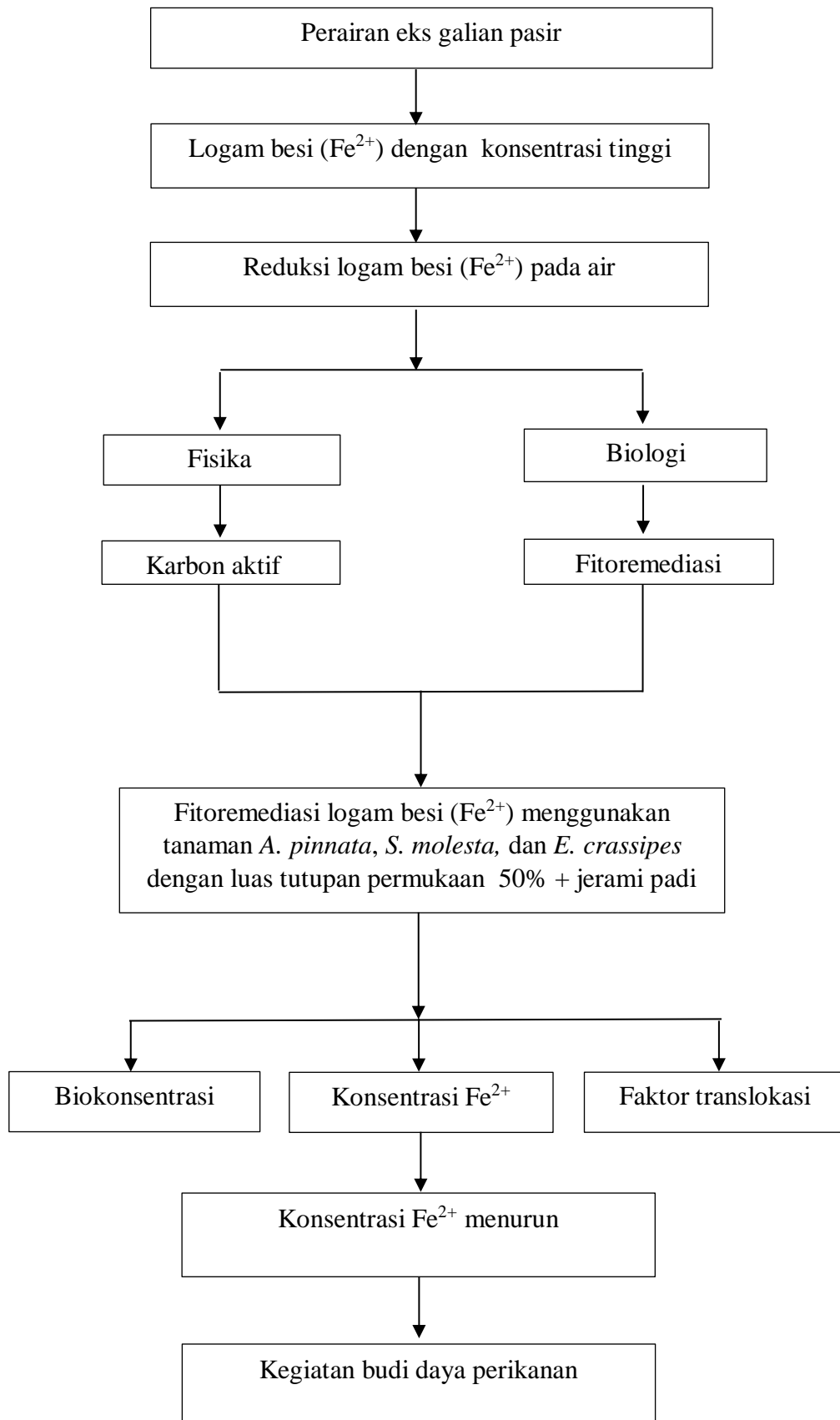
Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain:

- (1) Menjadi acuan bagaimana cara perbaikan kualitas air eks galian pasir yang memiliki kadar Fe^{2+} tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan masyarakat untuk kegiatan budi daya perikanan.
- (2) Memberikan informasi tentang efektivitas penambahan jerami padi (adsorben) dalam mempercepat reduksi Fe^{2+} oleh tanaman *A. pinnata*, *E. crassipes* dan *S. molesta* di perairan eks galian pasir.

1.4 Kerangka Pikir

Kegiatan penambangan pasir di Kecamatan Pasir Sakti mengakibatkan terbentuknya cekungan-cekungan luas yang berisi air, dan banyak mengandung Fe^{2+} yang tinggi. Kandungan Fe^{2+} yang tinggi di perairan dapat berdampak negatif pada organisme. Hal ini menyebabkan bekas tambang tersebut tidak mendukung untuk budi daya perikanan. Upaya yang dapat dilakukan untuk mereduksi Fe^{2+} di perairan bekas galian pasir, salah satunya adalah teknologi fitoremediasi dengan menggunakan tanaman air *A.pinnata*, *S. molesta*, dan *E. crassipes* dengan perlakuan luas tutupan 50% dan kombinasi penambahan jerami padi sebagai adsorben untuk mempercepat reduksi Fe^{2+} dalam perairan. Teknologi ini dipilih karena relatif murah dan ramah lingkungan.

Penelitian dilaksanakan hingga kualitas air layak untuk budi daya perikanan. Pengambilan dan pengukuran sampel air dilaksanakan pada awal penelitian, selanjutnya dilakukan setiap tiga hari sekali. Adapun pengukuran jerami padi dan bagian tanaman seperti akar, batang, dan daun dilakukan pada awal dan akhir percobaan. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan dilakukan analisis sidik ragam (anova) terhadap persentase penurunan Fe^{2+} di air, faktor biokonsentrasi dan faktor translokasi. Apabila hasil analisis varian menunjukkan perbedaan yang signifikan, dilakukan uji lanjut Duncan untuk menentukan perlakuan terbaik. Kerangka pikir pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian.

1.5 Hipotesis

Hipotesis yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

(1) Konsentrasi Fe^{2+}

H_0 : Semua $\tau_i = 0$

Pengaruh perlakuan penambahan jerami padi pada proses fitoremediasi tidak berbeda nyata terhadap persentase penurunan konsentrasi Fe^{2+} pada air eks galian pasir.

H_1 : Minimal ada satu $\tau_i \neq 0$

Minimal ada satu pengaruh perlakuan penambahan jerami padi pada proses fitoremediasi yang berbeda nyata terhadap persentase penurunan konsentrasi Fe^{2+} pada air eks galian pasir.

(2) Biokonsentrasi

H_0 : Semua $\tau_i = 0$

Pengaruh perlakuan penambahan jerami padi pada proses fitoremediasi tidak berbeda nyata terhadap faktor biokonsentrasi.

H_1 : Minimal ada satu $\tau_i \neq 0$

Minimal ada satu pengaruh perlakuan penambahan jerami padi pada proses fitoremediasi yang berbeda nyata terhadap terhadap faktor biokonsentrasi.

(3) Translokasi

H_0 : Semua $\tau_i = 0$

Pengaruh perlakuan penambahan jerami padi pada proses fitoremediasi tidak berbeda nyata terhadap faktor translokasi.

H_1 : Minimal ada satu $\tau_i \neq 0$

Minimal ada satu pengaruh perlakuan penambahan jerami padi pada proses fitoremediasi yang berbeda nyata terhadap faktor translokasi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Besi (Fe)

Besi (Fe) merupakan salah satu elemen yang dapat ditemukan pada hampir setiap tempat di bumi, pada semua lapisan tanah dan semua air. Pada umumnya besi yang ada di dalam air dapat bersifat terlarut sebagai Fe^{2+} atau tidak terlarut sebagai Fe^{3+} (Rahayu, 2013). Kandungan besi (Fe) di bumi terdapat sekitar 6,22 %, di tanah sekitar 0,5-4,3 %, di sungai sekitar 0,7 mg/l, di air tanah sekitar 0,1-10 mg/l, pada air laut sekitar 1-3 ppb, dan untuk air minum tidak lebih dari 200 ppb. Air permukaan pada umumnya memiliki kandungan besi rendah di bawah 1 mg/l, namun konsentrasi besi pada air tanah bervariasi mulai dari 0,01 mg/l sampai dengan ± 25 mg/l. Zat besi di alam biasanya banyak terdapat di dalam biji besi *hematite*, *magnetite*, *taconite*, *limonite goethite*, *siderite*, dan *pyrite* (FeS) (Febrina dan Ayuna, 2014).

Besi terdapat dalam beberapa bentuk di dalam air, di antaranya berdasarkan bentuk mineralnya, kelarutannya, dan sifat kimianya (Khatri *et al.*, 2017). Beberapa bentuk *anhidrat*, seperti *hematite* ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan *maghemite* ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Dalam bentuk terhidrasi seperti *ferrihidrit* dengan variabel kadar air disebut sebagai $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Braunschweig *et al.*, 2013). Dalam konsentrasi yang diperlukan, besi berperan sebagai salah satu unsur penting bagi manusia dan bagi bentuk kehidupan lainnya (Jayaweera *et al.*, 2008).

Besi (Fe) merupakan logam esensial, keberadaannya sangat dibutuhkan oleh organisme hidup meskipun dalam kadar jumlah tertentu, namun jika jumlahnya berlebih dapat menimbulkan efek racun. Sumber besi dalam air berasal dari

dalam tanah dan dapat berasal dari sumber lain, di antaranya dari *reservoir* air dari besi atau endapan buangan industri. Dampak Fe bagi lingkungan di antaranya endapan Fe dapat mengakibatkan gangguan teknis, fisik, dan kesehatan. Konsentrasi besi terlarut yang diperbolehkan dalam air bersih adalah sampai dengan 0,1 mg/l (Murraya *et al.*, 2015).

Zat besi merupakan unsur esensial dalam metabolisme tumbuhan sebagai penyusun sitokrom, menjaga dan sebagai pengarah struktur kloroplas untuk membentuk klorofil serta mengaktifkan enzim. Selain itu, besi juga terlibat dalam proses penting, seperti transpor elektron dalam fotosintesis dan respirasi tumbuhan, pertukaran darah dan oksigen pada vertebrata (Baldantoni *et al.*, 2014). Kelarutan besi pada perairan dipengaruhi oleh tingkat keasaman atau pH air tersebut. Hal serupa akan terjadi jika besi berada di dalam tanah yang memiliki pH yang bervariasi. Selain pH, terdapat faktor lain di alam yang juga mempengaruhi kelarutan besi seperti senyawa organik tanah, bakteri dan reaksi redoks lingkungan (Gelyaman, 2018).

2.2 Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan istilah yang sudah digunakan sejak tahun 1991, menggambarkan mengenai penggunaan tumbuhan dalam mengurangi volume, mobilitas, atau toksisitas kontaminan yang berada pada tanah, air tanah, atau media terkontaminasi lainnya (Sukono, 2020). Fitoremediasi berasal dari dua kata, yaitu *phyto* dalam bahasa Yunani yang berarti tumbuhan atau tanaman dan *remediare* yang berasal dari bahasa Latin, yaitu memperbaiki atau membersihkan sesuatu. Jadi fitoremediasi (*phytoremediation*) dapat diartikan sebagai suatu sistem dimana tanaman mampu mengubah zat kontaminan (pencemar atau polutan) menjadi berkurang atau tidak berbahaya bahkan menjadi bahan yang dapat dimanfaatkan kembali (Irawanto, 2010).

Fitoremediasi pada dasarnya mengacu pada penggunaan tumbuhan dan mikroba tanah untuk mengurangi konsentrasi atau efek racun kontaminan pada lingkungan. Fitoremediasi dapat digunakan untuk menghilangkan logam berat dan radionuklida serta polutan organik. Tanaman hijau memiliki kemampuan yang

sangat besar untuk menyerap polutan dari lingkungan dan menyelesaikan detoksifikasi dengan mekanisme yang beragam. Fitoremediasi merupakan metode yang membutuhkan biaya relatif murah dibandingkan dengan metode lainnya (Ali dan Sajad, 2013).

Keunggulan utama penerapan fitoremediasi dibandingkan dengan sistem remediasi lainnya adalah kemampuannya menghasilkan limbah sekunder yang memiliki toksisitas lebih rendah, lebih ramah lingkungan dan lebih ekonomis. Kelemahan fitoremediasi adalah dari segi waktu yang dibutuhkan lebih lama dan juga terdapat kemungkinan masuknya kontaminan ke dalam rantai makanan melalui konsumsi hewan dari tanaman tersebut (Sidauruk dan Sipayung, 2015).

Menurut Tangahu *et al.*, (2011), penyerapan logam berat melalui proses fitoremediasi oleh tumbuhan terdiri atas beberapa proses diantaranya *phytoextraction*, *phytostabilisation*, *rhizodegradation*, *phytodegradation*, dan *phytovolatilization*.

Phytoextraction : adalah pengangkatan bahan pencemar dari tanah, air tanah atau air permukaan oleh tanaman hidup dengan cara mengakumulasi di bagian tanaman.

Rhizofiltration : pemanfaatan tanaman untuk mendegradasi senyawa organik yang berasal dari perairan tercemar yang menempel di akar.

Phytostabilization : Pemanfaatan akar untuk mengurangi mobilitas bahan pencemar dalam lingkungan.

Rhizodegradation : Rhizodegradasi merupakan pengobatan biologis zat kontaminan dengan peningkatan aktivitas bakteri dan jamur di *rhizosfer* tanaman vaskular tertentu. *Rhizosfer* adalah zona peningkatan kepadatan mikroba dan mengupayakan pada akar atau permukaan.

Phytodegradation : Penguraian zat kontaminan oleh enzim tanaman. Contohnya enzim *dehalogenase* dan *oksigenase*.

Phytovolatilization: penggunaan tanaman untuk mengambil kontaminan dari tanah, mengubahnya menjadi bentuk *volatile* dan diupayakan ke atmosfer. Phytovolatilisasi terjadi sebagai tanaman yang menyerap air dan kontaminan organik dan anorganik.

3.3 Tinjauan tentang *Azolla Pinnata*

2.3.1 Klasifikasi *Azolla Pinnata*

Menurut Sudjana, (2014), klasifikasi tumbuhan *A. pinnata* adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae

Devisio : Pteridophyta

Classis : Pteridopsida

Ordo : Salviniiales

Genus : *Azolla*

Species : *Azolla pinnata*

Untuk lebih jelasnya tanaman *A. pinnata* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tanaman air *A. pinnata*
Sumber: Nasution *et al.* (2019).

2.3.2 Morfologi *Azolla Pinnata*

A. pinnata merupakan tumbuhan yang tergolong kecil, panjangnya 1,5-2,5 cm. Jenis akar yang dimiliki adalah akar lateral, dimana bentuk akar lancip atau runting dan tampak seperti rambut atau rambut di atas air. Daun kecil panjangnya sekitar 1-2 mm, dan daunnya saling tumpang tindih. Permukaan atas daun berwarna hijau, coklat atau kemerahan, dan permukaan bawah berwarna coklat transparan. Daunnya sering menunjukkan warna merah marun dan tampak

tertutup air. Tumbuh di tempat yang cerah, terutama di akhir musim panas dan musim semi. *A. pinnata* dapat menghasilkan *antosianin* berwarna kemerahan pada daunnya (Nasution *et al.*, 2019).

2.3.3 Fisiologi *Azolla pinnata*

Tanaman *A. pinnata* dapat berkembang biak secara *vegetatif* dan *generatif*. Pada perbanyakannya secara vegetatif, cabang-cabang sisi memisahkan diri dari cabang utama atau batang induk, diikuti pembentukan lapisan penutup luka akibat pemisahan. Selanjutnya cabang-cabang sisi yang memisah tumbuh menjadi tumbuhan dewasa yang bisa membentuk cabang-cabang baru. Waktu yang dibutuhkan untuk perbanyakannya secara vegetatif sangat cepat dengan waktu ganda (*doubling time*) biomassa hanya sekitar 4 sampai 5 hari. Tumbuhan memisahkan diri sampai menjadi *A. pinnata* memerlukan waktu 10-15 hari (Sudjana, 2014).

Tanaman *A. pinnata* bersimbiosis dengan endofitik *Cyanobacteria* yang dikenal dengan nama *Anabaena azollae*, simbiosis tersebut terdapat di dalam rongga daun *Azolla*. Di dalam rongga daun *Azolla* terdapat rambut-rambut epidermal yang berperan dalam kegiatan metabolisme *Azolla* dengan *A. azollae*. Posisi *Anabaena* berada pada ventral lobus dorsal setiap daun vegetatif. Endofit mengfiksasi nitrogen atmosfer dan berada disebelah dalam jaringan paku air tersebut. *A. azollae* mempunyai dua macam sel, yaitu sel vegetatif dan heterosis (Suarsana 2011).

2.3.4 Ekologi *Azolla Pinnata*

Azolla pinnata merupakan tumbuhan air yang dapat ditemukan dari dataran rendah sampai ketinggian 2200 mdpl. *A. pinnata* banyak terdapat di perairan tenang seperti danau, kolam, rawa, dan persawahan. Tanaman *A. pinnata* tersebar di daerah persawahan padi, tumbuh pada permukaan air, cepat dapat menutup permukaan air, namun tidak mengganggu pertumbuhan padi. Apabila air surut akan menempel pada tanah yang lembab, namun perkembangannya kurang baik (Sudjana, 2014).

A. pinnata tumbuh pada kisaran pH antara 5-8, dengan intensitas sinar matahari 25-50%. Selain itu, *A. pinnata* dapat bertahan sampai salinitas 10 ppt dalam situasi lingkungan yang kering azolla sangat peka, sehingga habitat yang berair merupakan kebutuhan utama untuk tetap bertahan hidup. Tumbuhan ini akan mati jika berada pada kondisi kering dalam beberapa jam. Persebaran tumbuhan ini secara luas pada daerah yang sedang (*temperate*), dan biasanya sangat dipengaruhi oleh kondisi suhu di daerah tropis. Kondisi lingkungan yang baik adalah suhu antara 25 - 30°C (Sadeghi *et al.*, 2013).

2.4 Tinjauan tentang Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*)

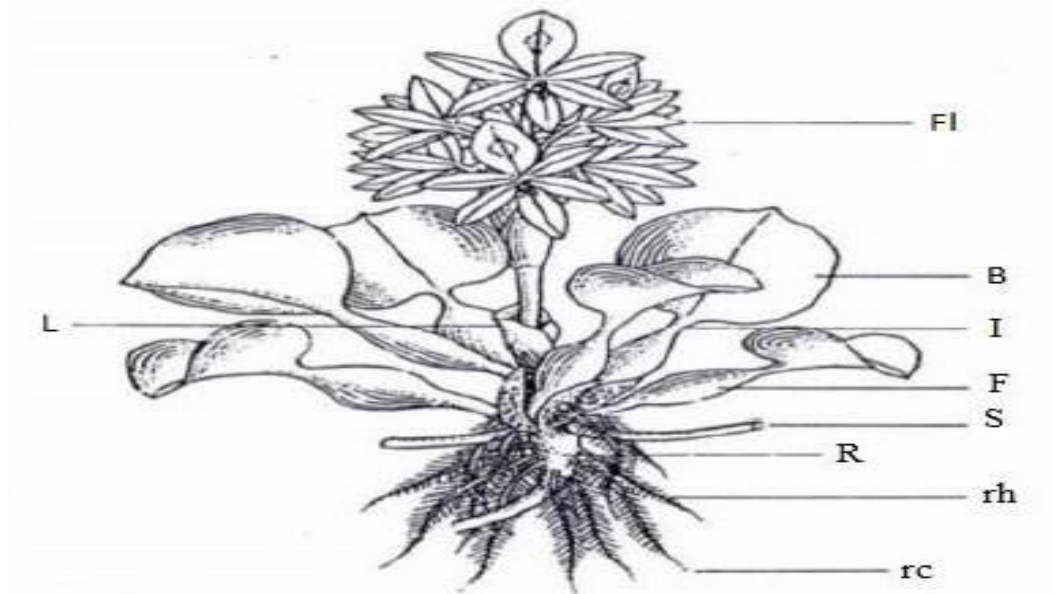
2.4.1 Klasifikasi eceng gondok (*Eichhornia crassipes*)

Klasifikasi eceng gondok menurut Suhono, (2010) adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
 Phylum : Spermatophyta
 Classis : Monocotyledoneae
 Ordo : Commelinales
 Famili : Pontederiaceae
 Genus : *Eichhornia*
 Species : *Eichhornia crassipes*

2.4.2 Morfologi eceng gondok (*Eichhornia crassipes*)

Eceng gondok (*E. crassipes*) merupakan tumbuhan yang hidup di daerah tropis dan subtropis. Tumbuhan ini digolongkan sebagai gulma perairan yang hidup mengapung di permukaan air. Selain itu, tanaman ini mampu menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan dan berkembang biak secara cepat. Perkembangbiakan eceng gondok terjadi secara seksual maupun aseksual. *E. crassipes* tumbuh ideal di perairan yang dangkal dan berair keruh, jika di perairan dalam dan berair jernih di dataran tinggi tanaman ini sulit untuk tumbuh. Satu individu *E. crassipes* terdiri atas helai daun, pengapung, leher daun, ligula, akar rambut, ujung akar, dan stolon yang digunakan untuk tempat berkembang biak seperti pada Gambar 3 (Ratnani *et al.*, 2011).



Gambar 3. Morfologi eceng gondok (*E. crassipes*)

Keterangan: (FI = flower, B = leaf blade, F = float, I = Isthmus, L= Ligula, R= Root, rh = root hair, rc = Ujung akar, S=Stolon)

Sumber: Suhono, (2010)

Tinggi dari *E. crassipes* dapat mencapai 40-80 cm dan daun yang licin dengan panjang 7-25 cm. Tumbuhan eceng gondok terdiri atas helai daun, pengapung, leher daun, ligula, akar, akar rambut, ujung akar, dan stolon yang dijadikan sebagai tempat perkembangbiakan vegetatif (Aryani *et al.*, 2020). Tumbuhan eceng gondok memiliki tangkai daun memanjang berbentuk silindris dengan diameter 1-2 cm, di dalam tangkai tersebut mengandung air yang dibalut serat yang kuat dan lentur. Akar tanaman ini dapat menetralsir air yang tercemar sehingga sering dimanfaatkan untuk penanganan limbah industri (Marhadi, 2018).

Tumbuhan *E. crassipes* memiliki daun yang relatif lebar dan berwarna hijau tua, pada perairan yang mengandung nitrogen tinggi, sebaliknya di perairan yang mengandung nitrogen rendah, *E. crassipes* memiliki daun yang relatif kecil dan berwarna kekuning-kuningan, karena pertumbuhan *E. crassipes* tergantung dari nutrisi yang tersedia dari cahaya matahari untuk melaksanakan proses fotosintesis (Rustianti *et al.*, 2020).

2.4.3 Ekologi eceng gondok (*Eichhornia crassipes*)

E. crassipes memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi dan dengan mudah menyebar melalui saluran air ke badan air lainnya. Pertumbuhan *E. crassipes* akan semakin baik jika hidup pada air yang dipenuhi limbah pertanian atau pabrik. Oleh karena itu, banyaknya *E. crassipes* di suatu wilayah sering menjadi indikator dari tercemar tidaknya wilayah tersebut (Aryani *et al.*, 2020).

Beberapa faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi performa dan pertumbuhan tanaman *E. crassipes* diantaranya seperti suhu, pH, intensitas cahaya matahari, serta salinitas air (Lissy, 2011). Pertumbuhan *E. crassipes* yang baik yaitu pada suhu 25-30°C jika suhu di atas 33°C dapat menghambat pertumbuhan *E. crassipes*. Salinitas yang baik untuk tanaman ini yaitu di atas 2 ppt, dan pH berkisar antara 5,5-7,0 (Gupta *et al.*, 2012).

2.5 Tinjauan tentang Kiambang (*Salvinia molesta*)

2.5.1 Klasifikasi kiambang (*Salvinia molesta*)

Klasifikasi tanaman kiambang menurut Yuliani (2013) adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
 Subkingdom : Tracheobionta
 Division : Pteridophyta
 Class : Filicopsida
 Ordo : Hydropteridales
 Family : Salviniaceae
 Genus : *Salvinia*
 Spesies : *Salvinia molesta* Mitchell

2.5.2 Morfologi kiambang (*Salvinia molesta*)

Salvinia molesta memiliki batang, daun, dan akar. Batang bercabang tumbuh mendatar, berbuku-buku, ditumbuhi bulu, dan panjangnya dapat mencapai 30 cm. Pada setiap buku terdapat sepasang daun yang mengapung dan sebuah daun yang tenggelam. Daun yang mengapung berbentuk oval, dengan panjang tidak

lebih dari 3 cm, tangkai pendek ditutupi banyak bulu, dan berwarna hijau. Daun yang tenggelam menggantung dengan panjang mencapai 8 cm, berbelah serta terbagi-bagi dan berbulu halus. Sepintas penampilannya mirip akar, tetapi sebenarnya daun yang berubah bentuk dan mempunyai fungsi sebagai akar (Yuliani, 2013). Morfologi *S. molesta* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Tumbuhan *S. molesta*
Sumber: Yuliani (2013)

2.5.3 Ekologi kiambang (*S. molesta*)

Tanaman *S. molesta* merupakan tanaman pengganggu atau gulma perairan yang pertumbuhannya cepat. Tanaman ini mampu bertahan hidup pada lingkungan yang tercemar dengan kadar nutrisi yang rendah dan mengakumulasi unsur logam tertentu dengan pertumbuhan dan kelangsungan hidup yang baik (Oktavia, 2016). *S. molesta* tidak memiliki bunga sehingga perkembangannya hanya dengan cara vegetatif. Tanaman tersebut memiliki pertumbuhan yang cepat dengan daun kecil, berbulu dan tergenang namun tidak menghalangi penetrasi cahaya ke dalam perairan. Untuk itu tanaman ini sangat berpotensi apabila dijadikan sebagai tanaman fitoremeditor (Fuad *et al.*, 2013).

Pertumbuhan tanaman *S. molesta* dipengaruhi oleh ruang tumbuh, makin sempit ruang tumbuhnya maka pertumbuhannya akan makin lambat dan sebaliknya. Pertumbuhannya juga dipengaruhi oleh kedalaman air, kandungan hara air, intensitas penyinaran, suhu, dan pH air tempat tumbuhnya (Yuliani, 2013).

2.6 Mekanisme Penyerapan Logam oleh Tanaman

Tumbuhan memiliki sifat toleran dan hiperakumulator terhadap logam berat yang memungkinkan tumbuhan dapat merombak polutan menggunakan energi yang dihasilkan saat fotosintesis (Hidayanti, 2005). Dengan adanya sifat hiperakumulator ini, tumbuhan digunakan sebagai agen fitoremediasi. Dalam prosesnya logam akan diserap oleh akar yang nantinya akan ditranslokasikan ke bagian lainnya seperti batang, daun, dan bunga untuk selanjutnya disimpan, diolah, dan dibuang (Irawanto, 2015).

Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dibagi menjadi tiga proses, yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain dan lokalisasi logam pada bagian jaringan tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut (Yuliani, 2013). Proses penyerapan logam berat yang dilakukan oleh akar disebut dengan *rhizofiltrasi*. dimana akar tumbuhan mengabsorpsi, mengkonsentrasi dan mempresipitasi logam dari lingkungan yang terkontaminasi. Tumbuhan mengeluarkan senyawa organik dan enzim melalui akar yang disebut eksudat akar, sehingga daerah rhizosfer merupakan lingkungan yang sangat baik untuk tempat tumbuhnya mikroba dalam tanah. Mikroba tersebut akan mempercepat proses *rhizofiltrasi* (Irawanto, 2015).

Menurut Irawanto *et al* (2015), tumbuhan memiliki 3 strategi dasar untuk tumbuh pada media yang tercemar logam berat, yaitu:

- (1) *Metal excluder*, tumbuhan mencegah masuknya logam dari bagian aerial atau menjaga agar konsentrasi logam tetap rendah dalam tanah.
- (2) *Metal indicator*, tumbuhan mentoleransi keberadaan konsentrasi logam dengan menghasilkan senyawa pengikat logam atau mengubah susunan logam dengan menyimpan logam pada bagian yang tidak sensitif.

(3) *Metal accumulator*, tumbuhan mengkonsentrat konsentrasi logam yang tinggi pada bagian aerial tumbuhan, tumbuhan ini menyerap kadar kontaminan yang tinggi dan diendapkan dalam akar, batang, daun atau tunas.

Mekanisme akar tanaman dalam menyerap polutan yaitu dengan mengkombinasikan keuntungan luas permukaan akar yang lebih besar dengan afinitas (keterarikan) reseptor kimia yang tinggi. Absorpsi logam dilakukan oleh ujung akar, penyerapan terjadi pada epidermis akar, kemudian ion-ion tersebut bergerak menuju *xilem* melalui sistem sitoplasma bergerak dari jaringan akar ke batang atau daun (Hidayati, 2013).

2.7 Jerami Padi

Jerami padi merupakan limbah pertanian dari tanaman padi yang telah diambil buahnya (gabah) untuk produksi gabah kering sehingga tinggal tersisa batang dan daunnya yang belum sepenuhnya banyak dimanfaatkan. Produksi jerami yang dihasilkan dari produksi gabah panen adalah sekitar 50% (Dini, 2013). Jerami padi merupakan limbah hasil pertanian tanaman padi yang jumlahnya melimpah di Indonesia. Limbah jerami padi ini belum dimanfaatkan secara optimal, selama ini jerami padi dimanfaatkan oleh petani sebagai pakan ternak sekitar 22%, pupuk kompos sekitar 20-29% dan sisanya dibakar untuk menghindari penumpukan (Andini *et al.*, 2015).

Jerami padi memiliki nilai nutrisi yang rendah, oleh karena itu jerami padi merupakan salah satu limbah pertanian di Indonesia yang belum dimanfaatkan secara optimal (Pangesti *et al.*, 2012). Komponen terbesar penyusun jerami padi adalah selulosa (35-50%), hemiselulosa (20-35%), dan lignin (10-25%). Bahan organik yang paling banyak dihasilkan dalam pertanian tanaman padi merupakan sumber bahan organik tanah yang potensial, relatif murah, dan mudah didapat (Andini *et al.*, 2015). Menurut Dini *et al.*, (2013), jerami mengandung selulosa sebesar 37-71%. Selulosa adalah unsur yang paling berlimpah, penyusun utama dinding sel tumbuhan dan mempunyai kemampuan untuk mengadsorpsi logam berat.

Adsorpsi merupakan gaya ikatan yang bekerja pada permukaan adsorben padat yang berfungsi menarik bahan yang harus dipisahkan dari campurannya, kemudian terjadi suatu proses pemisahan bahan tersebut dari campuran gas atau cair (Nursyamsi *et al.*, 2011). Menurut Ifa *et al.*, (2020), jerami padi dapat mengadsorpsi logam karena jerami mengandung selulosa yang memiliki gugus fungsi berupa gugus karboksil (COOH) dan hidroksil (OH) yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam.

2.8 Parameter Kualitas Air

2.8.1 pH

Nilai pH perairan merupakan salah satu parameter yang penting dalam pemantauan kualitas perairan. Organisme perairan mempunyai kemampuan berbeda dalam mentoleransi pH perairan. Kematian lebih sering diakibatkan karena pH yang rendah daripada pH yang tinggi (Pescod, 1973). Kadar ion H atau pH dalam air merupakan salah satu faktor kimia yang sangat berpengaruh terhadap kehidupan organisme yang hidup dalam suatu lingkungan perairan. Dari pernyataan tersebut menunjukkan bahwa pH air dapat diukur dengan nilai berkisar antara 0-14. Pada pH tertentu dapat menggambarkan keadaan air apakah asam atau basa. Tinggi atau rendahnya nilai pH air tergantung pada beberapa faktor yaitu:

- (a) Konsentrasi gas-gas dalam air seperti CO₂
- (b) Konsentrasi garam-garam karbonat dan bikarbonat
- (c) Proses dekomposisi bahan organik di dasar perairan. (Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2013).

Menurut Puspitasari dan Natsir (2016), menyatakan bahwa sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai nilai pH sekitar 7-8,5. Air murni mempunyai nilai pH 7, dan dinyatakan netral, sedangkan pada air payau normal berkisar antara 7-9. Konsentrasi pH memengaruhi tingkat kesuburan perairan karena memengaruhi kehidupan jasad renik. Perairan yang asam, cenderung menyebabkan kematian pada ikan demikian juga pada pH yang mempunyai nilai tinggi atau basa (Supriatna *et al.*, 2020).

2.8.2 DO (Dissolved Oxygen)

Oksigen terlarut dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk pernapasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Selain itu, oksigen juga dibutuhkan untuk oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Sumber utama oksigen dalam suatu perairan berasal dari suatu proses difusi dari udara bebas dan hasil fotosintesis organisme yang hidup dalam perairan tersebut (Salmin, 2000).

Proses respirasi tumbuhan air dan hewan serta proses dekomposisi bahan organik dapat menyebabkan hilangnya oksigen dalam suatu perairan. Selain itu, peningkatan suhu akibat semakin meningkatnya intensitas cahaya juga mengakibatkan berkurangnya oksigen. Meningkatnya suhu air akan menurunkan kemampuan air untuk mengikat oksigen, sehingga tingkat kejenuhan oksigen di dalam air juga akan menurun. Peningkatan suhu juga akan mempercepat laju respirasi dan dengan demikian laju penggunaan oksigen juga meningkat (Puspitaningrum *et al.*, 2012).

Oksigen memegang peranan penting sebagai indikator kualitas perairan, karena oksigen terlarut berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik. Selain itu, oksigen juga menentukan proses biologis yang dilakukan oleh organisme aerobik atau anaerobik. Proses oksidasi dan reduksi inilah maka peranan oksigen terlarut sangat penting untuk membantu mengurangi beban pencemaran pada perairan secara alami maupun secara perlakuan aerobik yang ditunjukkan untuk memurnikan air buangan industri dan rumah tangga (Salmin, 2000). Oksigen terlarut (DO) minimum adalah 2 ppm dalam keadaan normal dan tidak tercemar oleh senyawa beracun (toksik). Kandungan minimum ini sudah mendukung kehidupan organisme (Swingle, 1968). Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. no.51 tahun 2004 menetapkan bahwa kandungan oksigen terlarut adalah 5 ppm untuk kepentingan wisata bahari dan biota laut.

2.8.3 Suhu

Suhu merupakan salah satu parameter air yang sering diukur, karena kegunaannya dalam mempelajari proses fisika, kimia dan biologi. Suhu air berubah-ubah

terhadap keadaan ruang dan waktu. Suhu perairan tropis pada umumnya lebih tinggi dari pada suhu perairan subtropis utamanya pada musim dingin. Penyebaran suhu di perairan terbuka terutama disebabkan oleh gerakan air, seperti arus dan turbulensi. Penyebaran panas secara molekuler dapat dikatakan sangat kecil atau hampir tidak ada (Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2013).

Suhu perairan merupakan salah satu faktor lingkungan penting yang dapat mempengaruhi produksi dalam usaha budidaya perikanan. Air akan mengatur pengendalian suhu tubuh organisme dan pada umumnya ikan sensitif terhadap perubahan suhu air. Berbagai aktivitas penting biota air seperti pernapasan, konsumsi pakan, pertumbuhan, dan reproduksi akan dipengaruhi oleh suhu perairan. Suhu perairan tidak bersifat konstan, akan tetapi karakteristiknya menunjukkan perubahan yang bersifat dinamis (Muarif, 2016).

Menurut Supriharyono (2007), suhu air mempunyai pengaruh tidak langsung terhadap fotosintesis, karena beberapa proses metabolisme, seperti respirasi dan pengambilan unsur hara sangat tergantung pada suhu air. Suhu berpengaruh terhadap proses nitrifikasi dimana suhu optimum proses nitrifikasi adalah 20-25 °C. Suhu air mempunyai peranan dalam mengatur kehidupan biota perairan terutama dalam proses metabolisme. Kenaikan suhu menyebabkan terjadinya peningkatan konsumsi oksigen, selain itu dapat mengakibatkan turunnya kelarutan oksigen dalam air. Oleh karena itu, pada kondisi tersebut organisme akuatik seringkali tidak mampu memenuhi kadar oksigen terlarut untuk keperluan proses metabolisme dan respirasi (Hutagalung, 1988).

2.9 Nutrient Pada Perairan

2.9.1 Amonia

Amonia merupakan senyawa kimia dengan rumus NH_3 salah satu indikator pencemaran udara pada bentuk kebauan. Gas amonia adalah gas yang tidak berwarna dengan bau menyengat, biasanya amonia berasal dari aktifitas mikroba, industri amonia, pengolahan limbah dan pengolahan batu bara. Amonia di atmosfer akan bereaksi dengan nitrat dan sulfat sehingga terbentuk garam amonium yang sangat korosif (Yuwono, 2010). Amonia (NH_3) dan garam-garamnya merupakan

senyawa yang bersifat mudah larut dalam air. Ion amonium merupakan transisi dari amonia, selain terdapat dalam bentuk gas amonia juga dapat berbentuk kompleks dengan beberapa ion logam. Amonia banyak digunakan dalam proses produksi urea, industri bahan kimia, serta industri bubur dan kertas (Putra *et al.*, 2021).

Amonia pada suatu perairan bersumber dari pemecahan nitrogen organik dan nitrogen anorganik yang terdapat didalam tanah dan air yang berasal dari dekomposisi bahan organik oleh mikroba dan jamur. Denitrifikasi oleh aktivitas mikroba pada kondisi anaerob, yang merupakan proses yang biasa terjadi pada pengolahan limbah juga akan menghasilkan gas amonia. Sumber lain amonia bisa juga berasal dari limbah industri, domestik, dan proses difusi dari udara (Syafrani, 2010). Pada air amonia berada dalam dua bentuk yaitu amonia tidak terionisasi dan amonia terionisasi. Amonia yang tidak terionisasi bersifat racun dan akan mengganggu syaraf pada ikan, sedangkan amonia yang terionisasi memiliki kadar racun yang rendah. Daya racun amonia dalam air akan meningkat saat kelarutan oksigen rendah. Keberadaan bakteri pengurai sangat berpengaruh terhadap persediaan oksigen yang secara alami terlarut dalam air (Komarawidjaja, 2005).

2.9.2 Nitrat

Nitrat merupakan salah satu jenis nitrogen anorganik yang terdapat dalam air, merupakan zat hara utama bagi pertumbuhan tanaman dan alga. Nitrat dapat bersumber dari hancuran bahan organik, buangan domestik, limbah peternakan, pupuk dan limbah industri (Syafrani, 2010). Nitrat di perairan merupakan salah satu nutrient yang berperan dalam sintesa protein hewan dan tumbuhan. Konsentrasi nitrat yang tinggi di perairan dapat menstimulasi pertumbuhan dan perkembangan organisme perairan jika didukung oleh ketersediaan nutrien (Hamuna *et al.*, 2018). Kadar nitrat di perairan yang tidak tercemar biasanya lebih tinggi dari kadar amonia. Kadar nitrogen yang tinggi pada perairan merupakan penyebab utama pertumbuhan yang sangat cepat dari ganggang yang menyebabkan eutrofikasi (Syafrani, 2010).

Nitrat dalam prosesnya berasal dari ammonium yang masuk ke dalam badan sungai terutama melalui limbah domestik, konsentrasinya di sungai akan berkurang bila semakin jauh dari titik pembuangan yang disebabkan oleh adanya aktivitas mikroorganisme di dalam air contohnya bakteri nitrosomonas (Mustofa, 2015). Salah satu faktor yang mempengaruhi keberadaan nitrat di perairan adalah sumber nitrat. Nitrat di badan air dapat berasal dari proses difusi oleh atmosfer, fiksasi, hasil degradasi bahan organik serta buangan limbah organik akibat aktivitas manusia. Salah satu buangan limbah yang berpotensi meningkatkan konsentrasi nitrat di kolom air adalah pemanfaatan pupuk di lahan pertanian (Putri *et al.*, 2019).

2.9.3 Fosfat

Fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) merupakan salah satu unsur penting bagi metabolisme dan pembentukan protein. Fosfat merupakan salah satu senyawa nutrisi yang sangat penting di perairan (Hamuna *et al.*, 2018). Menurut Kadim *et al.* (2017) fosfat menjadi faktor pembatas yang sangat penting di perairan produktif dan tidak produktif, fosfor memainkan peranan penting dalam determinasi jumlah fitoplankton. Di perairan, unsur fosfor tidak ditemukan dalam bentuk bebas sebagai elemen, melainkan dalam bentuk senyawa anorganik yang terlarut (ortofosfat dan polifosfat) dan senyawa organik yang berupa partikulat (Purnamaningtyas, 2014).

Fosfat merupakan bentuk fosfor yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai unsur hara. Ortofosfat merupakan bentuk fosfor yang dapat dimanfaatkan secara langsung oleh tumbuhan air (Syafrani, 2010). Kadar fosfat memang cenderung sedikit di perairan dan bila tersedia akan langsung diserap habis oleh tanaman (Richardson dan Simpson, 2011). Batas konsentrasi fosfat yang belum berbahaya bagi organisme di perairan yaitu ≤ 10 mg/l (Majid *et al.*, 2017).

2.9.4 Sulfat

Sulfat di perairan merupakan salah satu anion utama yang muncul di air secara alami atau dari aktivitas manusia (Erviana *et al.*, 2018). Pada perairan yang tidak mengalami pencemaran umumnya ditemukan konsentrasi sulfat antara 10-30 mg/l. Namun akibat kelarutan yang tinggi dari gips, dapat menyebabkan

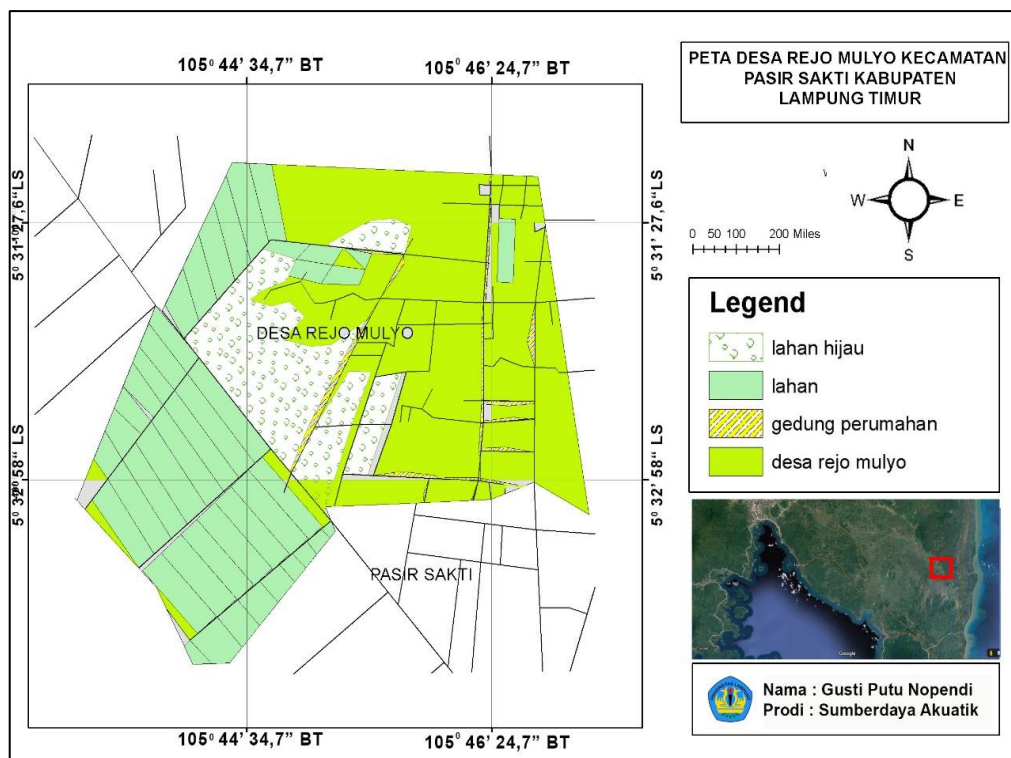
konsentrasi sulfat dalam air mencapai 100 mg/l. Hal ini sering dijumpai pada perairan yang substratnya banyak mengandung gips. Dengan demikian maka konsentrasi sulfat yang tinggi dalam ekosistem air kemungkinan besar disebabkan oleh aspek geologis. Selain itu emisi pencemar udara melalui curah hujan juga dapat memberikan kontribusi bagi konsentrasi sulfat dalam air, meskipun proporsinya relatif sedikit (Barus, 2004).

Kadar sulfat pada air alam umumnya terdapat dalam konsentrasi yang tinggi, kandungan yang tinggi dalam air dapat menyebabkan iritasi pada saluran pencernaan manusia serta dehidrasi yang berlebih. Selain itu juga dapat menyebabkan diare, memicu kanker, dan berpengaruh terhadap reproduksi manusia. Pada perairan kadar sulfat yang tinggi menyebabkan pH air menurun sehingga air akan bersifat korosif pada benda logam, timbul kerak pada ketel, serta muncul bau yang berasal dari reduksi sulfat menjadi hidrogen sulfida (H_2S) (Sutrisno, 2004). Menurut PP no. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, konsentrasi sulfat yang diperbolehkan adalah lebih kecil dari 400 mg/l.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2021. Percobaan fitoremediasi dilaksanakan di Desa Rejo Mulyo, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur yang secara geografi terletak pada titik koordinat $105^{\circ}15'12''\text{BT}$ $106^{\circ}45'52''\text{BT}$ dan $4^{\circ}32'21,9''\text{LS}$ - $5^{\circ}29'15''\text{LS}$. Pengukuran kualitas air (suhu, pH, dan *dissolved oxygen*) dilakukan secara *in-situ*, sedangkan untuk pengujian konsentrasi Fe^{2+} pada air dan tanaman dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 5 .



Gambar 5 . Peta Desa Rejo Mulyo

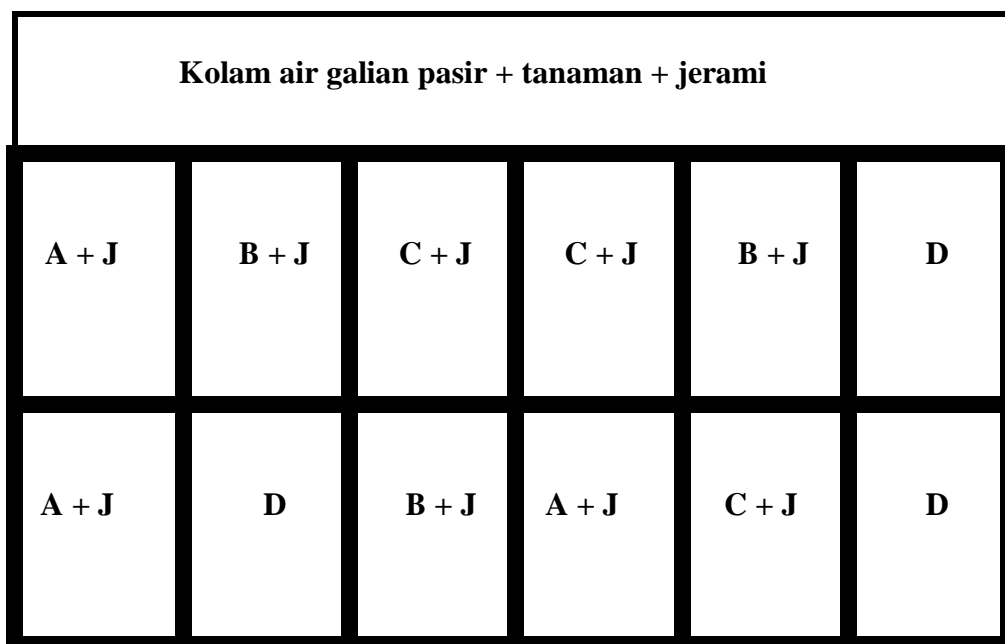
3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kolam terpal ukuran $2,5 \times 1,5 \times 0,75 \text{ m}^3$, pompa air, termometer digital, pH meter, DO meter, botol sampel air, ember, *cool box*, timbangan, *inductively coupled plasma optical emission spectrometer* (ICP-OES). Varian 715-ES. Adapun bahan yang digunakan adalah air yang diambil dari eks galian pasir di Kecamatan Pasir Sakti, jerami padi serta tanaman *A.pinnata*, kiambang (*S. molesta*), dan eceng gondok (*E. crassipes*) sebagai agen fitoremediasi.

3.3 Rancangan Penelitian

3.3.1 Tata letak wadah penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada lingkungan terbuka yang terkontrol (*outdoor*), dengan wadah berupa kolam terpal sebanyak 12 buah. Rancangan percobaan pada penelitian ini adalah rancangan acak lengkap (RAL) dengan 4 perlakuan dan 3 ulangan. Penentuan posisi kolam uji dilakukan secara acak dengan cara pengundian. Hal ini dilakukan agar analisis data menjadi valid. Selain itu, agar semua sampel mendapatkan perlakuan yang sama (homogen). Skema posisi perlakuan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 . Tata letak wadah penelitian

3.3.2 Rancangan Percobaan

Penelitian ini bersifat eksperimental dengan tujuan mempelajari efektivitas reduksi Fe^{2+} oleh tanaman air sebagai agen fitoremediasi, dengan penambahan jerami padi sebagai adsorben. Perlakuan yang digunakan adalah persentase luas tutupan 50% tanaman air, yang ditambah jerami padi pada dasar kolam uji. Adapun rancangan perlakuan yang digunakan yaitu:

- A : Air eks galian pasir tanpa penambahan tanaman dan jerami padi.
- B : Air eks galian pasir dengan perlakuan jerami padi + *A. pinnata* dengan luas tutupan 50 %.
- C : Air eks galian pasir dengan perlakuan jerami padi + *S. moilesta* dengan luas tutupan 50 % .
- D : Air eks galian pasir dengan perlakuan jerami padi + *E. crassipes* dengan luas tutupan 50 %.

Penentuan luas tutupan tanaman air ini berdasarkan hasil penelitian Hasani *et al.* (2021^b) yang menyatakan bahwa penggunaan tanaman *E. crassipes* dengan luas tutupan 50% dalam proses fitoremediasi mampu menurunkan kadar Fe^{2+} mencapai 97,49. Selain itu, Syahputra (2005) menjelaskan bahwa luas tutupan tanaman yang baik tidak lebih dari 75%, karena bila melebihi luas tersebut dapat mengganggu proses degradasi bahan organik dan mengoksidasi logam oleh bakteri dan mikroalga. Selain itu, luas tutupan yang tinggi dapat menghambat cahaya matahari yang masuk yang membuat proses fotosintesis terganggu.

Parameter yang diamati meliputi kualitas fisik dan kimia air, yaitu: konsentrasi Fe^{2+} pada air, persentase efektivitas pengurangan Fe^{2+} , Konsentrasi besi (Fe^{2+}) pada jerami padi serta pada akar dan daun tanaman. Selanjutnya dihitung faktor bio-konsentrasi dan translokasi pada setiap jenis tanaman.

3.3.3 Tahapan Uji

(a) Persiapan kolam uji

Tahapan percobaan diawali dengan persiapan wadah uji berupa kolam terpal berukuran $2,5 \times 1,5 \times 0,75 \text{ m}^3$. Sebelum digunakan, kolam uji dibersihkan dan dibilas menggunakan air bersih, kemudian dikeringkan. Selanjutnya air eks galian pasir dimasukkan menggunakan pompa air ke setiap kolam dengan ketinggian 50 cm. Pengukuran konsentrasi besi (Fe^{2+}) dilakukan pada awal penelitian (H_0) yaitu pada air eks galian pasir, tanaman, dan jerami padi.

(b) Persiapan tanaman uji dan jerami padi

Sebelum diaplikasikan pada kolam uji, tanaman dicuci sampai bersih untuk menghilangkan kotoran, telur organisme lain, dan larva serangga yang kemungkinan menempel pada tanaman (Hasani *et al.*, 2021^b). Pemilihan tanaman yang digunakan pada penelitian ini yaitu yang masih muda, sehat dan bebas dari penyakit, ciri-cirinya dapat dilihat dari daun yang berwarna hijau cerah dan bagian-bagian tanaman yang masih lengkap. Kemudian untuk jerami padi yang telah dicuci bersih dikeringkan di bawah sinar matahari. Sebelum dimasukkan ke dasar kolam uji, jerami padi diwadahi paranet dan diberi pemberat agar jerami padi tidak mengapung ke permukaan air. Selanjutnya jerami padi diletakan di dasar kolam dengan ketinggian 3 cm secara merata, sehingga dengan adanya perlakuan tersebut diharapkan dapat memaksimalkan proses reduksi Fe^{2+} .

(c) Proses fitoremediasi

Proses remediasi dimulai saat tanaman dan jerami padi dimasukkan ke dalam kolam uji, menurut Krismono (1998). Konsentrasi logam Fe^{2+} yang sesuai untuk kegiatan budi daya ikan yaitu 0,02 mg/l. Selama berlangsungnya proses remediasi tidak dilakukan pergantian air, namun dilakukan penambahan air karena proses penguapan untuk menyamakan volume awal. Pengambilan sampel air dilakukan setiap tiga hari sekali, sedangkan biomassa tanaman uji dan jerami padi diambil pada awal dan akhir percobaan, untuk mengecek konsentrasi Fe^{2+} yang terkandung dalam air, tanaman dan jerami padi.

3. 4 Rancangan Respon

3.4.1 Konsentrasi besi (Fe)

Percobaan dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui respon tanaman *A. pin-nata*, *S. molesta*, *E. crassipes* dengan penambahan jerami padi dalam mereduksi Fe. Pengukuran konsentrasi Fe^{2+} dilakukan setiap 2 hari sekali, sedangkan konsentrasi Fe^{2+} pada tanaman dan jerami padi dilakukan pada awal dan akhir penelitian. Pengambilan sampel air pada kolam uji dilakukan dengan menggunakan botol kedap cahaya ukuran 500 ml, kemudian disimpan dalam ruangan bersuhu dingin, langkah ini bertujuan agar tidak terjadinya perubahan laju reaksi pada air sampel. Air diuji di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung mengacu pada metode EPA 200.7 Revisi 5 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

(1) Preparasi Sampel Air

- (a) Disiapkan labu destruksi 10 ml sebanyak satu buah.
- (b) Sampel sebanyak 10 ml diambil menggunakan pipet 10 ml dan dimasukkan ke labu destruksi.
- (c) HNO_3 (1+1) sebanyak 0,2 ml dan HCL (1+1) sebanyak 0,1 ml ditambahkan ke labu destruksi.
- (d) Labu destruksi di masukkan ke dalam *heavy metal digester*.
- (e) Sampel didestruksi dengan suhu $95^\circ C$ selama 30 menit.
- (f) Sampel ditunggu hingga dingin.
- (g) Sampel dipindahkan ke dalam labu ukur 10 ml menggunakan pipet 10 ml.
- (h) Jika ada endapan , sampel akan disaring menggunakan kertas saring Whatman no.41 (ukuran $0,45 \mu m$).
- (i) Volume sampel ditepatkan menjadi 10 ml menggunakan *aquapure water* dan kemudian dibiarkan semalaman.
- (j) Sampel dipindahkan ke botol HDPE 50 ml.
- (k) Sampel dipindahkan ke tabung auto sampler.
- (l) Sampel siap dianalisis.

(2) Preparasi sampel tanaman dan jerami padi

- (a) Sampel tanaman dan jerami padi dikeringkan dengan oven pada suhu 105° C selama 2 jam.
- (b) Untuk mencapai homogenitas, sampel kering ditumbuk menggunakan mortar.
- (c) Sampel sebanyak 1 g ditimbang dan dimasukkan ke dalam labu *heavy metal digester*.
- (d) HNO₃ (1+1) dan HCL (1+1) ditambahkan masing-masing 5 ml dan ditambahkan H₂O₂ sebanyak 3 ml.
- (e) Sampel didestruksi dengan suhu 95° C selama 30 menit.
- (f) Sampel dibiarkan hingga dingin.
- (g) Sampel disaring dengan kertas whatman No. 41.
- (h) Sampel dipindahkan ke labu 50 ml dan diencerkan dengan *utrapure water* hingga 25 ml.
- (i) Sampel dipindahkan ke botol HDPE.
- (j) Sampel dipindahkan ke tabung autosampler.
- (k) Sampel siap untuk dianalisis.

(3) Analisis Sampel

Sampel air yang telah didestruksi dianalisis menggunakan alat ICP-OES. Sampel dimasukkan ke autosampler kemudian diletakkan di alat ICP-OES, setelah itu memilih logam Fe²⁺ pada layar komputer untuk logam yang akan dianalisis dan ditunggu hingga proses selesai. Nilai konsentrasi Fe²⁺ akan otomatis ditampilkan pada layar monitor komputer, selanjutnya dihitung persentase efektivitas pengurangan konsentrasi Fe²⁺ dengan persamaan menurut (Sidek *et al.*,2018):

$$\text{Pengurangan Fe(\%)} = \frac{\text{Konsentrasi Fe Awal (C}_o\text{)} - \text{Konsentrasi Fe Akhir (C}_f\text{)}}{\text{Konsentrasi Fe Awal (C}_o\text{)}}$$

3.4.2 Faktor biokonsentrasi dan faktor translokasi

Faktor biokonsentrasi dan faktor translokasi dihitung untuk menilai apakah tumbuhan dapat dikategorikan sebagai akumulator (Mellem *et al.*, 2012). Faktor biokonsentrasi digunakan untuk memastikan konsentrasi Fe^{2+} yang diserap oleh tanaman. Nilai faktor biokonsentrasi dihitung dengan persamaan menurut (Ghosh dan Singh, 2005). sebagai berikut:

$$\text{Faktor Biokonsentrasi} = \frac{\text{Konsentrasi logam pada bagian tanaman (ppm)}}{\text{Konsentrasi logam di air (ppm)}}$$

Semakin tinggi nilai faktor biokonsentrasi maka akan semakin cocok tanaman tersebut digunakan untuk fitoremediasi (Ndimele *et al.*, 2011). Menurut (Testi, 2019) faktor translokasi dan faktor biokonsentrasi dapat digolongkan sebagai berikut: $\text{BCF} < 250$ kemampuan rendah; $1000 \geq \text{BCF} \geq 250$ = kemampuan sedang; $\text{BCF} > 1000$ = kemampuan tinggi.

Setelah didapatkan konsentrasi Fe^{2+} di air dan tanaman, dilanjutkan menghitung faktor translokasi untuk mengevaluasi potensi tanaman uji sebagai agen fitoremediasi. Nilai ini menunjukkan kemampuan tanaman untuk mentransfer logam dari bagian akar ke bagian batang dan daun, yang dihitung menggunakan persamaan menurut Handayani *et al* (2015):

$$\text{Faktor Translokasi} = \frac{\text{Konsentrasi logam di daun (ppm)}}{\text{Konsentrasi logam di akar (ppm)}}$$

Menurut Surakusumah *et al* (2020), jika nilai faktor translokasi < 1 dapat dikatakan tanaman kurang mampu menyerap dan mentransfer logam ke batang dan daun, sedangkan jika faktor translokasi > 1 dikatakan bahwa tanaman mampu mentransfer logam yang ada di akar ke batang dan daun.

3.4.3 Kualitas air

Parameter kualitas air yang diukur pada penelitian ini meliputi suhu, pH, dan DO. Pengukuran dilakukan pada setiap unit percobaan dengan frekuensi setiap dua

kali sehari yaitu pagi dan sore selama 12 hari perlakuan, proses pengukuran dilakukan secara *insitu*.

3.4.4 Analisis data

Data yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, serta diolah dengan menggunakan program Microsoft Excel. Pengaruh perlakuan terhadap parameter pengamatan (persentase penurunan konsentrasi Fe^{2+} di air, faktor biokonsentrasi, dan faktor translokasi) dianalisis menggunakan analisis sidik ragam (anova) pada tingkat kepercayaan 95% menggunakan Minitab 19. Apabila hasil uji antar perlakuan menunjukkan berbeda nyata atau tolak H_0 ($F_{\text{Hit}} > F_{\text{tabel}}$), maka dilakukan uji Duncan dengan tingkat kepercayaan 95%. Untuk data konsentrasi logam di tanaman, dan kualitas air di analisis secara deskriptif.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Penambahan jerami padi, pada percobaan fitoremediasi Fe^{2+} oleh tanaman air *A. pinnata*, *E. crassipes* dan *S. molesta* tidak efektif dalam mempercepat reduksi Fe^{2+} pada air eks galian pasir.
2. Tanaman *A. pinnata*, Eceng gondok (*E. crassipes*), kiambang (*S. molesta*) memiliki nilai faktor translokasi yang rendah oleh karena itu transfer logam dari akar ke organ lain kurang baik, dan cenderung akan diakumulasi di akar.
3. Berdasarkan nilai faktor biokonsentrasi, tanaman eceng gondok (*E. crassipes*) dan kiambang (*S. molesta*) memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap Fe^{2+} , sedangkan *A. pinnata* berkemampuan sedang dalam proses penyerapan Fe^{2+} .

5.2 Saran

Penambahan bahan organik seperti jerami padi tidak efektif dalam mempercepat proses remediasi Fe^{2+} , oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan adsorben yang berbeda agar proses remediasi Fe^{2+} oleh tiga jenis tanaman berbeda dapat efektif menurunkan konsentrasi Fe^{2+} , hingga pada konsentrasi yang layak untuk budi daya ikan.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Ainiyah, S. D., Lestari, I., dan Andini, A. 2018. Hubungan antara kadar besi (Fe) air tambak terhadap kadar besi (Fe) pada daging ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dan ikan bandeng (*Chanos chanos*). *Jurnal Saint Health*, 2(2): 21-28.
- Aka, H. A., Suhendrayatna., dan Syaubari. 2017. Penurunan kadar amonia dalam limbah cair oleh tanaman air tanaman obor (*Typha latifolia*). *Jurnal Ilmu Kebencanaan (JIKA)*, 4(3):72-75.
- Ali, H., Khan, E., dan Muhammad, A. 2013. Phytoremediation of heavy metals concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7): 681-869.
- Ali, S., Abbas, Z., Rizwan, M., dan Zaheer, I. E. 2020. Application of floating aquatic plants in phytoremediation of heavy metals polluted water: a review. *Sustainability Switzerland*, 12(5): 1-33.
- Amin, M., Hasan, D.S., Yanuario, O., Iqbal, dan M., Karda, W. I. 2016. Improving the quality of rice straw by ammoniation fermentation technology. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Peternakan Indonesia* 2(1): 96-103.
- Andini, Y., Larasati., Diah, R.T., Hendrawati., dan Nana, M. 2015. Fitoremediasi lahan tercemar logam Pb dan Cd dengan menggunakan jerami hasil fermentasi *trichoderma viride* yang dipapar radiasi sinar gamma dosis 250 gray. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah - Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir 2015*, hlm. 83-87.
- Aryani, F., Rustianti, S., dan Kartina, C. G. 2020. Cara pembuatan bokashi eceng gondok. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bumi Rafflesia*, 3(3): 448-452.
- Arnot, J. A., Frank, A. P. C., dan Gobas. 2006. A review of bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) assessments for organic chemicals in aquatic organisms. *Environmental Reviews*, 14(4): 257-297.
- Baldantoni, D., Cikatelli, A., Bellino, A., dan Stefano, C. 2014. Different behaviours in phytoremediation capacity of two heavy metal tolerant poplar clones in relation to iron and other trace elements. *Journal of Environmental Management*, 146(1): 94-99.

- Barus, T. A. Sinaga, S., dan Tarigan, R. 2008. Produktivitas primer fitoplankton hubungannya dengan faktor fisika-kimia air di perairan parapat. *Jurnal Biologi Sumatra* . 3(1): 11-16.
- Braunschwing, J., Bosch, J., dan Rainer, U. M. 2013. Iron oxide nanoparticles in geomicrobiology: from biogeochemistry to bioremediation. *New Biotechnology*, 4(1): 1-10.
- Dini, M. K., Rachmadiarti, F., dan Sunu, K. 2013. Sidoarjo the potential of rice straw as Pb adsorbent on wastewater of batik industry in Sidokare Sidoarjo. *Lentera Bio*, 5(2): 111-116.
- Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. 2013. *Paket Keahlian Budi Daya Krustacea Pengelolaan Kualitas Air*. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia. hlm. 247.
- Erviana, D., Budaya, W. A., Hariani, S., Winda, A., dan Yulia, L. 2018. Analisis kualitatif kandungan sulfat dalam aliran air dan air danau di kawasan Jakabaring Sport City Palembang. *ALKIMIA: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, 2(2): 1-4.
- Febrina, L., dan Ayuna, A. 2015. Studi penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) dalam air tanah menggunakan saringan keramik. *Jurnal Teknologi*, 7(1): 35-44
- Fuad, M. T., Aunurohim., dan Nurhidayati, T. 2013. Efektivitas kombinasi *Salvinia molesta* dengan *Hydrilla verticillata* dalam remediasi logam Cu pada limbah elektroplating. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 2(1): 240-245.
- Gelyaman, G. D. 2018. Faktor-faktor yang mempengaruhi bioavailabilitas besi bagi tumbuhan. *Jurnal Saintek Lahan Kering*, 1(1): 17-19.
- Ghosh, M., dan Singh, S. P. 2005. A comparative study of cadmium phytoextraction by accumulator and weed species. *Environmental Pollution*, 133(2), 365-371.
- Ginting., Badia, C. R., Saraswati, R., dan Husen, E. 2011. Mikroorganisme pelarut fosfat. *Jurnal Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*, 20(1): 141-158.
- Gonzalez, A. N., dan Guo, L. 2018. The potential of *lemna minor* to uptake iron in water. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 7(7): 268-273.
- Gupta, P., Roy, S., dan Amit, B. M. 2012. Treatment of water using water hyacinth, water lettuce and vetiver grass a review. *Resources and Environment*, 5(2): 202-215.
- Hamuna, B., Tanjung, R. H. R., Suwito., dan Maury, K. H. 2018. Concentration of ammonia, nitrate and phosphate in Depapre District waters Jayapura regency. *Enviro Scientiae*, 14(1): 8-15.
- Handayani., Dewi, T., dan Sukarjo. 2015. Translokasi unsur mikronutrien pada tanaman padi di Kabupaten Wonosobo. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek II*, hlm. 3-7.

- Hasani, Q., Pratiwi, N. T. M., Effendi, H., Wardiatno, Y., Guk Guk, J. A. R., Maharani, H.W., dan Rahman, M. 2021. *Azolla pinnata* as phytoremediation agent of iron (Fe) in ex sand mining waters. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*, 20(1): 1-12.
- Hasani, Q., Pratiwi, N. T. M., Wardiatno, Y., Effendi, H., Martin, A. N., Efendi, E., Pirdaus, P., dan Wagiran. 2021. Phytoremediation of iron in ex-sand mining waters by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Biodiversitas*, 22(2): 838–845.
- Hasani, Q., Pratiwi, M. T. N., Wardiatno, Y., Effendi, H., Yulianto, H., Yusuf, W. H., Caesario, R., dan Farlina. 2021. Assessment of water quality of the ex-sand mining sites Pasir Sakti sub district, East Lampung for tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 8(4): 3007-3014.
- Hartanti, I. P., Haji, S. T. A., dan Wirosoedarmo, R. 2014. The influence of plant density water hyacinth (*Eichornia crassipes*) againts metal loss chromium in tannery waste liquid. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 6(2): 31-37
- Hidayati, N. 2005. Fitoremediasi dan potensi tumbuhan hiperakumulator. *Hayati Journal of Biosciences*, 12(1): 35-40.
- Hutagalung, P. H. 1988. Pengaruh suhu air terhadap kehidupan organisme laut. *Oseana*, 30(4): 153-164.
- Ifa, L., Pakala, F. R., Burhan, R.W., dan Rafdi., A. M., 2020. Pemanfaatan sabut kelapa sebagai bioadsorben logam berat Pb (ii) pada air limbah industri. *Journal of Chemical Process Engineering*, 5(1): 54-60.
- Irawanto, R. 2010. Fitoremediasi lingkungan dalam taman Bali. *Jurnal Ilmah Online*, 2(4): 21-35.
- Irawanto, R., dan Sarwoko, M. 2015. Konsentrasi logam berat (Pb dan Cd) pada bagian tumbuhan akuatik Jeruju (*Acanthus ilicifolius*). *Prosiding Seminar Nasional Konservasi dan Pemanfaatan Sumber Daya Alam*, hlm. 147-155.
- Jayaweera, M. W., Kasturiarachchi, J. C., Kularatne, R., dan Wijeyekoon, S. 2008. Contribution of water hyacinth (*Eichornia crassipes*. Mart Solms) grown under different nutrient conditions to Fe removal mechanisms in constructed wetlands. *Journal of Environmental Management*, 87(3): 450-460.
- Kadim, M. K., Pasingi, N., dan Paramata, A. R. 2017. Kajian kualitas perairan Teluk Gorontalo dengan menggunakan metode storet. *Jurnal Ilmu-ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 6(3): 235-241.
- Kaewtubtim, P., Meeinkuirt, W., Seepom, S., dan Pichtel, J. 2016. heavy metal phytoremediation potential of plant species in a mangrove ecosystem in Patani Bay, Thailand. *Applied Ecology and Environmental Research*, 14(1): 367-82.

- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup no: 51 tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut. Deputi Menteri Lingkungan Hidup. Bidang Kebijakan dan Kelembagaan LH Jakarta.
- Khatri, N., Sanjiv, T., dan Deepak, R. 2017. Journal of water process engineering recent strategies for the removal of iron from water: a review. *Journal of Water Process Engineering*, 19(8): 291-304.
- Komarawidjaja, W. 2005. Pengaruh aplikasi konsorsium mikroba penitrifikasi terhadap konsentrasi amonia (NH_3) pada air tambak. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(2): 62:67.
- Krismono, N. S. A., Nuroniah, S., dan Kartamidharja, S. E. 1998. Kondisi biolimnologi sumber daya perairan kolong bekas galian pasir di Jawa Barat dan kesesuaiannya bagi budi daya perikanan. *Jurnal Perikanan Indonesia*, 4(1): 13-46.
- Lissy, M. P., dan Madhu, G. 2011. Removal of heavy metals from waste water using water hyacinth. *ACEEE Int. J. on Transportation and Urban Development*, 1(1): 48-52.
- Majid, M., Rahmi, A., Umar, R., dan Hengky, H. K. 2017. Efektivitas penggunaan karbon aktif dan penurunan kadar fosfat limbah cair usaha laundry di Kota Pare-Pare, Sulawesi Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Ikatan Alumni Kesehatan Masyarakat Ahmad Dahlan*, hlm. 23-31.
- Malik, A. 2017. Dampak eksploitasi sumber daya alam terhadap kesejahteraan masyarakat dalam pandangan etika bisnis islami (studi kasus tambang galian di Kecamatan Pasir Sakti, Lampung Timur). *Jurnal Kajian Islam Nizham*, 5(2): 58-76.
- Marhadi., Wibowo, H., dan Kurniawan, A.V. 2018. Analisis penurunan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dalam perbaikan kualitas air ditinjau dari parameter timbal (Pb) dan besi (Fe). *Jurnal Civronlit Universitas Batanghari*, 3(3): 82-88.
- Mellem, J. J., Baijnath, H., dan Bharti, O. 2012. Bioaccumulation of Cr, Hg, As, Pb, Cu and Ni with the ability for hyperaccumulation by *Amaranthus dubius*. *African Journal of Agricultural Research*, 7(4): 591-596.
- Muarif. 2016. Characteristics of water temperature in aquaculture pond. *Jurnal Mina Sains*, 2(2): 2407-9030.
- Murraya., Taufiq, N., dan Supriyantini, E. 2015. Kandungan logam berat besi (Fe) pada air, sedimen, dan kerang hijau (*Perna viridis*) di perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 18(1): 38-45.
- Mustofa, A. 2015. Kandungan nitrat dan pospat sebagai faktor tingkat kesuburan perairan pantai. *Jurnal Disprotek*, 6(1): 13-19.

- Nasution, S. A., Windarti., dan Efawani. 2019. Identification of macrophyta in the swamp area of the sawah village, Kampar Regency, Riau Province. *Asian Journal of Aquatic Sciences*, 2(2): 95:106.
- Ndimele, P, dan Jimoh, A . 2011. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*. Mart Solms) in phytoremediation of heavy metal polluted water of Ologe Lagoon, Lagos, Nigeria. *Research Journal of Environmental Sciences*, 5(5): 424-433.
- Nofrita, D., Dahelmi., Syandri, H., dan Tjong, D. H. 2013. Hubungan tampilan pertumbuhan dengan karakteristik habitat ikan bilih (*Mystacoleucus padangensis blekeer*). *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, hlm. 179-183.
- Nursyamsi, D. 2009. Effect of potassium and maize varieties on organic acid exudate from roots, plant N, P, and K uptakes, and plant dry weight of maize (*Zea mays*, l). *Jurnal Agronomi Indonesia*, 37(2): 107-114.
- Oktavia, Z., Budiyo., dan Dewanti, Y. N. 2016. Pengaruh variasi lama kontak fitoremediasi tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) terhadap kadar kadmium (Cd) pada limbah cair home industry batik "x" Magelang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (E-Journal)*, 5(4): 235-334.
- Pangesti, N.W., Pangastuti, A., dan Retnaningtyas, E. 2012. Pengaruh penambahan molase pada produksi enzim xilanase oleh fungi *Aspergillus niger* dengan substrat jerami padi. *Bioteknologi*, 9(2): 41-48.
- Pescod, M. B. 1973. Investigation of ration effluent and stream of tropical countries. Bangkok. *Asian Institute of Technology*, 25(2): 1-51.
- Purnamaningtyas, S. E. 2014. Distribusi konsentrasi oksigen, nitrogen dan fosfat di waduk Saguling, Jawa Barat. *LIMNOTEK-Perairan Darat Tropis di Indonesia*, 21(2): 125-134.
- Puspitaningrum, M., Izzati, M., dan Sri Haryanti. 2012. Produksi dan konsumsi oksigen terlarut oleh beberapa tumbuhan air. *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 20(1): 47-55.
- Putra, S. S. C. R., Rizal, A., dan Cahyadi, A.W. 2021. Design of meat freshness detection system based on odor and color. *e - Proceeding of Engeneering*, hlm.103-113
- Putri, M. D. F., Widyastuti, E., dan Christiani. 2014. Hubungan perbandingan total nitrogen dan total fosfor dengan kelimpahan *Chryosophyta* di perairan Waduk Panglima Besar Soedirman, Banjarnegara. *Scripta Biologica*, 1(1): 96-101.
- Putri, E. A. W., Purwiyanto, S. I. A., Fauziyah., Agustriani, F., dan Suteja, Y. 2019. Condition of nitrate, ammonia, phosphate, and BOD of Banyuasin River estuary, South Sumatra. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 11(1): 65-74.

- Puspita, U. R., Siregar, A. S. dan Hidayati, N. V. 2011. Kemampuan tumbuhan air sebagai agen fitoremediator logam berat kromium (Cr) yang terdapat pada limbah cair industri batik. *Jurnal Berkala Perikanan Terubuk*, 39(1): 58-64.
- Puspitasari, R., Natsir, M. S. 2016. *Kualitas Lingkungan untuk Lenung Budi Daya Biota Laut di Perairan Lombok Barat*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Alam (LIPI). Lombok, hlm. 201.
- Rahayu, B., Napitupulu, M., dan Tahril. 2013. Analysis of zine (Zn) and iron (Fe) in well water at ward Pantoloan District of North Palu. *Jurnal Akademika Kimia*, 2(1): 1-4.
- Rahmadian, F., dan Dharmawan, A. H. 2014. Ideologi aktor dan persepsi masyarakat terhadap dampak pertambangan pasir di pedesaan Gunung Galunggung. *Jurnal Sosiologi Pedesaan*, 2(2): 83-95.
- Ramadhan, T. M., Abdelsalam, M. G., dan Stern, R. J. 2001. Mapping gold bearing massive sulfide deposits in the Neoproterozoic Allaqi Suture Southeast Egypt with Landsat Tm And Sir-C/X Sar image. *Journal Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67(4): 491-497.
- Ratnani, D. R., Hartati, I., dan Kurniasari, L. 2011. Pemanfaatan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) untuk menurunkan kandungan COD (chemical oxygen demand), pH, bau, dan warna pada limbah cair tahu. *Momentum*, 7(1): 41-47.
- Richardson, E. A., dan Simpson, J. R. 2011. Soil microorganism mediating phosphorus availability. *Plant Physiology*, 156 (3): 989-996.
- Sadeghi, R., Zarkami, R., Sabetraftar, K., dan Damme, V. K. 2013. A review of some ecological factors affecting the growth of *Azolla sp.* *Caspian Journal of Environmental sciences*, 11(1): 65-76.
- Salmin. 2000. Oksigen terlarut (DO) dan kebutuhan oksigen biologi (BOD) sebagai salah satu indikator untuk menentukan kualitas perairan. *Oseana*, 30(3): 21-26.
- Sarma, H. 2011. Metal hyperaccumulator in plant: a review focusing on phytoremediation technology. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Lingkungan*, 4(2) :118-138.
- Sidauruk, L dan Sipayung, P. 2015. Phytoremediation of contaminated land at Medan industrial area by ornamental plants. *Jurnal Pertanian Tropik*, 2(2): 178-186.
- Sidek, N. M., Abdullah, S. R. S., Ahmad, N. U., Draman, S. F. S., Rosli, M. M. M., dan Sanusi, M. F. 2018. Phytoremediation of abandoned mining lake by water hyacinth and water lettuces in constructed wetlands. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 8(5): 87-93.
- Suarsana, I. M. 2011. Habitat dan niche paku air tawar (*Azolla pinnata linn.*) (suatu kajian komponen penyusun ekosistem sawah). *Widyatech Jurnal Sains dan Teknologi*, 11(2): 1-15.

- Sudjana, B. 2014. Penggunaan *azolla* untuk pertanian berkelanjutan. *Jurnal Ilmiah Solusi*, 1(2): 72-81.
- Suhono, B. 2010. *Ensiklopedia Flora Cetakan Pertama*. PT Kharisma Ilmu: Bogor, hlm. 204.
- Sukono, G. A., Hikmawan, F. R., Evitasari., dan Satriawan, D. 2020. Phytoremediation mekanisme: a review. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan*, 2(2): 40-46.
- Suherman, D. W., Suryaningtyas, D. T., dan Sri, M. 2015. Impact of sand mining to the land and water conditions at Sukaratu subdistrict, Tasikmalaya district. *Journal of Natural Resources and Environmental Management* 5(2): 99-105.
- Surakusumah, W., Nilawati, S. T., dan Khairunisa, R. 2020. Potensi *Alocasia macrorrhiza* sebagai fitoremediator logam kromium. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan* 11(2): 8-14.
- Supriatna., Mahmudi, M., Musa, M., dan Kusriani. 2020. Hubungan pH dengan parameter kualitas air pada tambak udang intensif udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*). *Journal of Fisheries and Marine Research*, 4(3), 368-374.
- Supriharyono. 2007. Konservasi Ekosistem Sumber Daya Hayati di Wilayah Pesisir dan Laut Tropis. *Pustaka Pelajar Yogyakarta*. Yogyakarta, hlm. 428.
- Sutrisno, C. T. 2004. Teknologi Penyediaan Air Bersih. PT Bina Aksara: Jakarta, hlm. 97.
- Syafrani. 2010. Tumbuhan lahan basah sebagai agen fitoremediasi dan kemampuannya menurunkan populasi limbah cair. *Jurnal Ilmiah Pertanian* 7(2): 1-12.
- Syahputra, R. 2005. Fitoremediasi logam Cu dan Zn dengan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*. Mart Solms). *Logika*, 2(2): 57-62.
- Syauqiah, I., Amalia, M., dan Kartini, H. A. 2011. Analisis variasi waktu dan kecepatan pengaduk pada proses adsorpsi limbah logam berat dengan arang aktif. *Info Teknik*, 12(1): 11-20.
- Swingle, H. S. 1968. Standardization of Chemical Analysis for Water and Pond Muds. *FAO Fisheries Report*, 44(4): 397-406.
- Tangahu, B.V., Abdullah, S. R., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., dan Mukhlisin, N. 2011. A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*, 3(1): 1-31.
- Testi, E. H., Soenardjo, N., Pramesti, R. 2019. Logam Pb pada *Avicennia marina forssk*, 1844 (*angiosperms : acanthaceae*) di lingkungan air, sedimen, di pesisir timur Semarang. *Journal of Marine Research*, 8(2): 211-217.

- Yuliani, D. E., Sitorus, S., dan Teguh, W. 2013. Analisis kemampuan kiambang (*Salvinia molesta*) untuk menurunkan konsentrasi ion logam Cu (ii) pada media tumbuh air. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 10(2): 68-73.
- Yuwono. 2010. Pandemi resistensi antimikroba: belajar dari MRSA. *Jurnal Kedokteran dan Kesehatan*, 42(1): 2837–2850.