

**EFEKTIVITAS FITOREMEDIASI BESI (Fe^{2+}) PADA AIR EKS GALIAN
PASIR OLEH JENIS TANAMAN AIR YANG BERBEDA DENGAN
PENAMBAHAN ARANG KAYU**

(SKRIPSI)

Oleh

**ARRASYID ALBIR SAGARA
1714201015**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRACT

THE EFFECTIVENESS OF IRON (Fe^{2+}) PHYTOREMEDIATION IN EX-SAND MINING WATER USING VARIOUS SPECIES OF AQUATIC PLANTS WITH THE ADDITION OF WOOD CHARCOAL

by

Arasyid Albir Sagara

The waters of the ex-sand mining lakes in Pasir Sakti District, East Lampung Regency, contains high concentration of iron (Fe^{2+}). High Fe^{2+} concentration, can have a negative impact on aquatic organisms. One of the efforts to reduce Fe^{2+} concentration in water can be in the form of remediation using aquatic plants (phytoremediation). However, phytoremediation by aquatic plant takes a long time to reduce Fe^{2+} in water, so it requires a combination. The purpose of this study was to examine the effectiveness of Fe^{2+} phytoremediation by different aquatic plants and the effect of adding wood charcoal to accelerate of Fe^{2+} reductions. The research was conducted in Rejomulyo Village, Pasir Sakti District, East Lampung Regency. Treatment were arranged using a completely randomized design, consisting of 4 treatment and 3 replications, i.e: A (control), B (wood charcoal and *Azolla pinnata* 50%), C (wood charcoal and *Salvinia. molesta* 50%), and D (wood charcoal and *Eichornia crassipes* 50%). The result showed that phytoremediation by aquatic plants with the addition of wood charcoal had a significant effect on the effectiveness of Fe^{2+} reduction in water. The results of Anova test showed that treatment A was significantly different from B, C, and D. While treatment B was not significantly different from C and D. The addition of wood charcoal in treatment B, C and D had been shown to accelerate the phytoremediation process. Treatment D could reduce Fe^{2+} up to 95.88% within 6 days of treatment. *E. crassipes* have a bioconcentration value of 3,545 so that treatment D (wood charcoal and *E. crassipes* 50%) was the best treatment in reducing Fe^{2+} in ex sand mining water

Keywords: *combination, phytoremediation, wood charcoal, water plants*

ABSTRAK

EFEKTIVITAS FITOREMEDIASI BESI (Fe^{2+}) PADA AIR EKS GALIAN PASIR OLEH JENIS TANAMAN AIR YANG BERBEDA DENGAN PENAMBAHAN ARANG KAYU

Oleh

Arasyid Albir Sagara

Perairan danau eks galian pasir di Kecamatan Pasir Sakti Kabupaten Lampung Timur mengandung konsentrasi Fe^{2+} yang tinggi. Kandungan Fe^{2+} yang tinggi, dapat berdampak negatif pada organisme di perairan tersebut. Salah satu upaya dalam mengurangi konsentrasi Fe^{2+} pada perairan dapat berupa remediasi menggunakan tanaman air (Fitoremediasi). Namun fitoremediasi menggunakan tanaman air membutuhkan waktu yang cukup lama dalam mengurangi Fe^{2+} pada air, sehingga membutuhkan kombinasi perlakuan. Tujuan pada penelitian ini adalah yaitu mengkaji poses efektivitas fitoremediasi Fe^{2+} oleh jenis tanaman yang berbeda serta pengaruh penambahan arang kayu terhadap percepatan reduksi Fe^{2+} . Penelitian ini dilaksanakan berlokasi di Desa Rejomulyo, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur. Perlakuan disusun menggunakan Rancangan acak lengkap terdiri dari 4 perlakuan dan 3 ulangan, yaitu perlakuan A (kontrol), B (arang kayu dan *Azolla pinnata* 50 %), C (arang kayu dan *Salvinia molesta* 50%), dan D (arang kayu dan *Eichornia crassipes* 50 %). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan fitoremediasi dengan penambahan arang kayu memberi pengaruh secara signifikan terhadap kecepatan reduksi Fe^{2+} pada air. Hasil uji Anova, menunjukkan bahwa perlakuan A berbeda nyata dengan perlakuan B, C, dan D. Tetapi perlakuan B tidak berbeda nyata dengan perlakuan C, dan D. Penambahan arang kayu pada perlakuan B, C, dan D terbukti dapat mempercepat proses fitoremediasi. Perlakuan D dapat menurunkan Fe^{2+} hingga 95,88% dalam waktu 6 hari perlakuan. Tanaman *E. crassipes* memiliki nilai biokonsentrasi 3.545 sehingga perlakuan D (arang kayu dan *E. crassipes* 50%) merupakan perlakuan terbaik dalam mereduksi Fe^{2+} pada air bekas penambangan pasir.

Kata kunci : kombinasi, fitoremediasi, arang kayu, tanaman air

**EFEKTIVITAS FITOREMEDIASI BESI (Fe^{2+}) PADA AIR EKS GALIAN
PASIR OLEH JENIS TANAMAN AIR YANG BERBEDA DENGAN
PENAMBAHAN ARANG KAYU**

Oleh

ARRASYID ALBIR SAGARA

Skripsi

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



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Efektivitas Fitoremediasi Besi (Fe^{2+}) pada Air Eks Galian Pasir oleh Jenis Tanaman Air yang Berbeda dengan Penambahan Arang Kayu

Nama : Arrasyid Albir Sagara

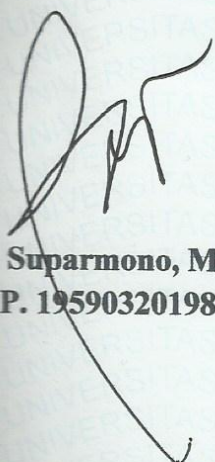
NPM : 1714201015

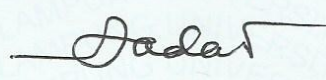
Program Studi : Sumberdaya Akuatik

Fakultas : Pertanian

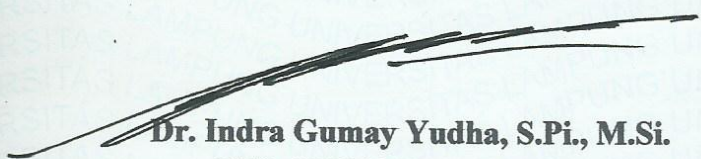


1. Komisi Pembimbing


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

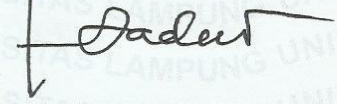
1. Tim Penguji

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



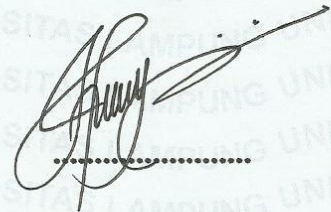
.....

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



.....

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

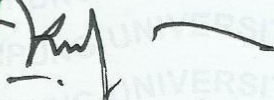


.....

2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP. 196110201986031002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 23 Desember 2021

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arrasyid Albir Sagara

NPM : 1714201015

Jusul Skripsi : Efektivitas Fitoremediasi Besi (Fe^{2+}) pada Air Eks Galian Pasir oleh Jenis Tanaman Air yang Berbeda dengan Penambahan Arang Kayu

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, 29 Januari 2022



Arrasyid Albir Sagara

RIWAYAT HIDUP



Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara yang dilahirkan di Desa Bumi Dipasena Agung, Kecamatan Rawajitu Timur, Kabupaten Tulang Bawang pada tanggal 26 Oktober 1998, dari pasangan Bapak Sariman dan Ibu Miss Dewi Urian. Penulis menyelesaikan pendidikan formal di Taman Kanak-Kanak (TK) Xaverius Bumi Dipasena Agung pada tahun 2005, Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 1 Bumi Dipasena Agung diselesaikan pada tahun 2011, Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Rawajitu Timur pada tahun 2014, dan Sekolah Menengah Kejuruan 2 Mei Bandar Lampung pada tahun 2017. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke 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 mata kuliah Manajemen Kualitas Air. Penulis juga telah mengikuti kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Cipta Mulya, Kecamatan Kebun Tebu, Kabupaten Lampung Barat 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 Komunikasi dan Informasi (Kominfo) di Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan (Himapik) periode 2018/2019 dan sebagai Kepala Bidang Kominfo di Himapik periode 2019/2020.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah rabbil 'alamin puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan berkah-Nya sehingga skripsi ini telah selesai sebagai syarat memperoleh gelar sarjana.

Kupersembahkan skripsi ini kepada:

Orang tua tercinta, Bapak Sariman dan Ibu Miss Dewi Urian

Kakakku tersayang, Ranggasena Tranggana

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

serta

Almamater tercinta, Universitas Lampung

MOTTO

Barang siapa yang mengerjakan kebaikan sekecil apapun, niscaya dia akan melihat (balasan)nya.

(Q.S Al-Zalzalah: 7)

“Kesempatan tidak datang dua kali, namun kesempatan datang pada orang yang tidak pernah berhenti mencoba”

(Dzawin Nur)

“Jangan pernah merasa tertinggal dan gagal, terus saja lakukan kebermanfaatan. Kita tidak pernah mengetahui garis selesainya kehidupan”

(NN)

SANWACANA

Alhamdulillahirabbil 'alamin puji syukur kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi yang berjudul “Efektivitas Fitoremediasi Besi (Fe^{2+}) pada Air Eks Galian Pasir oleh Jenis Tanaman Air yang Berbeda dengan Penambahan Arang Kayu” 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 terima-kasih 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 dan Pembimbing Akademik atas kesediannya untuk memberikan bimbingan, kritik, dan saran dalam proses penyelesaian skripsi ini;
4. Qadar Hasani, S.Pi., M.Si., selaku Pembimbing Kedua atas kesediannya untuk memberikan bimbingan, kritik, dan saran dalam proses penyelesaian skripsi ini;
5. Henni Wijayanti Maharani, S.Pi., M.Si., selaku Pembahas yang telah memberikan bimbingan, kritik, dan saran dalam penyelesaian skripsi ini;

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

Bandar Lampung, 29 Januari 2021



Arrasyid Albir Sagara

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Manfaat Penelitian.....	3
1.4. Kerangka Pikir	4
1.5. Hipotesis	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Tinjauan tentang <i>Azolla pinnata</i>	7
2.1.1. Klasifikasi dan Morfologi <i>Azolla pinnata</i>	7
2.1.2. Fisiologi <i>Azolla pinnata</i>	8
2.1.3. Ekologi <i>Azolla pinnata</i>	8
2.2. Tinjauan tentang <i>Eichhornia crassipes</i>	9
2.2.1. Klasifikasi dan Morfologi <i>Eichhornia crassipes</i>	9
2.2.2. Fisiologi <i>Eichhornia crassipes</i>	10
2.2.3. Ekologi <i>Eichhornia crassipes</i>	11
2.3. Tinjauan tentang <i>Salvinia molesta</i>	12
2.3.1. Klasifikasi dan Morfologi <i>Salvinia molesta</i>	12
2.3.2. Fisiologi <i>Salvinia molesta</i>	13
2.3.3. Ekologi <i>Salvinia molesta</i>	14
2.4. Fitoremediasi.....	14
2.5. Logam Besi	15
2.6. Arang Kayu	16
2.7. Nutrien pada Perairan	16
2.7.1. Amonia	16
2.7.2. Nitrat	17
2.7.3. Fosfat.....	18
2.7.4. Sulfat.....	18
III. METODE PENELITIAN	20
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	21
3.3. Rancangan Penelitian	21

3.3.1.	Rancangan Kolam Uji	21
3.3.2.	Rancangan Percobaan.....	21
3.3.3.	Rancangan Respon	24
3.4.	Analisis Data.....	27
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1.	Konsentrasi Fe ²⁺ dalam Air	30
4.2.	Kualiatas Air Kolam Percobaan.....	31
4.3.	Konsentrasi Fe ²⁺ Pada Tanaman Air	34
4.4.	Konsentrasi Fe Pada Arang Kayu	36
V.	PENUTUP	38
5.1.	Kesimpulan	38
5.2.	Saran.....	38
	DAFTAR PUSTAKA	39
	LAMPIRAN	47

DAFTAR TABEL

No	Halaman
1. Konsentrasi Fe^{2+} pada tiap perlakuan	28
2. Kualitas air pada tiap kolam perlakuan	31
3. Konsentrasi nutrisi pada kolam perlakuan	32
4. Berat tanaman (g) pada kolam uji dengan luas tutupan 50%	34
5. Konsentrasi Fe^{2+} (mg/kg) pada daun dan akar tanaman di awal dan akhir penelitian.....	34
6. Nilai translokasi dan biokonsentrasi tiap perlakuan	35
7. Konsentrasi Fe^{2+} pada arang kayu	37

DAFTAR GAMBAR

No	Halaman
1. Kerangka pikir penelitian	5
2. Tanaman air <i>Azolla pinnata</i>	7
3. Morfologi <i>Eichhornia crassipes</i>	10
4. Tanaman air <i>Salvinia molesta</i>	12
5. Danau eks galian pasir Desa Rejomulyo	20
6. Skema posisi rancangan kolam.....	22
7. Grafik penurunan konsentrasi Fe^{2+} di air	28
8. Grafik pesentase penurunan konsentrasi Fe^{2+} setelah 6 hari perlakuan	29
9. Proses pencarian tanaman <i>E.crassipes</i> disekitar lokasi penelitian.....	53
10. Proses pengambilan tanaman <i>S. molesta</i> di sekitar lokasi penelitian.....	53
11. Persiapan tanaman <i>A. pinnata</i>	53
12. Proses penyamarataan ukuran arang kayu $\pm 2 - 3$ cm.....	53
13. Proses penmbuatan kolam uji berbahan terpal	53
14. Penempatan arang kayu di kolam uji menggunakan paranet yang diberi pemberat	53
15. Proses pengisian kolam uji dengan air eks galian pasir	54
16. Penempatan <i>A. pinnata</i> , <i>S. molesta</i> , dan <i>E. crassipes</i> pada kolam uji	54
17. Pengecekan parameter kualitas air di kolam uji.....	54
18. Analisis sampel air eks galian pasir di LTSIT Universitas Lampung.....	54

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perekonomian Lampung pada tahun 2012 menguat hingga 6,53% meningkat di tiap tahunnya dengan rata-rata pertumbuhan 0,43% (BPS, 2013). Pertumbuhan ekonomi ini tidak terlepas dari kebutuhan pembangunan infrastruktur, sehingga pertambangan pasir banyak dilakukan seperti di Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur. Industri pertambangan merupakan salah satu industri yang diandalkan pemerintah Indonesia untuk mendatangkan devisa. Selain mendatangkan devisa, industri pertambangan juga menyerap lapangan kerja dan bagi kabupaten dan kota merupakan sumber pendapatan asli daerah (PAD) (Yudhistira *et al.*, 2011). Namun, pertambangan pasir berskala besar dan tidak mengindahkan aspek-aspek ekologis dapat berdampak buruk terhadap kondisi lingkungan dan ekosistem (Rahmadian dan Dharmawan, 2015). Penambangan pasir apabila tidak dikelola dengan baik, akan menimbulkan dampak negatif pada keseimbangan dan fungsi lingkungan. Dampak negatif yaitu seperti terjadinya pengikisan terhadap humus tanah, terbentuknya lubang-lubang besar, dan mengakibatkan erosi. Lubang-lubang tersebut selanjutnya terisi air hujan dan membentuk seperti danau (Hasibuan, 2006).

Degradasi lahan akibat pertambangan pasir dapat berdampak pada perubahan kondisi fisika, biologi, kimia air dan, tanah (Prasetyo *et al.*, 2010). Contoh dari perubahan kimia air adalah tercemarnya perairan pada sekitar lokasi pertambangan. Hasil pengukuran oleh Dinas Kelautan Perikanan Provinsi Lampung pada tahun 2017 di danau eks galian pasir Kecamatan Pasir Sakti menunjukkan bahwa, konsentrasi besi (Fe^{2+}) pada air di lahan eks galian pasir di Kecamatan Pasir berkisar

Antara 0,22-1,5 mg/l dan 1,75-3,36 mg/ 100 g daging ikan yang hidup pada bekas galian pasir tersebut. Hasil penelitian Hasani *et al.*,(2021^c) konsentrasi Fe^{2+} pada perairan bekas galian pasir berkisar 0,159-5,898 mg/l. Menurut Krismono *et al.* (1998) konsentrasi Fe^{2+} yang layak untuk kehidupan ikan, maksimum 0,02 mg/l. Hal ini bahwa konsentrasi Fe^{2+} pada perairan danau eks galian pasir di Kecamatan Pasir Sakti telah melebihi ambang batas yang diperbolehkan. Sesuai dengan SK Menteri Kelautan dan Perikanan RI No:35/Kepmen/KP/ 2013 bahwa Kecamatan Pasir Sakti telah ditetapkan sebagai daerah minapolitan di Lampung Timur. Maka perairan eks galian pasir tersebut berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sarana budi daya ikan. Sejalan dengan adanya program tersebut maka perlu adanya upaya dalam mengurangi konsentrasi Fe^{2+} pada perairan bekas galian pasir tersebut, agar layak untuk budi daya ikan.

Beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi kandungan Fe^{2+} dalam perairan antara lain dengan melakukan adsorpsi menggunakan karbon aktif (Kurniawan *et al.*, 2020). Adsorpsi merupakan metode yang efektif untuk mengatasi masalah pencemaran. Metode ini bergantung pada kemampuan permukaan adsorben untuk menarik molekul-molekul gas, uap atau cairan. Berbagai jenis adsorben karbon aktif telah berhasil dikembangkan dan terbukti mampu mengadsorpsi ion logam berat (Amor *et al.*, 2015). Bahan baku yang dapat dibuat menjadi karbon aktif adalah semua bahan yang mengandung karbon, baik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan, binatang ataupun barang tambang. Bahan-bahan tersebut adalah berbagai jenis kayu, sekam padi, tulang binatang, batu bara, tempurung kelapa, dan kulit biji kopi (Pambayun *et al.*, 2013). Hasil penelitian Ikhwan (2010), menunjukkan bahwa arang dapat mereduksi kadar besi dan mangan hingga 98%. Arang kayu terbukti dapat menjadi solusi bahan adsorben yang praktis agar masyarakat mudah memanfaatkannya, dan biaya pembuatannya relatif murah (Nopilda, 2019).

Cara lain yang dapat digunakan untuk mengurangi kandungan Fe^{2+} dalam perairan adalah dengan melakukan fitoremediasi menggunakan tanaman hijau (Ajibade *et al.*, 2013). Jenis tanaman yang dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi dapat berupa eceng gondok (*E. crassipes*) (Hasani *et al.*, 2021^a), tanaman azolla

(*A. pinnata*) (Hasani *et al.*, 2021^b), dan kiambang (*S.molesta*) (Diliarosta, 2018). Penerapan fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok pada air dapat menurunkan kadar Fe^{2+} hingga 97,96 % (Hasani *et al.*, 2021^a), sedangkan menggunakan tanaman *A. pinnata* dapat menurunkan kadar Fe^{2+} sebesar 93,3% selama 21 hari perlakuan (Hasani *et al.*, 2021^b), dan pada kiambang (*S.molesta*) dapat menurunkan kadar logam 51,3 % (Diliarosta, 2018). Berdasarkan hasil penelitian tersebut, maka fitoremediasi dianggap mampu mereduksi Fe pada perairan eks galian pasir. Demikian, proses reduksi Fe^{2+} pada perairan dengan waktu 21 hari masih tergolong lama sehingga, perlu adanya metode kombinasi antara fitoremediasi dengan adsorpsi untuk mempercepat proses reduksi Fe^{2+} pada perairan eks galian pasir di Kecamatan Pasir Sakti Kabupaten Lampung Timur.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini antara lain :

- (1) Mengkaji proses fitoremediasi menggunakan tanaman air (*A. pinnata*, *E. crassipes*, dan *S. molesta*) dengan penambahan arang kayu terhadap penurunan konsentrasi Fe^{2+} di air eks galian pasir.
- (2) Mengkaji pengaruh penambahan arang kayu terhadap efektivitas atau kecepatan proses fioremediasi Fe^{2+} pada air dari lahan eks galian pasir.
- (3) Menentukan nilai faktor translokasi dan biokonsentrasi Fe^{2+} pada tanaman air (*A. pinnata*, *E. crassipes*, dan *S. molesta*) untuk mengetahui jenis tanaman yang terbaik dalam mereduksi Fe^{2+} pada air eks galian pasir.

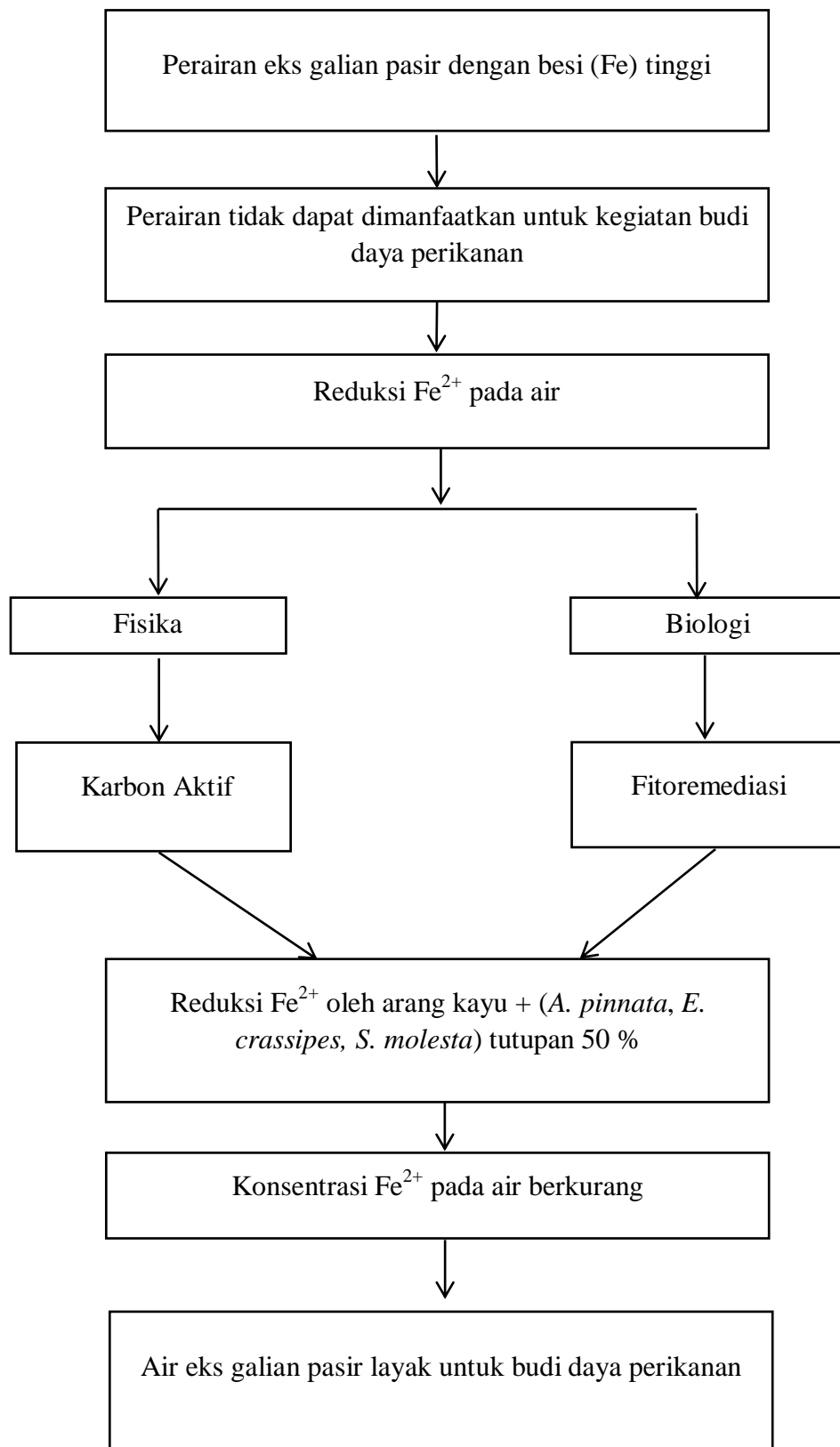
1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain :

- (1) Memberikan informasi tentang pemanfaatan arang kayu dan tanaman air untuk mereduksi besi (Fe^{2+}) di perairan bekas galian pasir Kecamatan Pasir Sakti Kabupaten Lampung Timur.
- (2) Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai metode yang efisien, untuk mereduksi besi (Fe^{2+}) pada air eks galian pasir Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur sehingga dapat digunakan untuk kegiatan budi daya perikanan

1.4 Kerangka Pikir

Penambangan pasir di Kecamatan Pasir Sakti menyebabkan terbentuknya cekungan luas yang seiring waktu terisi oleh air yang berasal dari air hujan dan air tanah. Air yang berada di danau eks galian pasir tersebut mengandung Fe^{2+} yang tinggi. Pengukuran oleh Dinas Kelautan Perikanan Provinsi Lampung pada tahun 2017 di perairan galian pasir Kecamatan Pasir Sakti, diperoleh hasil konsentrasi Fe^{2+} berkisar antara 0,22-1,54 mg/l di air, sedangkan pada penelitian Hasani *et al.* (2021^c) konsentrasi Fe^{2+} pada perairan lahan bekas galian pasir berkisar 0,159-5,898 mg/l. Kandungan Fe^{2+} sudah melampaui ambang batas untuk kegiatan budi daya ikan. Pada penelitian ini dilakukan upaya untuk menurunkan konsentrasi Fe^{2+} pada air menggunakan metode fitoremediasi dengan tanaman *A. pinnata*, *E. cressipes*, dan *S. molesta* luas tutupan 50 % (Hasani *et al.*, 2021^b) dengan perpaduan metode adsorpsi bahan karbon. Bahan adsorben yang digunakan adalah arang kayu yang ditempatkan di dasar kolam. Penelitian dilakukan selama 6 hari dan diukur kandungan logam setiap 3 hari sekali. Hasil konsentrasi Fe^{2+} di air, dianalisis dengan menggunakan *analysis of variance* (Anova) untuk mengetahui pengaruh perlakuan. Apabila hasil analisis diperoleh perbedaan yang signifikan maka dilakukan uji lanjut Duncan dengan tingkat kepercayaan 95%. 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 arang kayu 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 arang kayu pada proses fitoremediasi yang berbeda nyata terhadap terhadap persentase penurunan konsentrasi Fe^{2+} pada air eks galian pasir.

(2) Biokonsentrasi

H_0 : Semua $\tau_i = 0$

Pengaruh perlakuan penambahan arang kayu pada proses fitoremediasi tidak berbeda nyata terhadap faktor biokonsentrasi.

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

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

(3) Translokasi

H_0 : Semua $\tau_i = 0$

Pengaruh perlakuan penambahan arang kayu pada proses fitoremediasi tidak berbeda nyata terhadap faktor translokasi.

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

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

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan tentang *Azolla pinnata*

2.1.1 Klasifikasi dan morfologi *Azolla pinnata*

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

Kingdom : Plantae

Divisi : Pteridophyta

Classis : Pteridopsida

Ordo : Salviniiales

Famili : Azollaecae

Genus : *Azolla*

Spesies : *Azolla pinnata*

Tanaman azolla dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tanaman air *Azolla pinnata* (Sudjana, 2014)

Akar *A. pinnata* berbentuk runcing atau tajam terlihat seperti rambut atau bulu di atas air. Bentuk daunnya kecil dengan ukuran panjang sekitar 1–2 mm dengan posisi daun yang saling menindih. Permukaan atas daun berwarna hijau, coklat atau kemerah-merahan, dan permukaan bawah berwarna coklat transparan. Daun *A. pinnata* sering menampilkan warna merah marun ketika tumbuh dibawah sinar matahari penuh (Sudjana, 2014).

2.1.2 Fisiologi *Azolla pinnata*

Tanaman *A. pinnata* pada kelangsungan hidupnya bersimbiosis dengan endofitik *Cyanobacteria* yang dikenal dengan nama *Anabaena azollae*, simbiosis tersebut terdapat di dalam rongga daun *A. pinnata*. Di dalam rongga daun *A. pinnata* terdapat rambut epidermal yang berperan dalam kegiatan metabolisme *A. pinnata* dan *A. azollae* (Kodape *et al.*, 2021). *Anabaena* berada pada posisi ventral lobus dorsal setiap daun vegetatif. Endofit mengfiksasi nitrogen atmosfer dan terdapat disebelah dalam jaringan dari paku air tersebut. *A. azollae* mempunyai dua macam sel, yaitu sel vegetatif dan heterosis. Di dalam sel heterosis yang mengandung enzim nitrogenase *A. azollae* akan memfiksasi N_2 udara melalui adenosina trifospat (ATP) yang berasal dari peredaran fosforilasi. Dengan enzim ini maka *A. azollae* dapat mengubah nitrogen menjadi ammonia (NH_3) yang selanjutnya di-angkut ke inang (*Azolla*) (Sudjana, 2014).

Tanaman *azolla* merupakan sumber nitrogen, karena *azolla* mampu bersimbiosis dengan *Annabaena* sp, sedangkan *Annabaena* sp adalah salah satu jenis *blue-green algae* yang mampu berasosiasi dalam rongga daun paku air *azolla*, dan salah satu yang menarik adalah kemampuannya memfikasasi N dari udara (Kodape *et al.*, 2021) . Dalam rongga daun *A.pinnata* terdapat rambut-rambut epidermal yang berperan dalam kegiatan metabolisme. (Suarsana, 2011).

2.1.3 Ekologi *Azolla pinnata*

Tumbuhan *A. pinnata* adalah salah satu anggota famili Azollaceae dan ordo Salviniales yang hidup mengambang bebas di air tawar. Ada enam spesies dari *Azolla* yaitu *A. caroliniana*, *A. filiculoides*, *A. mexicana*, *A. microphylla*, *A. nilotica*, dan *A. pinnata*. Tumbuhan *azolla* biasanya ditemukan di daerah tropis dan

subtropis. Tumbuhan ini tumbuh secara alami di genangan air saluran, kanal, kolam, sungai, tanah rawa (Basak *et al.*, 2001). Tanaman azolla dapat tumbuh dengan cepat pada perairan yang subur. Namun pertumbuhannya dapat terhambat sekitar 27,0 – 33,9% apabila berada di perairan yang terkandung logam berat (Rai, 2008).

Tumbuhan *A. pinnata* tumbuh pada kisaran pH antara 5 - 8, temperatur optimum berkisar 25-30 °C, dengan intensitas sinar matahari 25-50% (20.000-40.000 lux). Selain itu, *A. pinnata* dapat bertahan sampai salinitas 10 ppt. Pertumbuhan *A. pinnata* akan terhambat bahkan mati jika berada di bawah suhu 5°C dan di atas temperatur 45°C. *Azolla* masih dapat tumbuh pada pH 3,5 -10 (Suarsana, 2011).

2.2 Tinjauan tentang *Eichhornia crassipes*

2.2.1 Klasifikasi dan morfologi *Eichhornia crassipes*

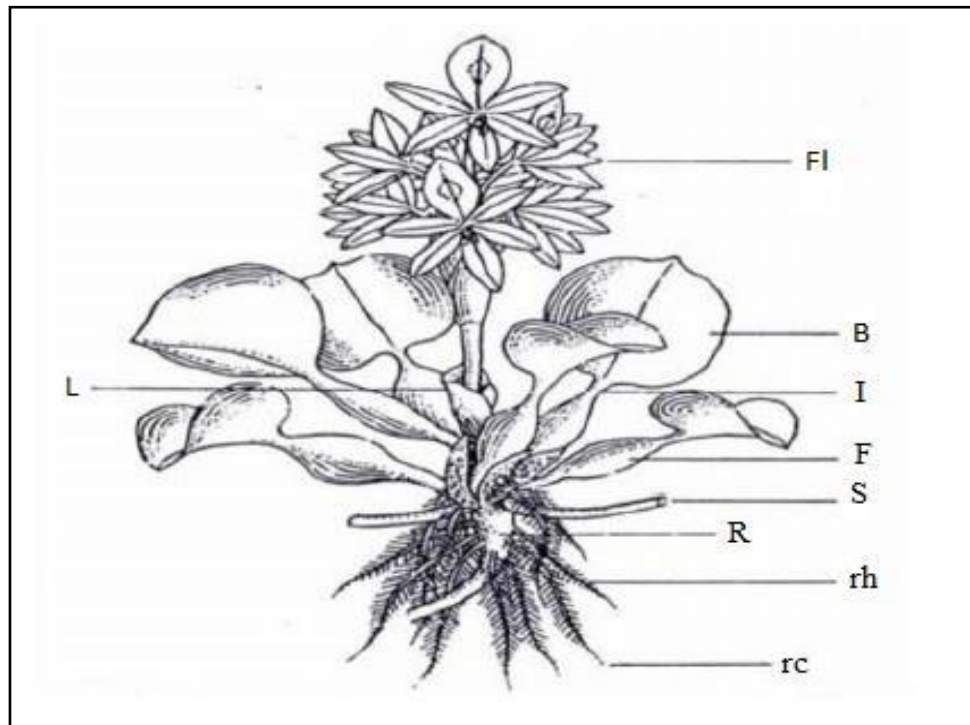
Klasifikasi eceng gondok menurut Suhono,(2010):

Kingdom : Plantae
 Super Divisi : Spermatophyta
 Divisi : Magnoliophyta
 Kelas : Liliopsida
 Ordo : Alismatales
 Famili : Pontederiaceae
 Genus : *Eichhornia*
 Spesies : *Eichhornia crassipes* Solms

Eceng gondok (*E. crassipes*) merupakan tumbuhan yang hidup di perairan terbuka. Tumbuhan ini hidup mengapung di permukaan air dan berakar di dalam air. Perkembangbiakan eceng gondok terjadi secara seksual maupun aseksual. Saat kondisi yang baik, eceng gondok dapat bereproduksi berlipat ganda dalam 5-15 hari (Koutika dan Rainey, 2015). Eceng gondok memiliki keunggulan dalam kegiatan fotosintesis, penyediaan oksigen, dan penyerapan sinar matahari. Bagian dinding permukaan akar, batang, dan daunnya memiliki lapisan yang sangat peka sehingga pada kedalaman yang ekstrem sampai 8 meter di bawah permukaan air masih mampu menyerap sinar matahari serta zat-zat yang larut di bawah

permukaan air. Akar, batang, dan daunnya juga memiliki kantung-kantung udara sehingga mampu mengapung di permukaan air (Ratnani, 2012).

Morfologi eceng gondok dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Morfologi eceng gondok

Keterangan : (Fl= Bunga (*flower*), B=Helai daun (*leaf blade*), F= Pengapung (*float*), I= Leher daun (*Isthmus*), L= Ligula, R= Akar (*Root*), rh = Akar rambut (*root hair*), rc = Ujung akar, S=*Stolon*)

Sumber : Suhono (2010)

2.2.2 Fisiologi *Eichhornia crassipes*

Ciri khusus yang pertama tumbuhan eceng gondok (*E. Crassipes*) adalah akarnya. Eceng gondok memiliki akar serabut tetapi tidak bercabang. Akar ini berfungsi untuk menjerat lumpur di dalam air. Pada akar ini terdapat tudung yang sering disebut juga sebagai tudung akar. Panjang akar eceng gondok dapat mencapai 30 – 60 cm (Suraya, 2020). Eceng gondok juga memiliki bulu-bulu yang tumbuh pada akarnya yang dapat berfungsi sebagai jangkar pada tanaman. Di ujungnya, terdapat kantung akar yang jika terkena sinar matahari akan berwarna kemerahan. Eceng gondok memiliki daun tunggal, bentuk oval dengan pangkal runcing (*acumintus*), berwarna hijau, bertangkai, dan permukaan mengkilat yang tersusun di

atas roset akar. Tepi daunnya rata (tidak bergerigi) dengan panjang sekitar 7 - 25 cm. Daun eceng gondok memiliki lapisan rongga udara sehingga dengan mudah membuatnya mengapung di atas permukaan air (Deswandri dan Fadhillah, 2018).

Perkembangbiakan eceng gondok umumnya dengan secara vegetatif, yaitu menggunakan stolon. Kondisi optimum bagi eceng gondok untuk memperbanyak jumlah di perairan memerlukan waktu antara 11-18 hari. Perairan yang ditumbuhi eceng gondok mengakibatkan perairan kaya CO₂ (Koutika dan Rainey, 2015) karena pertumbuhannya yang begitu cepat sehingga dapat menutupi seluruh perairan, akibatnya jumlah cahaya yang masuk ke dalam air akan semakin berkurang dan tingkat kelarutan oksigen pun akan berkurang. Rumpun anakan akan memproduksi CO₂ sampai 39% lebih banyak dibandingkan dengan tanaman induk. Peningkatan CO₂ ini mengawali rata-rata bersih fotosintesis (Haryanti *et al.*, 2006).

2.2.3 Ekologi *Eichhornia crassipes*

Eceng gondok (*E. crassipes*) merupakan tumbuhan gulma di wilayah perairan yang hidup terapung pada air yang dalam. Eceng gondok memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi sehingga tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang dapat merusak lingkungan perairan (Tewebe *et al.*, 2017). Eceng gondok berkembangbiak dengan sangat cepat, baik secara vegetatif maupun generatif. Perkembangbiakan dengan cara vegetatif dapat melipat ganda dua kali dalam waktu 7-10 hari (Steffany, 2013).

Eceng gondok pertama kali ditemukan secara tidak sengaja oleh seorang ilmuwan bernama Carl Friedrich Philipp von Martius, seorang ahli botani berkebangsaan Jerman pada tahun 1824 ketika sedang melakukan ekspedisi di Sungai Amazon Brasil. *E. crassipes* menyebar dari asalnya di Amerika Selatan dan terjadi di danau, sungai yang berarus lambat, dan rawa-rawa di dunia antara 40° LU dan 40° LS. Spesies ini telah menjadi gulma perairan tropis yang tersebar luas dan diakui sebagai gulma air terburuk di dunia (Koutika dan Rainey, 2015). Eceng gondok memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi dengan mudah menyebar melalui saluran air ke badan air lainnya (Rondonuwu, 2014). Menurut Kris dan Warningsih (2011), eceng gondok merupakan salah satu jenis tumbuhan air yang mudah

tumbuh di perairan tercemar dengan perkembangan dan pertumbuhannya sangat cepat sehingga dapat dimanfaatkan manusia untuk mengatasi pencemaran yang disebabkan oleh limbah industri maupun limbah rumah tangga.

2.3. Tinjauan tentang *Salvinia molesta*

2.3.1 Klasifikasi dan morfologi *Salvinia molesta*

Menurut (Yuliani *et al.*, 2013) klasifikasi tumbuhan *S. molesta* adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Subkingdom : Tracheobionta
Divisi : Pteridophyta
Kelas : Filicopsida
Ordo : Hydropteridales
Familia : Salviniaceae
Genus : *Salvinia* Seg.
Spesies : *Salvinia molesta*

Tanaman *S. molesta* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Tanaman air *Salvinia molesta* (Yuliani, 2013)

Kiambang (*S. molesta* DS Mitchell (Salviniaceae) adalah tumbuhan rhizomatous steril, karena sifatnya yang mengambang bebas. *S. molesta* juga disebut salvinia raksasa, adalah gulma akuatik bermasalah yang berasal dari Brasil bagian tenggara dan berada di antara garis lintang 24° dan 32° LS. Spesies ini, merupakan pakis yang mengambang bebas dengan cepat menutupi serta mendominasi suatu perairan yang tergenang dan mengalir lambat serta dapat menyumbat saluran air (Koutika dan Rainey, 2015). Secara morfologi *S. molesta* berbentuk kecil, lonjong, memiliki daun di sepanjang batang, memiliki batang yang bercabang tumbuh mendatar, berbuku-buku, ditumbuhi bulu dan panjangnya dapat mencapai 30 cm. Di setiap buku terdapat sepasang daun yang mengapung dan sebuah daun yang tenggelam. Daun yang mengapung berbentuk oval, dengan panjang rata-rata sekitar 2 - 4 cm. Jumlah daun 12 - 20 helai pada cabang batang. *S. molesta* memiliki akar menggantung dan berbentuk serabut serta panjang akar 2 -7 cm (Suraya, 2020).

2.3.2 Fisiologi *Salvinia molesta*

Tumbuhan *S. molesta* adalah pakis yang sangat invasif dan mengambang bebas yang membentuk koloni padat yang berpotensi berdiri sendiri (ramets). Ramet merupakan individu tumbuhan baru yang dihasilkan melalui reproduksi aseksual, Setiap ramet terdiri dari sepasang daun yang melayang (pelepah) yang menyerupai sebuah liontin (Room dan Thomas, 1986). *S. molesta* memiliki lapisan trikoma yaitu kelenjar pemukul telur (bulu daun) pada permukaan atas yang berfungsi agar daun terapung dan anti air. Daun yang tenggelam memiliki bentuk seperti akar, menggantung dengan panjang mencapai 8 cm dan berfungsi menangkap unsur hara dari air seperti akar (Li *et al.*, 2018).

Mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan *S. molesta* dapat dibagi menjadi tiga proses yang berkesinambungan, yaitu: (i) penyerapan oleh akar lewat pembentukan suatu zat kelat yang disebut fitosiderofor (Nagata, 2017). Molekul fitosiderofor yang terbentuk ini akan mengikat logam dan membawanya ke dalam sel akar melalui peristiwa transport aktif; (ii) translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain melalui jaringan pengangkut, yaitu: xilem dan floem; (iii) lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut (Fuad *et al.*, 2013)

2.3.3 Ekologi *Salvinia molesta*

Tanaman air dari genus *Salvinia* (*Salvinaceae*) terdiri dari sepuluh spesies. Tumbuhan ini mayoritas tumbuh di badan air tawar daerah tropis dan subtropis, terutama di Afrika dan Amerika Selatan (Choudhary *et al.*, 2008). Tumbuhan ini dinaturalisasi di Amerika Utara, Texas, dan Louisiana tahun 1999. Sejak itu telah ditemukan di Alabama dan Mississippi dan dari Sungai Colorado bagian bawah, berbatasan dengan Arizona dan California (Jacono *et al.*, 2001).

S. molesta merupakan salah satu jenis tumbuhan *invasive* asing yang berasal dari Amerika Selatan. *S. molesta* atau yang sering disebut kiambang merupakan salah satu jenis tanaman air yang dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi logam berat nonesensial seperti kadmium (Cd) dan kromium (Cr) yang terdapat pada limbah cair serta mampu beradaptasi pada lingkungan dengan kondisi salinitas rendah (<10‰) (Shidiq, 2018).

2.4 Fitoremediasi

Fitoremediasi berasal dari bahasa Yunani dari kata fito yang berarti tanaman, dan remedium dari bahasa Latin yang berarti memulihkan keseimbangan atau perbaikan (Rondonuwu, 2014). Fitoremediasi adalah penggunaan tanaman untuk membersihkan kontaminasi tanah, sedimen di air. Fitoremediasi juga dikenal sebagai *green clean*, yaitu strategi yang bertujuan untuk menghilangkan pencemaran limbah dari lingkungan dengan menggunakan tanaman hijau (Ndimele *et al.*, 2011). Penerapan fitoremediasi merupakan teknologi ramah lingkungan dan berpotensi hemat biaya. Tanaman yang digunakan dengan kapasitas akumulasi logam yang tinggi dikenal sebagai tanaman hiperakumulator (Tangahu *et al.*, 2011).

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

Phytoextraction : merupakan proses penarikan zat kontaminan oleh akar dari media tanah atau air sehingga akan berakumulasi di sekitar akar.

- Rhizofiltration* : adalah proses penyerapan atau pengendapan zat kontaminan untuk menempel pada akar .
- Phytostabilisation* : proses digunakan oleh beberapa jenis tanaman untuk mengurangi mobilitas zat kontaminan tertentu di tanah atau air melalui proses penyerapan dan menariknya ke akar. Zat yang menempel di akar tidak lepas oleh erosi dan deflasi.
- Rhizodegradation* : proses penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroorganisme yang berada di sekitar akar tumbuhan. Misalnya fungi, atau bakteri.
- Phytodegradation* : proses yang dilakukan tumbuhan untuk mengurai zat kontaminan oleh tanaman yang dibantu oleh enzim seperti enzim dehalogenase dan oksigenase.
- Phytovolatilization* : proses menarik dan transpirasi zat kontaminan oleh tumbuhan dalam bentuk zat yang telah terurai oleh proses sebelumnya untuk selanjutnya akan di uapkan ke atmosfer.

2.5 Logam Besi

Besi (Fe) merupakan logam berat esensial yang keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebih dapat menimbulkan efek racun. Besi (Fe) adalah salah satu elemen yang dapat ditemui hampir pada setiap tempat di bumi, pada semua lapisan geologis dan semua badan air. Besi (Fe) secara alami merupakan elemen yang melimpah di alam, Fe bersifat resisten korosif, padat dan memiliki titik lebur yang rendah. Apabila terakumulasi di dalam tubuh, Fe dapat menyebabkan beberapa gangguan kesehatan. Kandungan 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, di air laut sekitar 1 – 3 ppb, dan pada air minum tidak lebih dari 200 ppb (Nurhaini dan Affandi, 2017).

Bentuk besi dalam air dibedakan berdasarkan atas bentuk mineral, kelarutan, dan sifat kimianya. Dalam bentuk mineralnya, besi berikatan dengan silika dalam bentuk pyroxene ($\text{Fe}(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$), amphibole (SiO_4), biotite $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{F}, \text{OH})_2$, dan olivine $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$. Berdasarkan kelarutannya di dalam air, besi

umumnya dalam bentuk terlarut sebagai Fe^{2+} dan dalam bentuk tidak terlarut sebagai Fe^{3+} . Bentuk Fe^{2+} atau *ferrous* merupakan bentuk yang dapat diserap oleh tanaman (Syafuruddin, 2011), sedangkan Fe^{3+} atau *ferric* merupakan hasil oksidasi dari Fe^{2+} yang tidak dapat diserap oleh tanaman. Perubahan bentuk besi dari bentuk yang tidak dapat diserap atau tidak larut di dalam air menjadi bentuk yang dapat larut sehingga dapat diserap oleh tanaman tidak lepas dari proses oksidasi. Proses ini dapat dipengaruhi oleh nilai pH dan DO. Hal ini yang dapat menyebabkan berkurangnya besi di air. Besi juga dapat berbentuk besi (II) atau besi (III) hidroksida karena bereaksi dengan air yang akan mengendap dan sulit untuk diserap oleh tanaman (Khatri *et al.*, 2017).

2.6 Arang Kayu

Arang adalah residu yang terjadi dari hasil penguraian kayu akibat panas yang sebagian besar komponen kimianya adalah karbon. Proses penguraian panas ini dapat dilakukan dengan jalan memanasi bahan langsung atau tidak langsung di dalam tumpukan, kiln atau tanur (Lempang, 2014). Proses karbonisasi menjadi arang dapat menghilangkan senyawa volatil dan kelembaban sehingga menghasilkan karbon sisa dengan proporsi yang lebih tinggi (Salim, 2016).

Antara banyak teknik pembersihan untuk pengolahan air, teknik adsorpsi banyak digunakan untuk menghilangkan beragam kontaminan. Karbon aktif komersial adalah adsorben yang disukai digunakan untuk menghilangkan kotoran dari larutan cair. Namun, penggunaannya secara luas dibatasi karena biayanya yang tinggi sehingga diperlukan adanya bahan adsorben berbiaya rendah nonkonvensional sebagai alternatif (Wang *et al.*, 2010). Arang kayu juga mempunyai sifat adsorben seperti halnya pada arang aktif. Arang kayu dapat dimanfaatkan sebagai media penyaring air yang dapat menurunkan kadar besi (Ikhwan, 2010).

2.7 Nutrien pada Perairan

2.7.1 Amonia

Amonia sangat beracun bagi hampir semua organisme. Amonia dapat bersifat racun pada manusia jika jumlah yang masuk tubuh melebihi jumlah yang dapat

didetoksifikasi oleh tubuh. Pada manusia, resiko terbesar adalah dari penghirupan uap amonia yang berefek, diantaranya iritasi pada kulit, mata dan saluran pernapasan. Pada tingkat yang sangat tinggi, penghirupan uap amonia sangat bersifat fatal (Azizah dan Humairoh, 2015). Keberadaan amonia dalam air yang melebihi ambang batas dapat mengganggu ekosistem perairan dan mahluk hidup lainnya (Harahap, 2013).

Amonia di dalam perairan dapat berasal dari banyaknya kandungan urea dan proses amonifikasi yang berasal dari dekomposisi bahan organik oleh mikroba (Aprianty, 2013). Masukan urea dalam perairan sebagian besar disebabkan adanya aktivitas penduduk sekitar. Beberapa masyarakat yang menggunakan pupuk urea untuk pertanian sehingga limpasan dari daratan yang mengandung urea relatif besar di perairan. Konsentrasi amonia yang dapat ditoleransi oleh ikan berkisar yaitu tidak lebih dari 0,2 mg/l (Riyadhi *et al.*, 2019).

2.7.2 Nitrat

Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) adalah bentuk nitrogen utama di perairan alami. Nitrat merupakan salah satu nutrisi senyawa yang penting dalam sintesa protein hewan dan tumbuhan (Hamuna *et al.*, 2018) sehingga dapat menjadi indikator untuk mengevaluasi kualitas dan tingkat kesuburan perairan. (Patty *et al.*, 2015). Nitrat yang berasal dari ammonium masuk ke dalam badan sungai, terutama melalui limbah domestik, konsentrasinya di dalam sungai akan semakin berkurang bila semakin jauh dari titik pembuangan yang disebabkan adanya aktivitas mikroorganisme di dalam air, contohnya bakteri nitrosomonas (Mustofa, 2015).

Senyawa nitrogen dalam perairan mempunyai beberapa bentuk persenyawaan yaitu nitrogen anorganik yang terdiri atas nitrogen bebas (N_2), amonium (NH_4^+), amoniak (NH_3), nitrit (NO_2^-), nitrat (NO_3^-), dan nitrogen organik berupa protein, asam amino, dan urea (Nugroho *et al.*, 2014). Kandungan nitrat memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan tanaman air yang tumbuh pada perairan (Purnamawati *et al.*, 2019), namun dapat mencemari perairan apabila melebihi 5 mg/l (Tatangindatu *et al.*, 2013).

2.7.3 Fosfat

Fosfat merupakan senyawa yang sangat penting bagi kehidupan organisme. Fosfat antara lain berfungsi dalam sistem genetis sebagai penyimpan dan transfer energi dalam sel (Nugroho *et al.*, 2014). Secara alami ketersediaan fosfat tidak banyak di kulit bumi. Namun demikian, banyak aktivitas manusia yang menghasilkan fosfat dan dibuang ke lingkungan sebagai limbah (Habibi *et al.*, 2014). Limbah yang mengandung fosfat dapat masuk ke perairan danau melalui aliran sungai.

Fosfat dan bahan organik sering digunakan sebagai indikator kualitas air dan tingkat kesuburan suatu perairan. Salah satu bentuk fosfat di perairan adalah orthofosfat (Habibi *et al.*, 2014). Fosfat dapat memicu pertumbuhan alga pada air, apabila terjadi pertumbuhan yang berlebihan maka akan menyebabkan sulitnya sinar matahari untuk masuk ke dalam air dan terganggunya proses fotosintesis (Utomo *et al.*, 2018). Selain itu, alga menyebabkan kurangnya oksigen bagi makhluk hidup dalam air karena oksigen yang digunakan oleh alga tersebut. Batas konsentrasi fosfat yang belum berbahaya bagi organisme perairan $\leq 10\text{mg/l}$ (Majid *et al.*, 2017).

2.7.4 Sulfat

Sulfat pada prinsipnya berasal dari penguraian organik berupa protein yang mengandung sulfur yang dipecahkan menjadi asam-asam amino dan kemudian diuraikan lagi sehingga menghasilkan sulfat dan sulfid. Sulfat merupakan salah satu parameter kimia yang juga berpengaruh terhadap produktivitas primer di wilayah esturia (Supriadi, 2001). Sulfat (SO_4) berasal dari sulfur yang terdegradasi secara anaerob sehingga membentuk hidrogen sulfida (H_2S). Sulfur tersebut berasal dari limbah organik yang dihasilkan dari pertanian, limbah ternak ataupun limbah industri, serta dari daerah perkotaan. Hidrogen sulfida akan teroksidasi oleh bakteri yang berfotosintesis sehingga menghasilkan sulfat (Nuzula *et al.*, 2021).

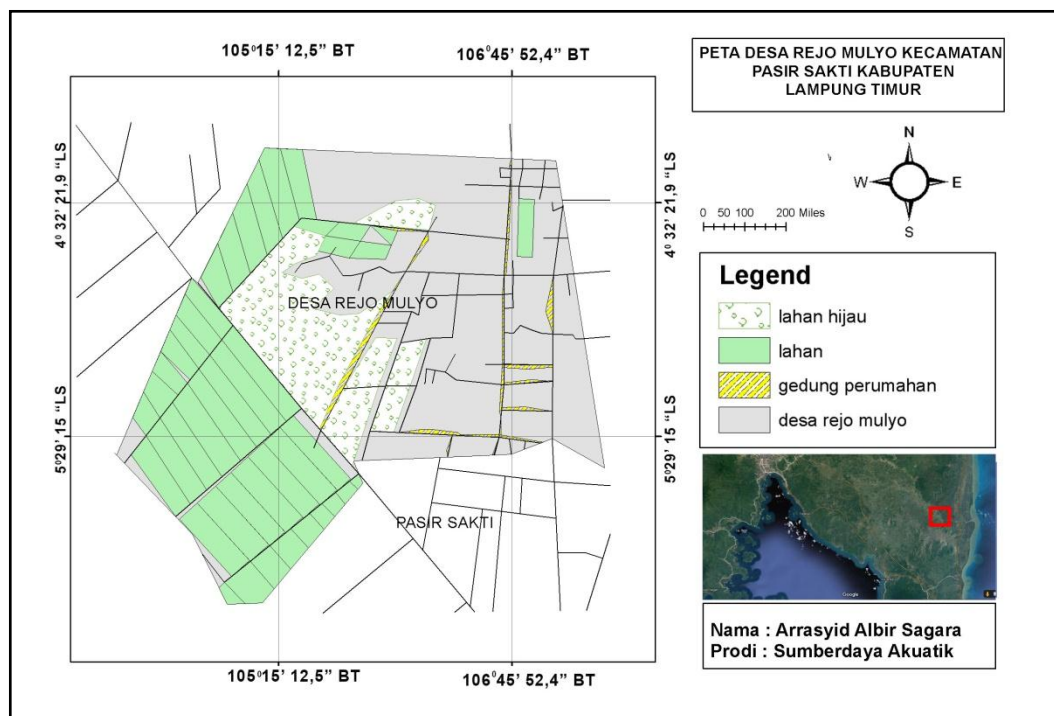
Jumlah ion sulfat pada air minum yang berlebihan dapat menyebabkan efek cuci perut pada manusia. Selain itu kehadiran sulfat dapat menimbulkan masalah bau dan korosi pada pipa air buangan (Sulistiyorini *et al.*, 2016) Berdasarkan baku mu-

tu air, banyaknya sulfat di perairan tidak dipersyaratkan terutama untuk kelas II, III, dan IV (Karolina dan Gunawan, 2019).

III. BAHAN DAN METODE

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan Desa Rejomulyo, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur yang secara geografi terletak pada titik koordinat $105^{\circ}15'12''$ BT – $106^{\circ}45'52,4''$ BT dan $4^{\circ}32'21,9''$ LS – $5^{\circ}29'15''$ LS. Penelitian dilakukan pada bulan April 2021. Pengukuran kualitas air dilakukan secara *in situ*, sedangkan untuk pengujian konsentrasi Fe^{2+} pada air dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Danau eks galian pasir di Desa Rejomulyo, Kecamatan Pasir Sakti Kabupaten Lampung Timur

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kolam terpal ($2,5 \times 1,5 \times 0,75$ m³), pompa air, ember, termometer digital, pH meter, DO meter, botol sampel air, dan *cool box*. Adapun bahan yang digunakan adalah air yang diambil dari bekas galian pasir di Kecamatan Pasir Sakti, air bersih, arang kayu, tumbuhan azolla (*A. pinnata*), eceng gondok (*E. crassipes*), dan kiambang (*S. molesta*).

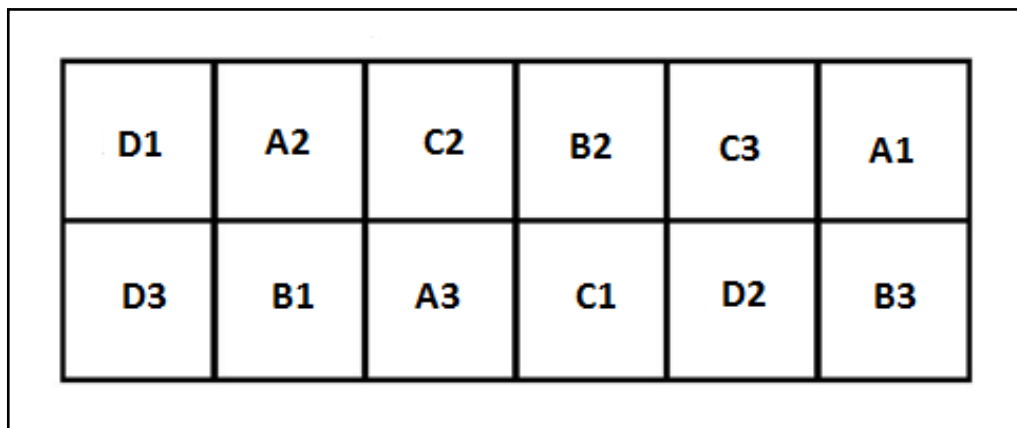
3.3 Rancangan Penelitian

3.3.1 Rancangan kolam uji

Penelitian ini dilaksanakan pada lingkungan terbuka yang terkontrol (*semi outdoor*). Kontrol pada lingkungan berupa pengukuran kualitas fisik air harian sehingga media percobaan dan kondisi lingkungan homogen. Rancangan percobaan pada penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan 4 perlakuan dan 3 kali ulangan sehingga jumlah unit percobaan sebanyak 12 unit dengan asumsi media percobaan dan kondisi lingkungan yang homogen. Sebelum perlakuan dilaksanakan, kolam dicuci, dikeringkan, dan disusun menggunakan rancangan acak lengkap (RAL). Menurut Harsojuwono *et al.* (2011) Penyusunan tersebut sesuai syarat dalam rancangan acak lengkap (RAL), yaitu:

- (1) Kecuali perlakuannya, semua (media percobaan dan keadaan-keadaan lingkungan lainnya) harus serba sama atau homogen.
- (2) Penempatan perlakuan ke dalam satuan-satuan percobaan dilakukan secara acak lengkap, yang artinya semua satuan percobaan diperlakukan sebagai satu kesatuan dimana perlakuan ditempatkan ke dalamnya secara acak.
- (3) Hanya mempunyai 1 faktor dan mempunyai sejumlah taraf faktor yang nilainya bisa kualitatif maupun kuantitatif.

Penentuan posisi kolam uji ditentukan dengan cara pengacakan menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel*. Skema posisi rancangan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema posisi rancangan kolam

3.3.2. Rancangan percobaan

Penelitian ini menggunakan tanaman *A. pinnata*, *E. crassipes*, *S. molesta* sebagai agen fitoremediasi besi (Fe^{2+}) dengan penambahan arang kayu pada kolam uji. Perlakuan yang digunakan berdasarkan jenis tanaman yang berbeda pada kolam uji. Adapun perlakuan yang digunakan yaitu:

A : Air eks galian pasir tanpa arang kayu dan tanaman air

B : Air eks galian pasir dengan perlakuan arang kayu dan *A. pinnata* dengan luas tutupan 50 %.

C : Air eks galian pasir dengan perlakuan arang kayu dan *S. molesta* dengan luas tutupan 50 %

D : Air eks galian pasir dengan perlakuan arang kayu dan *E. crassipes* dengan luas tutupan 50 %.

Pada penelitian ini, digunakan tutupan tanaman air sebesar 50%, agar tutupan tanaman air saat perlakuan berlangsung tidak melebihi 75% akibat dari sifat tanaman yang dapat berkembang biak secara pesat (Marson, 2006). Menurut Syahputra (2005), sebaiknya luas tutupan tanaman tidak lebih dari 75%, karena bila melebihi luas tersebut dapat mengganggu proses degradasi bahan organik serta mengoksidasi logam oleh bakteri dan mikroalga. Luas tutupan yang tinggi, dapat menghambat cahaya matahari yang masuk yang membuat proses fotosintesis terganggu. Selain itu, menurut Hasani *et al.* (2021^a) penggunaan tanaman air (*E. crassipes*) sebagai agen fitoremediasi dengan luas tutupan 50% merupakan perlakuan yang dapat menghasilkan penurunan Fe^{2+} tertinggi pada perairan eks galian pasir. Adapun

penambahan arang kayu pada setiap perlakuan diharapkan mempercepat proses reduksi Fe^{2+} pada air.

Variabel yang diamati meliputi kualitas fisik dan kimia air, yaitu: konsentrasi besi (Fe^{2+}) pada air uji, persentase efektivitas pengurangan konsentrasi besi (Fe^{2+}), konsentrasi besi (Fe) pada arang kayu, serta pada akar dan daun tanaman air (*A. pinnata*, *E. crassipes*, dan *S. molesta*) guna perhitungan faktor biokonsentrasi dan translokasi konsentrasi besi (Fe^{2+}) pada setiap tanaman.

3.3.2.1 Tahapan uji

(1) Persiapan kolam uji

Sebelum digunakan, kolam uji dibersihkan dan dibilas menggunakan air bersih, kemudian dikeringkan. Selanjutnya air dari danau eks galian pasir dimasukkan ke setiap kolam uji kolam dengan ketinggian 50 cm. Pengukuran konsentrasi Fe^{2+} dilakukan sebelum proses percobaan berlangsung untuk mengetahui konsentrasi Fe^{2+} awal perlakuan.

(2) Persiapan Tanaman Air

Tanaman air (*A. pinnata*, *E. crassipes*, dan *S. molesta*) dibersihkan menggunakan air bersih untuk menghilangkan kotoran, telur organisme lain, dan larva serangga yang kemungkinan menempel pada tanaman. Seluruh tanaman air yang telah dibersihkan dimasukkan ke dalam kolam uji sesuai perlakuan. Tanaman air yang digunakan pada penelitian ini adalah tanaman yang masih muda dan bebas dari penyakit dengan dapat dilihat dari warna daun tanaman yang memiliki warna hijau cerah, serta bagian-bagian tanaman yang masih utuh (Djo *et al.*, 2017) sehingga diharapkan dapat memaksimalkan kemampuan tanaman air dalam mereduksi Fe^{2+} di perairan.

(3) Persiapan arang kayu

Ukuran arang kayu yang digunakan pada perlakuan ini berukuran $\pm 3 \text{ cm}^3$. Selanjutnya dilakukan penyamarataan ukuran arang kayu dengan cara dipecahkan menggunakan alat pemukul. Setelah itu dilakukan pencucian menggunakan air

bersih untuk menghilangkan kotoran, debu, ataupun bahan lain yang tercampur pada arang. Seluruh arang kayu yang telah dibersihkan lalu dimasukkan ke dasar kolam uji dengan dilingkupi paranet dan diberi pemberat agar arang kayu tidak mengapung ke permukaan.

(4) Proses fitoremediasi

Percobaan remediasi dilakukan hingga konsentrasi Fe^{2+} layak untuk budi daya perikanan yaitu 0,02 mg/l (Krismono *et al.*, 1998) terhitung saat tanaman fitoremediasi dan arang kayu di masukkan ke dalam kolam uji. Selama proses remediasi tidak dilakukan pergantian air. Pengukuran Fe^{2+} dalam air dilakukan pada awal percobaan, selanjutnya dilakukan 3 hari sekali hingga akhir percobaan.

3.3.3 Rancangan respon

Respon yang ingin diketahui dalam penelitian ini untuk mengetahui kemampuan *A. pinnata*, *E. crassipes* dan *S. molesta* sebagai agen fitoremediasi dengan penambahan arang dalam mereduksi Fe^{2+} . Parameter yang diamati meliputi konsentrasi Fe^{2+} pada air, konsentrasi Fe^{2+} pada akar dan daun tumbuhan air, konsentrasi Fe^{2+} pada arang kayu, kualitas air (suhu, DO, pH, amonia, nitrat, fosfat, dan sulfat), faktor translokasi, dan faktor biokonsentrasi.

3.3.3.1 Pengukuran konsentrasi Fe^{2+}

Pengukuran konsentrasi Fe^{2+} pada air dilakukan pada awal penelitian, selanjutnya dilakukan 3 hari sekali sampai konsentrasi Fe^{2+} di bawah layak untuk kegiatan budi daya ikan. Adapun konsentrasi Fe^{2+} pada tumbuhan air dan arang kayu dilakukan pada awal dan akhir penelitian. Pengambilan sampel air pada kolam uji dilakukan dengan menggunakan botol kedap cahaya ukuran 500 ml. Kemudian, disimpan dalam ruang bersuhu dingin. Penggunaan botol kedap cahaya dan suhu dingin bertujuan agar tidak terjadi perubahan laju reaksi pada air sampel tersebut. Sampel diuji di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung mengacu pada metode EPA 200.7 Revisi 5 dengan langkah-langkah sebagai berikut :

(1) Preparasi Sampel Air

Preparasi sampel air dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- (a) Labu destruksi disiapkan 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 ke labu ditambahkan destruksi.
- (d) Labu destruksi dimasukkan ke dalam heavy metal digester.
- (e) Sampel didestruksi dengan suhu 95°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 $0,45\ \mu\text{m}$).
- (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 autosampler.
- (l) Sampel siap untuk dianalisis.

(2) Preparasi sampel tanaman air dan arang kayu

- (a) Sampel tanaman air (*A. pinnata*, *E. crassipes*, *S. molesta*) dan arang kayu dikeringkan dengan suhu 105°C selama 2 jam.
- (b) Sampel digiling menggunakan mortal, untuk mencapai homogenitas.
- (c) Sampel ditimbang sebanyak 1 g dan dimasukkan ke dalam labu heavy metal digester.
- (d) HNO_3 (1+1) dan HCl (1+1) masing-masing ditambahkan 5 ml dan ditambahkan H_2O_2 sebanyak 3 ml.
- (e) Sampel didestruksi dengan suhu 95°C selama 30 menit.
- (f) Sampel ditunggu hingga dingin.
- (g) Sampel disaring dengan kertas Whatman No. 41.
- (h) Sampel dipindahkan ke labu 50 mL dan diencerkan dengan ultrapure water hingga 25 ml.

- (i) Sampel dipindahkan ke botol HDPE.
- (j) Sampel dipindahkan ke tabung autosampler.
- (k) Sampel siap untuk dianalisis.

3.3.3.2 Analisis sampel

Sampel air, tanaman air, dan arang kayu yang telah didestruksi selanjutnya dianalisis menggunakan alat *inductively couple plasma-optical emission spectrometry* (ICP-OES). Sampel dimasukkan ke alat ICP-OES kemudian dipilih logam Fe pada layar komputer untuk logam yang akan dianalisis dan ditunggu hingga proses selesai. Nilai konsentrasi Fe^{2+} akan ditampilkan pada layar monitor komputer. Selanjutnya dihitung persentase efektivitas pengurangan konsentrasi Fe^{2+} dengan persamaan menurut Sidek *et al.* (2018)

$$\text{Pengurangan Fe(\%)} = \frac{\text{Konsentrasi Fe Awal (C}_o) - \text{Konsentrasi Fe Akhir (C}_f)}{\text{Konsentrasi Fe Awal (C}_o)} \times 100$$

3.3.3.3 Faktor translokasi

Faktor translokasi (TF) dihitung untuk mengevaluasi kemampuan tumbuhan air (*A. pinnata*, *E. crassipes*, dan *S. molesta*) untuk mentransfer logam dari akar ke bagian daun yang dihitung menggunakan persamaan menurut (Handayani *et al.*, 2018):

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

Jika nilai faktor translokasi < 1 dapat dikatakan tumbuhan kurang mampu untuk mentransfer logam ke bagian daun, jika nilai faktor translokasinya > 1 dapat dikatakan bahwa tumbuhan air mampu mentransfer logam yang ada di akar ke bagian daun (Handayani *et al.*, 2018).

3.3.3.4 Faktor biokonsentrasi

Faktor biokonsentrasi (BCF) digunakan untuk memastikan konsentrasi Fe^{2+} pada air yang berkurang karena diserap oleh tanaman. Nilai ini digunakan untuk

mengukur kemampuan tumbuhan dalam mengakumulasi partikel Fe^{2+} dalam media air. Nilai BCF dihitung dengan persamaan menurut Ghosh dan Singh (2005):

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

Semakin tinggi nilai faktor biokonsentrasinya maka akan semakin cocok tumbuhan tersebut digunakan untuk fitoremediasi (Ndimele *et al.*, 2014). Menurut Testi *et al.*, (2019) faktor biokonsentrasi (BCF) dapat digolongkan sebagai berikut:

BCF <250 kemampuan rendah;

$1000 \geq \text{BCF} \geq 250$ = kemampuan sedang; dan

BCF >1000 = kemampuan tinggi

3.3.3.5 Kualitas air

Pengukuran kualitas air pada penelitian ini meliputi suhu, pH dan DO, dilakukan pada setiap unit percobaan dengan frekuensi tiga hari sekali, yaitu pada pagi dan sore hari. Adapun pada parameter amonia, nitrat, fosfat, dan sulfat, diukur pada awal penelitian, selanjutnya diukur setiap tiga hari sekali.

3.4 Analisis Data

Pengaruh perlakuan terhadap parameter pengamatan (penurunan konsentrasi Fe^{2+}) dianalisis menggunakan analisis sidik ragam (Anova). Apabila hasil uji antar perlakuan menunjukkan berbeda nyata maka dilakukan uji lanjut Duncan dengan tingkat kepercayaan 95%. Analisis data ini menggunakan perangkat lunak *Statistical Package for the Social Sciens* (SPSS) versi 24.

V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat pada penelitian ini adalah :

1. Penambahan arang kayu pada proses fitoremediasi menggunakan tanaman *A. pinnata*, *E. crassipes*, dan *S. molesta* dapat mengurangi konsentrasi Fe^{2+} pada air eks galian pasir.
2. Penambahan arang kayu terbukti dapat mempercepat proses fitoremediasi Fe^{2+} pada air eks galian pasir.
3. Berdasarkan faktor biokonsentrasi, tanaman *E. crassipes* merupakan tanaman terbaik dalam menyerap Fe^{2+} pada perairan eks galian pasir.

5.2 Saran

Disarankan untuk menggunakan tanaman *E. crassipes* dan penambahan arang kayu yang diaplikasikan selama 6 hari dalam upaya penghilangan Fe^{2+} pada perairan eks galian pasir, sehingga air eks galian pasir tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sarana kegiatan budi daya ikan.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Ajibade, F.O., Adeniran, K.A. dan Egbuna, C.K. 2013. Phytoremediation efficiencies of water hyacinth in removing heavy metals in domestic sewage (a case study of University of Ilorin, Nigeria). *The International Journal of Engineering and Science*, 12(2): 16-27.
- 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*) di Kecamatan Jabon Sidoarjo. *Jurnal Sain Health*, 2(2): 21–28.
- Aka, H. A., Suhendrayatna, dan Syaubari. 2017. Penurunan kadar amonia dalam limbah cair oleh tanaman air *Typha latifolia* (tanaman obor). *Ilmu Kebencanaan* , 4(3): 72–75.
- Amor, N. F., Sumawati, A. N. dan Suharyadi, E. 2015. Adsorpsi logam tembaga (Cu), besi (Fe), dan nikel (Ni) dalam limbah cair buatan menggunakan nanopartikel cobalt ferrite (CoFe_2O_4). *Jurnal Fisika Indonesia*, 19(55): 23–27.
- Astriyani, R. N. 2019. Analisis kesesuaian kualitas air sungai dengan baku mutu air untuk budi daya ikan air tawar di Kabupaten Tabalong. *SPECTA Journal of Technology*, 3(3): 36–43.
- Astuti, L. P. dan Indriatmoko. 2018. Kemampuan beberapa tumbuhan air dalam menurunkan pencemaran bahan organik dan fosfat untuk memperbaiki kualitas air. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(2): 183.
- Augusta, T. S. 2016. Dinamika perubahan kualitas air terhadap pertumbuhan ikan lele dumbo (*Clarias gariepinus*) yang dipelihara di kolam tanah. *Jurnal Ilmu Hewani Tropika*, 5(1): 41–44.
- Azizah, M., dan Humairoh, M. 2015. Analisis kadar amonia (NH_3) dalam air Sungai Cileungsi. *Jurnal Nusa Sylva*, 15(1): 48-54.
- Basak, B., M, Pramanik, A. H., Rahman, M. S., Tarafdar, S. U. dan Roy, B. C. 2001. *Azolla* (*Azolla pinnata*) as a feed ingredient in broiler ration. *International Journal of Poultry Science*, 1(1): 29–34.
- Badan Pusat Statistika Provinsi Lampung. 2014. *Laporan Perekonomian Lampung 2013*. BPS Provinsi Lampung, Bandar Lampung, 79 hlm.

- Choudhary, M. I., Naheed, N., Abbaskhan, A., Musharraf, S. G., Siddiqui, H., dan Atta-ur-Rahman. 2008. Phenolic and other constituents of fresh water fern *Salvinia molesta*. *Phytochemistry*, 69(4): 1018–1023.
- Deswandri, F. dan Fadhillah. 2018. Variasi waktu terhadap penyerapan merkuri (Hg) oleh eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) (studi kasus: air danau bekas peti di Jorong Jujutan, Nagari Lubuk Gadang, Kecamatan Sangir, Kabupaten Solok Selatan. *Jurnal Bina Tambang*, 4(4): 13–23.
- Diliarosta, S. 2018. Fitoremediasi logam timbal (Pb) menggunakan kiambang (*Salvinia molesta*) pada ambang batas, kualitas air irigasi. *Journal of Science Education and Teaching*, 1(1): 29-33.
- Fajri, N. E. dan Kasry, A. 2013. Kualitas perairan muara Sungai Siak ditinjau dari sifat fisik-kimia dan makrozoobentos. *Jurnal Berkala Perikanan Terubuk*, 41(1): 37-52.
- 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): 240–246.
- Ghosh, M. dan Singh, S. P. 2005. A comparative study of cadmium phytoextraction by accumulator and weed species. *Environmental Pollution*, 133(2): 365–371.
- Gonzalez, N. A. dan Lin Guo. 2018. The potential of *Lemna minor* to uptake iron in water. *Journal of Environmental Science and Engineering A*, 7(7): 268–273.
- Habibi, M. A., Maslukah, L. dan Wulandari, S. Y. 2014. Studi konsentrasi bioavailable dan karbon organik total (KOT) dalam sedimen di perairan Benteng Portugis, Jepara. *Jurnal Osenografi*, 3(4): 690-697.
- Hamuna, B., Tanjung, R. H. R., Suwito. dan Maury, H. K. 2018. Konsentrasi amoniak, nitrat dan fosfat di perairan Distrik Depare Kabupaten Jayapura. *Enviro scientea*, 14(1): 8-15.
- Hanafiah, M. M., Megat Mohamad, N. H. S. dan Aziz, N. I. H. A. 2018. *Salvinia molesta* and *Pistia stratiotes* as phytoremediation agents in sewage wastewater treatment. *Sains Malaysiana*, 47(8):1625–1634.
- Handayani, C. O., Dewi, T. dan Sukarjo. 2015. Translokasi unsur mikronutrien pada tanaman padi di Kabupaten Wonosobo. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek II*, hal 3–7.
- Handayani, C. O., Dewi, T., dan Hidayah, A. 2018. Biokonsentrasi dan translokasi logam berat Cd amelioran bioconcentration and translocation of Cd heavy metal in red onion plant with amelioran application. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 5(2): 841–845.
- Harahap, S. 2013. Pencemaran perairan akibat kadar amoniak yang tinggi dari limbah cair industri tempe. *Jurnal Akuatika*, 4(2): 183-194

- Harsojuwono, B. A., Arnata, I.W. dan Puspawati, G. A. K. D. K. 2011. *Rancangan Percobaan SPSS, Aplikasi Excel*. Lintas Kata Publishng, Malang. 77 hlm.
- Haryanti, S., Hastusti, R. B., Hastuti, E. D. dan Nurchayati, Y. 2006. Adaptasi morfologi fisiologi dan anatomi eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solm) di berbagai perairan tercemar. *Anatomi Fisiologi*, XIV(2): 39–46.
- Hasani, Q., Pratiwi, N. T. M., Effendi, H., Wardiatno, Y., Guk, J. A. R. G., 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, N. T. M., Wardiatno, Y., Effendi, H., Yulianto, H., Yusuf, M. W., Caesario, R., & Farlina, F. 2021. Assessment of water quality of the ex-sand mining sites in Pasir Sakti District East Lampung for tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 8(4): 3007–3014.
- Hasibuan, P. M. 2006. Dampak penambangan bahan galian golongan c terhadap lingkungan sekitarnya di Kabupaten Deli Serdang. *Jurnal Equality*, 11(1): 19–23.
- Heriyani, O., dan Mugisidi, D. 2016. Pengaruh karbon aktif dan zeolit pada pH hasil filtrasi air banjir. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi, Kualitas dan Aplikasi Fakultas Teknik Uhamka*, hal 199–202.
- Hidayah, A. M., Purwanto, P. dan Soeprbowati, T. R. 2014. Biokonsentrasi faktor logam berat Pb, Cd, Cr dan Cu pada ikan nila (*Oreochromis niloticus* Linn.) di karamba Danau Rawa Pening. *Bioma : Berkala Ilmiah Biologi*, 16(1): 1-9.
- Hidayati, N. 2005. Fitoremediasi dan potensi tumbuhan hiperakumulator. *Journal of Biosciences*, 12(1): 35–40
- Ikhwan, Z. 2010. Efektifitas penggunaan arang batok kelapa sebagai media penyarang penurunan kadar besi dan mangan pada penjernihan air kolam. *Jurnal Kesehatan*, 5(2): 150–153.
- Irhamni, Pandia, S., Purba, E., & Hasan, W. 2018. Kajian akumulator beberapa tumbuhan air dalam menyerap logam berat secara fitoremediasi. *Jurnal Serambi Engeneering*, 3(2): 344–351
- Jacono, C. C., Davern, T. R. dan Center, T. D. 2001. The adventive status of *Salvinia minima* and *S. molesta* in the Southern United States and the related distribution of the weevil cyrtobagous salviniae. *Castanea*, 66(3): 214–226.

- Karolina, A. dan Gunawan, A. 2019. Analisis sulfat di kolam ikan rawa pasang surut Desa Telang Sari dan Muliastari Kabupaten Banyuwangi. *Jurnal Belida*, 3(1): 1–5.
- Karyati., Jhanariah. dan Syafrudin. 2018. Sifat fisika dan kimia air di ekowisata Semolon Kabupaten Malinau, Provinsi Kalimantan Utara. *Jurnal Gerbang Etam Balitbang*, 12(1): 31–37
- Khatri, N., Tyagi, S., dan Rawtani, D. 2017. Recent strategies for the removal of iron from water: a review. *Journal of Water Process Engineering*, (19):291–304.
- Khotimah, S., Linda, R. dan Kiding, A. 2015. Karakterisasi dan kepadatan bakteri nitrifikasi pada tingkat kematangan tanah gambut yang berbeda di Kawasan Hutan Lindung Gunung Ambawang Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Protobiont*, 4(1): 17–21.
- Kodape, A. dan Sharma, S. 2021. Anabaena azollae culture water, a source for bioremediation. *International Journal Of Researches in Biosciences, Agriculture and Technology*, 1(9): 54–59.
- Koutika, L. S. dan Rainey, H. J. 2015. A review of the invasive, biological and beneficial characteristics of aquatic species *Eichhornia crassipes* and *Salvinia molesta*. *Applied Ecology and Environmental Research*, 13(1): 263–275.
- Krismono, A. S. N., Nuroniah, S. dan Kartamihardja, E. S. kondisi biolimnologi sumber daya perairan kolong bekas galian pasir di Jawa Barat dan kesesuaian bagi budi daya perikanan. 1998. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 4(1): 14–35.
- Kris, S. dan Wariningsih. 2011. Pemanfaatan eceng gondok untuk membersihkan kualitas air Sungai Gadjahwong Yogyakarta. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 4(1): 17 – 22.
- Kurniawan, P., Kasmiyatun, M. dan Soebiyono. 2020. Reduksi kandungan logam berat Fe pada air Sungai Jetis Salatiga secara adsorpsi menggunakan karbon aktif. *Journal of Chemical Engineering*, 1(1): 1–6.
- Lempong, M. 2014. Pembuatan dan kegunaan karbon aktif. *Info Teknis EBONI*, 11(2), 65–80.
- Leonanda, B. D. dan Zolanda, Y. 2018. Reaktor nitrifikasi biofilter untuk air limbah sisa makanan dan feses ikan. *Jurnal Sistem Mekanik Dan Termal*, 2(1): 9–14.
- 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 IKAKESMADA*, 23–31.

- Marson. 2006. Jenis dan peranan tumbuhan air bagi perikanan di perairan Lebak Lebung. *Jurnal Bawal*, 1(2): 49-52.
- Mawaddah, A., Roto, R. dan Suratman, A. 2017. Pengaruh penambahan urea terhadap peningkatan pencemaran nitrit dan nitrat dalam tanah. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 23(3): 360-364.
- Mustofa, A. 2015. Kandungan nitrat dan pospat sebagai faktor tingkat kesuburan perairan pantai. *Jurnal Dispotek*, 6(1): 13–19.
- Nagata, T. 2017. Effect of pseudomonas fluorescens inoculation on the improvement of iron deficiency in tomato. *Plant Root*, (11) 1–10.
- Ndimele, P.E. & Jimoh, A.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.
- Nopilda, L. 2019. Pemanfaatan arang kayu gelam sebagai adsorben untuk meningkatkan kualitas air limbah zat warna kain jumputan di Sentra Industri Kampung Kain Kelurahan Tuan Kentang Kecamatan Seberang Ulu 1 Kertapati Kota Palembang. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Program Pasca Sarjana Universitas PGRI Palembang*, 386–398.
- Nugroho, A. S., Tanjung, S. D. dan Hendrarto, B. 2014. Distribusi serta kandungan nitrat dan fosfat di perairan Danau Rawa Pening. *Jurnal Bioma*, 3(1): 27-41.
- Nur, F. 2013. Fitoremediasi logam berat Kadmium (Cd). *Biogenesis: Jurnal Ilmiah Biologi*, 1(1): 74–83
- Nurhaini, R. dan Affandi, A. 2017. Analisa logam Besi (Fe) di Sungai Pasar daerah Belangwetan Klaten dengan metode spektrofotometri serapan atom. *Jurnal Ilmiah Manuntung*, 2(1): 39-43.
- Nuzula, N. I., Pratiwi, N. S. W., Indriyawati, N. dan Efendy, M. 2021. Studi penggunaan senyawa CaCl_2 dalam menurunkan kadar sulfat pada limbah produksi garam. *Jurnal Kimia Riset Riset*, 6(1): 2–7.
- Pambayun, G. S., Yulianto, R. Y. E., Rachimoellah, M. dan Putri, E. M. M. 2013. Pembuatan karbon aktif dari arang tempurung kelapa dengan aktivator ZnCl_2 dan Na_2CO_3 sebagai adsorben untuk mengurangi kadar fenol dalam air limbah. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1): 116–120.
- Patricia, C., Astono, W. dan Hendrawan, I, D. 2018. Kandungan nitrat dan fosfat di Sungai Ciliwung. *Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan*, hal 179-185
- Patty, S. I. 2018. Oksigen terlarut dan apparent oxygen utilization di perairan Selat Lembeh, Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Platax*, 6(1): 54–60.
- Patty, S. I., Arfah, H., dan Abdul, M. S. 2015. Zat hara (fosfat, nitrat), oksigen terlarut dan pH kaitannya dengan kesuburan di perairan Jikumerasa, Pulau Buru. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 3(1): 43.

- Prasetyo, B., Krisnayanti, B. D., Utomo, W. H. dan Anderson, C. W. N. 2010. Rehabilitation of artisanal mining gold land in West Lombok, Indonesia: *Arbuscular mycorrhiza* status of tailings and surrounding soils. *Journal of Agricultural Science*, 2(2): 202–209.
- Purnamawati, N. W. I., Arthana, I. W. dan Saraswati, S. A. 2019. Kandungan nitrat, fosfat dan pertumbuhan biomassa basah kiambang (*Salvinia molesta*) di Perairan Danau Buyan, Buleleng, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 5(1): 56-63.
- Puspitaningrum, M., Izzati, M., dan Haryanti, S. 2012. Produksi dan konsumsi oksigen terlarut oleh beberapa tumbuhan air. *Jurnal Anatomi dan Fisiologi*, 20(1): 47–55.
- 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.
- Rahayu, T. 2004. karakteristik air sumur dangkal di wilayah Kartasura dan upaya penjernihannya. *Jurnal Penelitian Sains dan Teknologi*, 5(2): 104–124.
- Rahmadian, F. dan Dharmawan, A. H. 2015. Ideologi aktor dan persepsi masyarakat terhadap dampak pertambangan pasir di pedesaan Gunung Galunggung. *Sodality: Jurnal Sosiologi Pedesaan*, 2(2): 83–95.
- Rai, P. K. 2008. Phytoremediation of Hg and Cd from industrial effluents using an aquatic free floating macrophyte *Azolla pinnata*. *International Journal of Phytoremediation*, 10(5): 430–439.
- Ratnani, R. D. 2012. Kemampuan kombinasi eceng gondok dan lumpur aktif untuk menurunkan pencemaran pada limbah cair industri tahu. *Jurnal Momentum*, 8(1): 1–5.
- Riyadhi, K. A., Jubaedah, D. dan Wijayanti, M. 2019. Penggunaan melati air (*Echinodorus palaefolius*) sebagai filter biologi pada pemeliharaan ikan maanvis (*Pterophyllum scalare*). *Jurnal Lahan Suboptimal*, 8(1): 67–76.
- Rofifah, K. dan Titah, H. S. 2018. Pengolahan air limbah tekstil menggunakan tanaman air dan bioaugmentasi bakteri. *Jurnal Purifikasi*, 18(1): 29–38.
- Rondonuwu, S. B. 2014. Fitoremediasi limbah merkuri menggunakan tanaman dan sistem reaktor. *Jurnal Ilmiah Sains*, 14(1): 52- 59.
- Room, P. M. dan Thomas, P. A. 1986. Population growth of the floating weed *Salvinia molesta*: field observation and a global model based on temperature and nitrogen. *The Journal of Applied Ecology*, 23(3): 1013.
- Satriawan, D. 2018. Analisis kuantitatif acidity level sebagai indikator kualitas air hujan di Kabupaten Cilacap. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 3(2): 112–116.
- Suhendrayatna., Bahagia., Novia, Z. A. dan Elvitriana. 2009. Pengaruh waktu tinggal dan umur tanaman pada biosorpsi ammonia oleh tanaman air eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 7(2): 58-63.

- Salim, R. 2016. Karakteristik dan mutu arang kayu jati (*Tectona grandis*) dengan sistem pengarangan campuran pada metode tungku drum. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 8(2): 53–64.
- Santriyana, D. D. 2013. Eksplorasi tanaman fitoremediator aluminium (Al) yang ditumbuhkan pada limbah IPAL PDAM Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 1(1): 1–11.
- Sidek, N. M., Abdullah, S. R. S., Ahmad, N. U., Draman, S. F. S., Rosli, M. M. M. dan Sanusi, M. F. 2018. Abandoned mining lake by water hyacinth and water lettuces in constucted wetlands. *Jurnal Teknologi*, 5(8): 87–93.
- Stefhany, C. K., Sutisna, M. dan Pharmawati, K. 2013. Fitoremediasi phospat dengan menggunakan tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) pada limbah cair industri kecil pencucian pakaian (laundry). *Reka Lingkungan Jurnal Institut Teknologi Nasional*, 1(1): 1–11.
- Suarsana, I. M. 2011. Habitat dan niche paku air tawar (*Azolla pinnata* Linn.) (suatu kajian komponen penyusun ekosistem sawah). *Jurnal Sains dan Teknologi*, 11(2): 1–15.
- Sudjana, B. 2014. Penggunaan azolla untuk pertanian berkelanjutan. *Jurnal Ilmiah Solusi*, 1(2): 72–81.
- Sugiyanto, R. A. N., Yona, D. dan Kasitowati, R. D. 2016. Analisis akumulasi logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada lamun *Enhalus acoroides* sebagai agen fitoremediasi di Pantai Paciran, Lamongan. *Prosiding Seminar Nasional Perikanan dan Kelautan*, (6): 449–455.
- Suhono, B. 2010. *Ensiklopedia Biologi Dunia Tumbuhan 7 (Tumbuhan Paku)*. PT Lentera Abadi, Jakarta, 226 hlm.
- Sulistyorini, I. S., Edwin, M., & Arung, A. S. 2016. Analisis kualitas air pada sumber mata air di Kecamatan Karang dan Kaliorang, Kabupaten Kutai Timur. *Jurnal Hutan Tropis*, 4(1): 64–76.
- Suraya, U. 2020. inventarisasi dan identifikasi tumbuhan air di Danau Hanjalu-tung Kota Palangka Raya. *Jurnal Ilmiah Pertanian dan Kehutanan*, 6(2): 149–159.
- Syafruddin. 2011. Keracunan besi pada tanaman padi dan upaya pengelolaannya pada lahan sawah. *CEFARS: Jurnal Agribisnis dan Pengembangan Wilayah*, 3(1): 36–45.
- Syahputra, R. 2005. Fitoremediasi logam Cu dan Zn dengan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*. Mart Solms). *Jurnal Logika*, 2 (2): 57-62.
- Tangahu, B. V., Sheikh Abdullah, S. R., Basri, H., Idris, M., Anuar, N. dan Mukhlisin, M. 2011. A review on heavy metals (As, Pb, And Hg) uptake by plants through phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*, 2011: 1-31.

- Tatangindatu, F., Kaleseran, O., dan Rompas, R. 2013. Studi parameter fisika kimia air pada areal budidaya ikan di Danau Tondano, Desa Paleloan, Kabupaten Minahasa. *Jurnal Budidaya Perairan*, 1(2): 8-19.
- Testi, E. H., Soenardjo, N. dan 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.
- Utomo, W. P., Nugraheni, Z. V., Rosyidah, A., Shafwah, O. M., dan Naashihah, L. K. 2018. Penurunan kadar surfaktan anionik dan fosfat dalam air limbah laundry di kawasan Keputih , Surabaya menggunakan karbon aktif. *Jurnal Akta Kimindo*, 3(1): 127–140.
- Wang, F. Y., Wang, H., & Ma, J. W. 2010. Adsorption of cadmium (II) ions from aqueous solution by a new low cost adsorbent bamboo charcoal. *Journal of Hazardous Materials*, 177(1–3): 300–306.
- Widyati, E. 2017. Memahami komunikasi tumbuhan-tanah dalam areal rhizosfir untuk optimasi pengelolaan lahan. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 11(1): 33–42
- Yudhistira, Hidayat, W. K. dan Hidayarto, A. 2011. Kajian dampak kerusakan lingkungan akibat kegiatan Gunung Merapi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 9(2): 76–84.
- Yuliani, D. E., Sitorus, S., & Wirawan, T. 2013. Analisis kemampuan kiambang (*Salvinia molesta*) untuk menurunkan konsentrasi ion logam Cu (II) pada media tumbuh air. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 10(2): 68-74.