

**EFEKTIFITAS *Rhizophora* SPP. DALAM MEREMEDIASI LIMBAH CAIR
KELAPA SAWIT DENGAN BIOINDIKATOR IKAN MAS**

(Skripsi)

Oleh

**Kevin Kornelius Kambey
1914151068**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

EFEKTIFITAS *Rhizophora* SPP. DALAM MEREMEDIASI LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT DENGAN BIOINDIKATOR IKAN MAS

Oleh

KEVIN KORNELIUS KAMBEY

Fitoremediasi adalah upaya memanfaatkan peranan tanaman untuk menyerap serta mendegradasi bahan pencemar. Kemampuan tumbuh yang cepat dimiliki oleh genus *Rhizophora*, kecepatan tumbuh *Rhizophora* spp diharapkan berkorelasi dengan kemampuannya dalam meremediasi cemaran limbah. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektifitas tanaman *Rhizophora* spp. dan mendapatkan jenis yang paling adaptif dan efektif dalam meremediasi cemaran limbah industri sawit. Metode yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan perlakuan tunggal yaitu jenis-jenis tanaman *Rhizophora*. Ada 5 perlakuan yang diberikan yaitu L0 (100% air bersih + *Rhizophora* spp.), L1R0 (100% LCKS), L1R1 (100% LCKS + *R. apiculata*), L1R2 (100% LCKS + *R. stylosa*), dan L1R3 (100% LCKS + *R. mucronata*). Parameter yang diukur yaitu persen hidup mangrove, penambahan jumlah daun, penambahan tinggi (cm), penambahan diameter batang (mm), perubahan pH, perubahan suhu, dan *survival rate* bioindikator. Ketiga jenis *Rhizophora* spp tidak efektif dalam meremediasi cemaran limbah industri sawit. Hal tersebut ditunjukkan dari nilai *survival rate* bioindikator yang sangat rendah yaitu 0%, berbanding terbalik dengan kontrol positif yang memiliki nilai *survival rate* mencapai 100%. *R. apiculata* dan *R. stylosa* merupakan jenis yang paling adaptif terhadap cemaran limbah cair kelapa sawit. Kemampuan adaptif itu ditunjukkan oleh parameter persen hidup yang lebih tinggi dibandingkan *R. mucronata*.

Kata kunci : fitoremediasi, kelapa sawit, limbah, mangrove, *Rhizophora*.

ABSTRACT

EFFECTIVENESS OF *Rhizophora* SPP. IN REMEDIATING PALM OIL LIQUID WASTE WITH GOLDFISH BIOINDICATOR

By

KEVIN KORNELIUS KAMBEY

Phytoremediation is an effort to utilize the role of plants to absorb and degrade contaminants. The ability to grow fast is owned by the genus *Rhizophora*, the speed of growth of *Rhizophora* spp is expected to correlate with its ability to remediate waste contamination. This study aims to assess the effectiveness of *Rhizophora* spp. plants and get the most adaptive and effective species in remediating palm oil industry waste contamination. The method used was a completely randomized design (CRD) with a single treatment, namely the types of *Rhizophora* plants. There are 5 treatments given, namely L0 (100% clean water + *Rhizophora* spp.), L1R0 (100% POLW), L1R1 (100% POLW + *R. apiculata*), L1R2 (100% POLW + *R. stylosa*), and L1R3 (100% POLW + *R. mucronata*). Parameters measured were the percent of mangrove survival, leaf number increase, height increase (cm), stem diameter increase (mm), pH change, temperature change, and survival rate of bioindicators. The three types of *Rhizophora* spp were not effective in remediating palm oil industry waste contamination. This is indicated by the very low bioindicator survival rate of 0%, inversely proportional to the positive control which has a survival rate of 100%. *R. apiculata* and *R. stylosa* are the most adaptive species to palm oil effluent contamination. The adaptive ability is shown by the higher percent survival parameter compared to *R. mucronata*.

Keyword : mangroves, palm oil, phytoremediation, *Rhizophora*, waste.

**EFEKTIFITAS *Rhizophora* SPP. DALAM MEREMEDIASI LIMBAH CAIR
KELAPA SAWIT DENGAN BIOINDIKATOR IKAN MAS**

Oleh

Kevin Kornelius Kambey

(Skripsi)

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar
SARJANA KEHUTANAN**

Pada

**Jurusan Kehutanan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : **EFEKTIFITAS *Rhizophora* SPP. DALAM MEREMEDIASI LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT DENGAN BIOINDIKATOR IKAN MAS**

Nama Mahasiswa : **Kevin Kornelius Kambey**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1914151068**

Program Studi : **Kehutanan**

Fakultas : **Pertanian**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Duryat, S.Hut., M.Si.
NIP. 197802222001121001



Dr. Melya Riniarti, S.P., M.Si.
NIP. 197705032002122002

2. Ketua Jurusan Kehutanan




Dr. Hj. Bainah Sari Dewi, S.Hut., M.P.,IPM.
NIP. 197310121999032001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Duryat, S.Hut., M.Si.



Sekretaris : Dr. Melya Riniarti, S.P., M.Si.



Penguji : Dr. Ceng Asmarahman, S.Hut., M.Si.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Ir. Kuswanta Hutasa Hidayat, M.P.
NIP. 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 20 Desember 2023

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Kevin Kornelius Kambey

NPM : 1914151068

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya-sungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul :

“EFEKTIFITAS *Rhizophora* SPP. DALAM MEREMEDIASI LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT DENGAN BIOINDIKATOR IKAN MAS”

Adalah benar karya saya sendiri yang saya susun sesuai dengan norma dan etika akademik yang berlaku saat ini. Kemudian, saya juga tidak keberatan apabila Sebagian dari skripsi ini digunakan oleh dosen dan/atau program studi untuk kepentingan publikasi. Jika di kemudian hari terbukti pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 20 Desember 2023
Yang menyatakan,



Kevin Kornelius Kambey
NPM 1914151068

RIWAYAT HIDUP



Kevin Kornelius Kambey (Penulis), atau akrab disapa Kevin lahir di Bekasi, 29 Juli 2001, sebagai anak terakhir dari Bapak Jeffry Kambey dan Ibu Hotdinar Parhusip. Pendidikan Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SDN 03 Satria Jaya pada tahun 2013, Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan di SMP N 7 Tambun Selatan

pada tahun 2016, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di selesaikan di SMA N 2 Tambun Utara pada tahun 2019. Penulis melanjutkan pendidikan dan terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur penerimaan Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama kuliah, penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Jurusan Kehutanan (Himasyulva) Universitas Lampung sebagai Anggota Bidang Pengkaderan dan Penguatan Organisasi pada kepengurusan tahun 2021. Kegiatan keprofesian yang pernah diikuti Penulis yaitu mengikuti kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sumberjaya, Kecamatan Tambun Utara, Kabupaten Bekasi pada bulan Januari-Februari 2022. Penulis juga mengikuti kegiatan Praktik Umum (PU) di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Getas dan Wanagama, Jawa Tengah pada bulan Agustus 2022 selama 20 hari

SANWACANA

Puji syukur kepada Tuhan Yesus karena atas segala berkat hikmat dan karunia-Nya, penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi yang berjudul “Efektifitas *Rhizophora* Spp. Dalam Meremediasi Limbah Cair Kelapa Sawit Dengan Bioindikator Ikan Mas”

Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan menempuh gelar Sarjana Kehutanan di Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Dengan berbagai keterbatasan, disadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini bukan semata mata ditulis berdasarkan kemampuan pribadi, melainkan karena mendapat bantuan dari berbagai pihak sehingga penyusunan skripsi ini bisa terselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini, dengan segala ketulusan hati dan kerendahan hati, terucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
2. Ibu Dr. Hj. Bainah Sari Dewi, S.Hut., M.P., IPM. Selaku pembimbing akademik dan Ketua Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Duryat, S.Hut., M.Si. selaku dosen dosen pembimbing pertama yang telah memberikan motivasi kepada penulis selama menempuh perkuliahan sampai menyusun skripsi, arahan, perhatian, nasihat, dan doa.
4. Dr. Melya Riniarti, S.P., M.Si. selaku pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, arahan, perhatian, nasihat, doa, dan motivasi kepada penulis.

5. Dr. Ceng Asmarahaman, S.Hut., M.Si. selaku dosen penguji skripsi yang telah memberikan bimbingan dan arahan.
6. Segenap dosen Jurusan Kehutanan yang telah memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis selama menuntut ilmu di Jurusan Kehutanan Universitas Lampung.
7. Kedua orang tua Penulis Bapak Jeffry Kambey dan Ibu Hotdinar Parhusip yang telah memberikan doa, teguran, semangat, motivasi dan memberikan dukungan moril maupun materil hingga Penulis menempuh langkah sejauh ini.
8. Saudara Penulis yaitu Gresya Oktaviani Kambey dan Elsyie Devita Sari Kambey yang telah memberikan dukungan moril, materil, dan semangat kepada Penulis.
9. Tim Mangrove 2022 Bapak Tri Maryono, S.P., M.Si., Pangestu Prasetyo, Sandy Erggi Irawan, Hafiz Ansohidani, M. Andrian Wijaya, dan Rafli Indra Ghozali yang telah membantu penulis dalam melakukan pengambilan data di lapangan.
10. Teman-teman seperjuangan KOBAY yang telah banyak membantu, menemani, dan menyemangati penulis.
11. Saudara seperjuangan angkatan 2019 (FORMICS).
12. Keluarga besar Himasyilva Universitas Lampung.
13. Serta kepada seluruh pihak yang terlibat dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi secara langsung maupun tidak langsung yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, akan tetapi penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada para pembaca.

Bandar Lampung, 20 Desember 2023

Kevin Kornelius Kambey

Karya tulis ini kupersembahkan khusus untuk kedua orang tuaku tersayang,
Bapak Jeffry Kambey dan Ibu Hotdinar Parhusip

DAFTAR ISI

	Halaman
SANWACANA	i
DAFTAR GAMBAR	VI
DAFTAR TABEL	VII
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	3
1.3. Rumusan Masalah	4
1.4. Kerangka Pemikiran	4
1.5. Hipotesis.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Fitoremediasi	6
2.2. Mekanisme Fitoremediasi	7
2.3. Bioindikator.....	8
2.4. Limbah Cair Kelapa Sawit	9
2.5. <i>Rhizophora</i> spp.....	9
III. METODE PENELITIAN	12
3.1. Waktu dan Tempat	12
3.2. Alat & Bahan.....	12
3.3. Rancangan Percobaan.....	12
3.4. Pelaksanaan Penelitian	14
3.4.1. Penyiapan Bahan Limbah Cair Kelapa Sawit.....	14
3.4.2. Penyediaan Bibit Mangrove (<i>Rhizophora</i> spp.).....	14
3.4.3. Penyediaan Bioindikator.....	15
3.4.4. Uji Adaptasi	15
3.4.5. Uji Efektifitas.....	16

3.5. Variabel Penelitian	16
3.5.1. Persen Hidup Mangrove	16
3.5.2. Pertambahan Jumlah Daun	16
3.5.3. Pertambahan Tinggi (cm)	17
3.5.4. Pertambahan Diameter Batang (mm)	17
3.5.5. Perubahan pH.....	17
3.5.6. Perubahan Suhu	17
3.5.7. Tingkat Ketahanan Hidup (<i>survival rate</i>) Bioindikator.....	17
3.6. Analisis Data	18
3.6.1. Homogenitas Ragam.....	18
3.6.2. Analisis Sidik Ragam (ANOVA)	20
3.6.3. Uji Beda Nilai Tengah Perlakuan	21
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1. Uji Homogenitas	22
4.2. Analisis Sidik Ragam	22
4.3. Uji Beda Nilai Tengah Perlakuan.....	23
4.4. Persen Hidup Mangrove	26
4.5. Survival Rate Bioindikator	28
V. SIMPULAN DAN SARAN	32
5.1. Simpulan.....	32
5.2. Saran.....	32
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Daun (a), bunga (b), dan buah (c) <i>Rhizophora apiculata</i>	10
2. Daun (a), bunga (b), dan buah (c) <i>Rhizophora stylosa</i>	11
3. Daun (a), bunga (b), dan buah (c) <i>Rhizophora mucronata</i>	11
4. Tata letak percobaan dalam Rancangan Acak Lengkap (RAL)	13
5. Persen Hidup Mangrove (%)	26
6. Sebagian besar tanaman <i>Rhizophora</i> spp. mengalami kematian.....	28
7. Tanaman <i>R. apiculata</i> dan <i>R. stylosa</i> yang hidup hingga akhir pengamatan.....	28
8. <i>Survival rate</i> Bioindikator	29
9. Bioindikator mengalami kematian	30
10. Kondisi awal pertumbuhan bibit	42
11. Kondisi awal pertumbuhan bibit	42
12. Kondisi bioindikator saat pertama kali diterjunkan.....	43
13. Bioindikator mengalami kematian	43
14. Kondisi tanaman di minggu ke-2	44
15. Tanaman layu dan daun menguning.....	44
16. Kondisi tanaman semakin memburuk	45
17. Tanaman layu hingga daun mengering.....	45
18. Penampakan media limbah setelah 3 minggu	46
19. Penampakan media yang diberi tanaman setelah 3 minggu.....	46
20. Pengukuran suhu media tanam.....	47
21. Pengukuran pH menggunakan pH meter.....	47
22. Penampakan tanaman setelah 2 bulan	48
23. Kondisi media limbah setelah 2 bulan.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penyajian hasil data	19
2. Data ulangan dan perlakuan	20
3. Analisis Ragam.....	20
4. Rekapitulasi hasil analisis uji homogenitas.....	22
5. Rekapitulasi hasil analisis sidik ragam efektifitas tanaman <i>Rhizophora</i> spp. dalam meremediasi limbah cair industri sawit dengan bioindikator ikan mas	23
6. Rekapitulasi hasil Uji Beda Nyata Terkecil (BNT).....	24
7. Perubahan pH pada setiap perlakuan.....	25
8. Peningkatan waktu hidup bioindikator	30
9. Uji Homogenitas <i>R. apiculata</i> pada seluruh parameter.....	41
10. Uji Homogenitas <i>R. stylosa</i> pada seluruh parameter.....	41
11. Uji Homogenitas <i>R. mucronata</i> pada seluruh parameter.....	41

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pencemaran lingkungan dewasa ini semakin meningkat seiring dengan berkembangnya industri di Indonesia. Limbah merupakan sampah yang dihasilkan dari sisa-sisa proses produksi pada suatu industri. Limbah industri mengandung bahan-bahan tidak ramah lingkungan dan berpotensi mencemari lingkungan sekitar. Limbah industri penyebab pencemaran biasanya berwujud padat, cair, gas, dan kebisingan. Pencemaran lingkungan akibat aktivitas industri dapat berupa pencemaran fisika, kimia, biologis, dan radioaktif (Moertinah, 2010). Salah satu limbah yang perlu mendapatkan perhatian adalah limbah cair industri kelapa sawit karena kuantitasnya yang banyak. Limbah cair yang dihasilkan pabrik pengolahan kelapa sawit berkisar antara 600-700 liter/ton tandan buah segar (TBS) atau sekitar 65% dari TBS (Hanum *et al*, 2015).

Limbah cair industri kelapa sawit mengandung COD (*Chemical Oxygen Demand*) sebesar 68.000 ppm dan BOD (*Biological Oxygen Demand*) sebesar 27.000 ppm, bersifat asam dengan nilai pH 3,5 – 4 yang terdiri dari padatan terlarut berupa koloid dan residu minyak. Kandungan TSS (*Total Suspended Solid*) pada limbah cair industri sawit tergolong tinggi sekitar 1.330 – 50.700 mg/L, dengan kandungan tembaga (Cu) 0,89 ppm, besi (Fe) 46,5 ppm, seng (Zn) 2,3 ppm, dan amoniak 35 ppm (Ma, 2000). Kandungan cemaran yang tinggi pada limbah cair industri sawit dapat menyebabkan gangguan pada perairan, menurut Wulandari *et al* (2016) dengan kandungan logam berat pada limbah cair industri dapat menyebabkan kerusakan seperti pencemaran sumber daya alam yang nantinya

dapat menurunkan kualitas lingkungan hidup. Limbah cair industri kelapa sawit pada umumnya akan memasuki perairan, badan sungai dan bermuara ke laut.

Tanaman mangrove melalui kemampuannya dalam meremediasi limbah organik dan anorganik dapat membersihkan polutan yang masuk ke perairan laut. Sejalan dengan pernyataan Mulyadi (2010) bahwa apabila keberadaan tanaman mangrove dipertahankan maka dapat menjaga keseimbangan ekologi lingkungan perairan pantai, karena tanaman mangrove dapat berfungsi sebagai agen perangkap dan pengikat polusi. Tanaman mangrove melalui sistem perakarannya yang menghujam ke tanah dan menyebar luas mampu berfungsi menyerap kandungan polutan. Salah satu polutan yang dapat terserap oleh vegetasi mangrove yaitu jenis logam berat, sehingga daya racun polutan pada hutan mangrove dapat berkurang (Heriyanto, 2011).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sulistiyowati (2009) beberapa jenis tanaman mangrove memiliki kemampuan adaptasi yang berbeda-beda, terhadap tekanan lingkungan seperti kondisi substrat, hantaman gelombang, salinitas, dan cemaran air laut. Beberapa spesies tumbuhan mangrove yang mampu bertahan pada kondisi tercemar, memiliki potensi sebagai agen fitoremediasi.

Fitoremediasi adalah upaya memanfaatkan peranan tanaman untuk menyerap serta mendegradasi bahan pencemar logam berat (Sinulingga, 2015). Menurut Miller (1996) keuntungan fitoremediasi yaitu pada kemampuannya dalam menghasilkan buangan yang rendah sifat toksik, ramah lingkungan dan ekonomis.

Tanaman mangrove merupakan salah satu penyusun hutan mangrove yang memiliki daya adaptasi terhadap cekaman logam berat serta dapat menyerapnya. Hal tersebut dibuktikan dalam penelitian Silva (1990) dan Lacerda (1993) logam berat dapat diserap dengan baik oleh tanaman *Rhizophora* dan *Avicennia*. Genus *Rhizophora* juga memiliki kemampuan tumbuh yang cepat, kecepatan tumbuh *Rhizophora* spp diharapkan berkorelasi dengan kemampuannya dalam meremediasi cemaran limbah. Menurut Supriyantini *et al.* (2017) *Rhizophora* spp merupakan salah satu spesies mangrove yang mampu menyerap logam berat. Jenis *Rhizophora* spp memiliki kemampuan dalam mengatasi zat toksik, selain itu

diketahui *Rhizophora* spp bersifat bioakumulator. Efektifitas suatu tanaman dalam meremediasi cemaran limbah dapat diukur dengan memanfaatkan bioindikator. Dalam penelitian Lestari dan Aminatun (2018) tanaman *Hydrilla ferticillata* diketahui dapat menurunkan kandungan berbahaya dalam limbah cair produksi batik hingga mencapai baku mutu air limbah, hal tersebut terlihat salah satunya dari keberhasilan hidup hewan uji yaitu ikan mas.

Bioindikator dapat digunakan untuk mengukur kualitas lingkungan seperti yang dikemukakan oleh Awheda *et al* (2015) bioindikator merupakan organisme yang memberi informasi tentang kualitas suatu lingkungan. Kriteria suatu organisme dapat dikatakan sebagai bioindikator jika organisme tersedia dalam ukuran dan jumlah yang bervariasi, mudah didapatkan dan harganya murah, mudah dikembangbiakkan, berukuran relatif kecil, memiliki sensitivitas oksigen terlarut yang tinggi, serta rentan terhadap perubahan lingkungan (Hermana, 2006). Ikan merupakan salah satu bioindikator yang digunakan untuk mengetahui kualitas perairan, hal tersebut dikarenakan sensitivitas ikan terhadap kondisi perairan yang cukup tinggi. Menurut Suryadi *et al.* (2021) salah satu jenis ikan yang memenuhi kriteria sebagai bioindikator yaitu ikan mas (*Cyprinus carpio*). Berdasarkan uraian tersebut dalam penelitian ini ikan mas akan digunakan untuk mengukur efektifitas jenis-jenis *Rhizophora* spp dalam meremediasi limbah cair kelapa sawit.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah :

1. Mengkaji efektifitas tanaman mangrove dari jenis-jenis *Rhizophora* spp. dalam meremediasi cemaran limbah industri sawit.
2. Mendapatkan jenis *Rhizophora* spp. yang paling adaptif dan efektif dalam meremediasi cemaran limbah industri sawit.

1.3. Rumusan Masalah

1. Apakah jenis-jenis tanaman mangrove genus *Rhizophora* spp. memiliki daya adaptasi pada cemaran limbah cair industri kelapa sawit dan memiliki kemampuan dalam meremediasi cemaran limbah industri kelapa sawit?
2. Adakah salah satu jenis *Rhizophora* spp. yang memiliki daya adaptasi dan efektifitas yang tinggi dalam meremediasi cemaran limbah cair kelapa sawit?

1.4. Kerangka Pemikiran

Fitoremediasi merupakan pemanfaatan media tanaman atau pohon untuk menetralkan materi kontaminan yang berada dalam air atau tanah yang tercemar (Bahri, 2010). Teknik fitoremediasi biasanya dilakukan untuk pemulihan kondisi lingkungan dari cemaran logam-logam berat, seperti yang dikemukakan oleh Caroline (2015) bahwa fitoremediasi merupakan salah satu cara untuk mengembalikan kualitas lingkungan yang tercemar logam berat seperti Zn, Pb, Au serta Cr. Proses remediasi ini biasanya mengubah polutan atau materi toksik ke bentuk yang tidak berbahaya, biasanya proses tersebut berupa penghancuran, inaktivasi maupun imobilisasi polutan (Nursagita dan Titah, 2021). Penggunaan tanaman untuk membersihkan polutan logam berat melalui beberapa proses, yaitu fitoakumulasi, fitoekstraksi, rizofiltrasi, dan fitostabilisasi (Priyanto *et al*, 2006). Fitoremediasi memiliki keuntungan dalam penggunaannya, yaitu dapat dilakukan insitu ataupun eksitu, mudah dilakukan, murah, dapat bekerja pada senyawa anorganik dan organik, dapat mereduksi kontaminan dalam jumlah besar, dan ramah lingkungan (Laili, 2018).

Fitoremediasi mengandalkan tanaman dalam mereduksi limbah logam, maka tanaman yang digunakan untuk fitoremediasi harus memiliki kemampuan menyerap kontaminan dalam limbah. Tanaman untuk fitoremediasi bergantung pada sistem perakaran serta toleransi terhadap kontaminan (Sidauruk dan Sipayung, 2015). Maka jenis tanaman yang paling cocok untuk fitoremediasi yaitu tanaman yang memiliki sifat toleran terhadap kontaminan. Sifat

hipertoleran dapat mengindikasikan juga sifat hiperakumulator pada tanaman yang menjadi kunci karakteristik tanaman fitoremediasi. Tanaman dapat disebut hiperakumulator jika memiliki karakter tingkat laju penyerapan unsur dari tanah yang tinggi, tanaman dapat toleran terhadap kontaminan yang tinggi pada jaringan akar dan tajuknya, dan memiliki laju translokasi logam berat dari akar ke tajuk yang tinggi (Brown *et al.*, 1995).

Tanaman yang mampu mengurangi zat kontaminan pada limbah cair salah satunya yaitu mangrove, pada penelitian yang dilakukan oleh David *et al.* (2016) logam Cd dan Zn diserap dan diakumulasikan oleh *R. mucronata* melalui jaringan akar. Kandungan logam Cd yang berhasil diakumulasikan sebesar 2,99 ppm dan akumulasi Zn tertinggi sebesar 74,11 ppm. Besarnya Zn yang terserap menunjukkan kemampuan *R. mucronata* dalam mengakumulasi logam, selain itu pada penelitian yang dilakukan oleh Dedy *et al.* (2013) *R. mucronata* menunjukkan mekanisme fitoremediasi. Pada bagian akar dan daun terdapat akumulasi logam berat Cu, hasil analisis yang dilakukan menunjukkan kandungan logam Cu sebesar 14,38 mg/kg, sampai yang tertinggi sebesar 418,29 mg/kg berbeda menurut masing-masing perlakuan dan waktu. *R. apiculata* memiliki kemampuan menyerap polutan lebih baik dibandingkan jenis *A. marina* (Subiandono *et al.*, 2013).

1.5. Hipotesis

1. Jenis-jenis tanaman mangrove dari genus *Rhizophora* spp. memiliki daya adaptasi dan efektifitas dalam meremediasi cemaran limbah cair industri kelapa sawit.
2. Jenis *R. apiculata* merupakan jenis mangrove yang paling adaptif dan efektif dalam meremediasi cemaran limbah cair industri kelapa sawit.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah pemanfaatan tumbuhan untuk meminimalisasi dan mendetoksifikasi polutan, karena tumbuhan mempunyai kemampuan menyerap logam dan mineral yang tinggi dari media tanamnya (Dedy *et al.*, 2013). Metode fitoremediasi terbukti efisien dalam menghilangkan dan menurunkan berbagai jenis kontaminan baik di air maupun tanah yang tercemar. Tanaman yang digunakan untuk fitoremediasi beraneka ragam, baik yang berwujud seperti rumput maupun yang lainnya. Tanaman hiperakumulator merupakan tanaman yang dapat hidup pada keadaan dengan konsentrasi logam berat yang tinggi, tanaman ini juga dapat menyerap logam berat. Sehingga dengan tanaman hiperakumulator konsentrasi logam berat bisa berkurang (Al-Thani and Yasseen, 2020).

Fitoremediasi berkembang dengan pesat karena memiliki keunggulan dalam meremediasi ekosistem tanah dan air. Keunggulan yang ditawarkan yaitu lebih efisien, efektif, berkelanjutan, dan lebih ekonomis. Biaya operasi yang dikeluarkan untuk fitoremediasi lebih murah 75-85% dibandingkan metode konvensional (Elystia *et al.*, 2014). Lebih lanjut, fitoremediasi memiliki keunggulan yaitu dapat meremediasi senyawa organik dan anorganik. Namun demikian, fitoremediasi memiliki kerugian jika dilakukan insitu yaitu bergantung pada kondisi iklim. Hal lain yang menjadi kerugiannya adalah dapat mempengaruhi rantai makanan pada ekosistem tersebut dan membutuhkan waktu yang lama (Caroline dan Moa, 2015).

Menurut Russel (2005) Metode fitoremediasi memiliki beberapa keunggulan, diantaranya:

- a) Menurunkan biaya produksi tenaga kerja dan peralatan serta biaya operasional
- b) Menurunkan emisi karbon di udara
- c) Pencegah erosi tanah
- d) Perawatan yang murah serta mudah
- e) Peningkatan Keanekaragaman Hayati
- f) Mengurangi bising dan lebih ramah lingkungan

2.2. Mekanisme Fitoremediasi

Fitoremediasi memiliki berbagai mekanisme dalam proses mengurangi kontaminan. Jenis kontaminan, sifat tanah, dan ketersediaan hayati menjadi faktor utama dalam mekanisme dan efisiensi proses fitoremediasi (Li *et al.*, 2012). Tanaman memiliki mekanisme utama dalam menurunkan kadar toksik, yaitu penyerapan melalui sistem perakaran. Menurut Ma *et al.* (2011) sistem perakaran memiliki cakupan yang luas dalam menyerap dan mengakumulasi air, nutrisi, dan kontaminan non-esensial lainnya.

Fitoremediasi memiliki beberapa mekanisme dalam meremediasi kontaminan logam yang ada di air mengubahnya menjadi tidak beracun. Berikut macam-macam mekanisme fitoremediasi untuk menurunkan konsentrasi logam berat lewat proses fitoakumulasi, fitoekstraksi, rhizofiltrasi dan fitostabilisasi (Lailli, 2018)

- a) Fitoekstraksi yaitu kemampuan penyerapan logam berat yang dilakukan oleh akar tanaman dan kemampuan mengakumulasi logam berat ke dalam bagian-bagian tanaman (akar, daun dan batang), tanaman tersebut dikatakan sebagai tanaman hiperakumulator.
- b) Rhizofiltrasi yaitu pemanfaatan yang dilakukan oleh akar tanaman dalam menyerap, mengendapkan, serta mengakumulasi logam berat.

- c) Fitodegradasi merupakan metabolisme logam berat pada jaringan suatu tanaman oleh suatu enzim seperti enzim oksigenase dan dehalogenase
- d) Fitostabilisasi yaitu kemampuan tanaman untuk mengeluarkan senyawa kimia tertentu guna mengimobilisasi logam berat pada daerah perakaran.
- e) Fitovolatilisasi merupakan kemampuan tanaman untuk menyerap logam berat serta melepaskannya di udara melewati daun.

2.3. Bioindikator

Bioindikator merupakan organisme atau komunitas yang memberi informasi tentang kualitas suatu lingkungan. Terdapat kriteria organisme yang dapat digunakan sebagai indikator biologi dengan memperhatikan faktor: 1. Organisme harus sensitif terhadap material beracun dan perubahan lingkungan, 2. Penyebabnya luas dan mudah didapat dalam jumlah yang banyak, 3. Mempunyai arti ekonomi, rekreasi dan kepentingan ekologi baik secara daerah maupun nasional, 4. Mudah dipelihara dalam laboratorium, 5. Mempunyai kondisi yang baik, bebas dari penyakit dan parasite, 6. Sesuai untuk kepentingan uji hayati (Loeb dan Spacie, 1994). Ikan adalah salah satu spesies hewan yang sering digunakan sebagai bioindikator lingkungan untuk memantau tingkat pencemaran atau kualitas air lingkungan karena kepekaannya terhadap pencemaran. Ikan sering digunakan untuk mengetahui dampak berbagai jenis polutan organik (Sucman *et al.*, 2010).

Bioindikator merupakan makhluk hidup yang dijadikan petunjuk mengenai kondisi lingkungan dan sumber daya habitatnya (Rahardjanto, 2019).

Bioindikator digunakan untuk mendeteksi perubahan lingkungan baik itu positif ataupun negatif (Pratiwi, 2019). Faktor-faktor yang mengatur keberadaan bioindikator yaitu transmisi, cahaya, suhu, air, dan padatan tersuspensi. Menurut Khatri dan Tyagi (2015) untuk memprediksi tingkat kontaminan yang terkandung pada suatu lingkungan atau wilayah dapat menggunakan bioindikator.

2.4. Limbah Cair Kelapa Sawit

Limbah cair kelapa sawit dihasilkan melalui proses pengolahan industri kelapa sawit yang berasal dari pengolahan tandan buah segar. Kegiatan produksi kelapa sawit semakin meningkat hal tersebut berbanding lurus dengan jumlah limbah cair kelapa sawit yang dihasilkan (Kandi, 2019). Dalam sekali proses produksi pabrik kelapa sawit membutuhkan air yang sangat banyak, yaitu sekitar 2,2 m³/ton tandan buah segar. Limbah yang dihasilkan dari proses produksi mencapai 1,2-1,7 m³/ton tandan buah segar serta menghasilkan minyak sebanyak 2-3 ton (Maulinda, 2013).

Limbah yang dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit memiliki ciri bau yang menyengat dan warna yang pekat. Limbah cair kelapa sawit memiliki kandungan padatan di dalamnya. Padatan tersebut berasal dari lignoselulosa dengan komposisi lipid, yaitu material yang mengandung selulosa dan hemiselulosa (Irvan *et al.*, 2012). Limbah cair kelapa sawit memiliki kandungan organik dan anorganik dengan jumlah yang banyak. Kandungan organik lebih mudah dalam mengurainya jika dibandingkan dengan kandungan anorganik. Limbah cair kelapa sawit memiliki dampak negatif jika dibuang ke lingkungan tanpa tahap pengelolaan yang baik. Menurut Andika *et al.* (2020) dampak negatif yang dapat ditimbulkan adalah terjadinya tumor bahkan kematian pada organisme akuatik, mengganggu transparansi air, menghambat fotosintesis, menimbulkan keracunan ataupun tumor pada manusia.

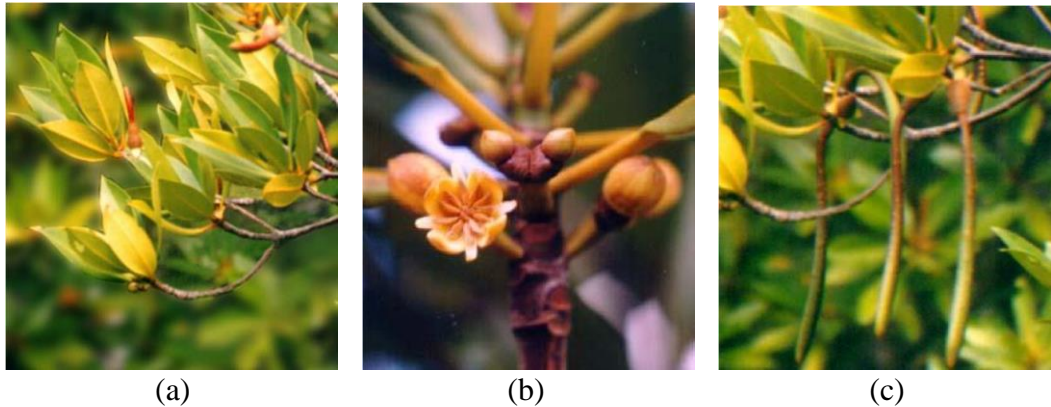
2.5. *Rhizophora* spp.

Tanaman *Rhizophora* sp. merupakan mangrove sejati. *Rhizophora* sp. berada dalam zona tengah yaitu zona yang mengarah kearah darat dengan bagian batang dan akarnya tergenang oleh air payau (Rahayu *et al.*, 2019). Berikut merupakan klasifikasi dari ketiga spesies *Rhizophora* spp. menurut Cronquist (1981).

Klasifikasi taksonomi *Rhizophora apiculata* adalah sebagai berikut.

Kingdom : *Plantae*

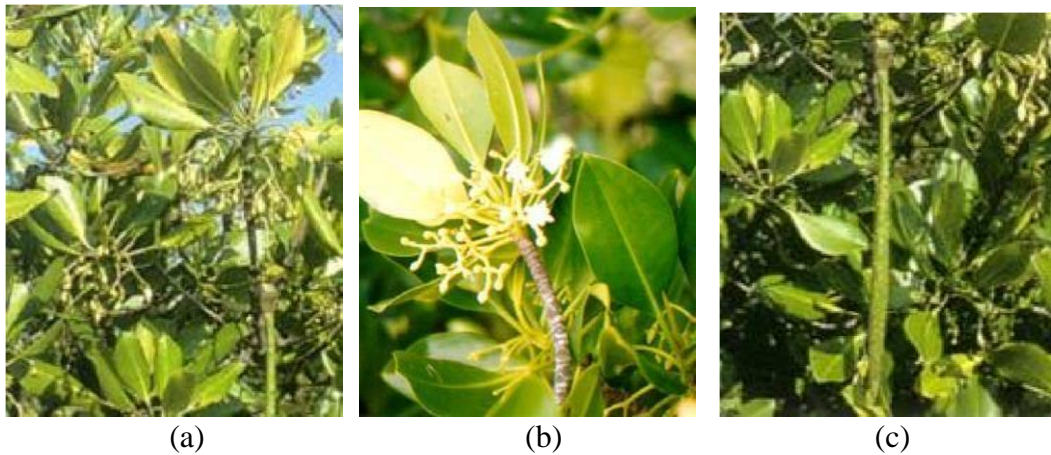
Divisi : *Magnoliophyta*
 Class : *Magnoliopsida*
 Ordo : *Myrtales*
 Famili : *Rhizophoraceae*
 Genus : *Rhizophora*
 Spesies : *Rhizophora mucronata*



Gambar 1. Daun (a), bunga (b), dan buah (c) *Rhizophora apiculata*
 Sumber gambar 1 : Noor *et al.* (1999)

Klasifikasi taksonomi *Rhizophora stylosa* adalah sebagai berikut.

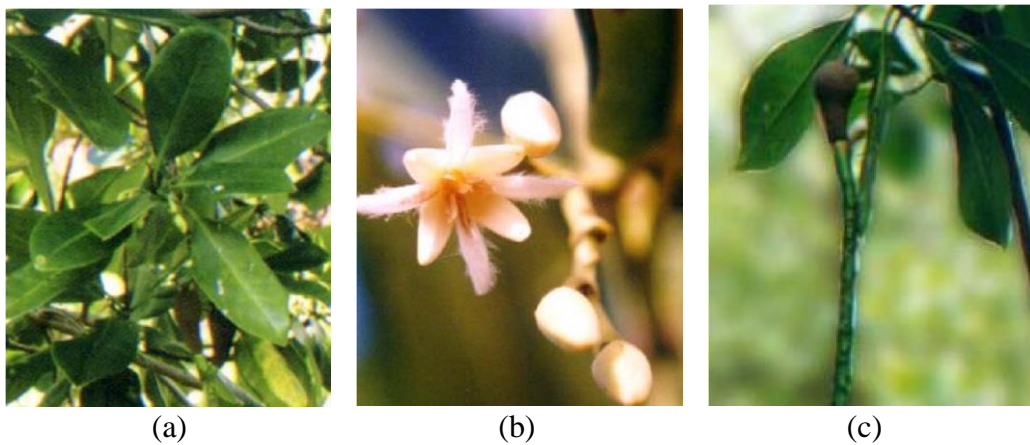
Kingdom : *Plantae*
 Divisi : *Magnoliophyta*
 Class : *Magnoliopsida*
 Ordo : *Myrtales*
 Famili : *Rhizophoraceae*
 Genus : *Rhizophora*
 Spesies : *Rhizophora stylosa*



Gambar 2. Daun (a), bunga (b), dan buah (c) *Rhizophora stylosa*
 Sumber gambar 2 : Noor *et al.* (1999)

Klasifikasi taksonomi *Rhizophora mucronata* adalah sebagai berikut.

Kingdom : *Plantae*
 Divisi : *Magnoliophyta*
 Class : *Magnoliopsida*
 Ordo : *Myrtales*
 Famili : *Rhizophoraceae*
 Genus : *Rhizophora*
 Spesies : *Rhizophora mucronata*



Gambar 3. Daun (a), bunga (b), dan buah (c) *Rhizophora mucronata*
 Sumber gambar 3 : Noor *et al.* (1999)

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni-Agustus 2023, berlokasi di rumah kaca, laboratorium lapangan terpadu, Universitas Lampung.

3.2. Alat & Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *styrofoam box* berukuran 52 cm x 37 cm x 19 cm, ember plastik berukuran 5 liter, *calliper*, penggaris dengan ketelitian 1 cm, pH meter, dan termometer. Bahan yang digunakan yaitu air tawar dan LCKS (limbah cair kelapa sawit) yang diambil dari PTPN VII Unit Bekri sebanyak 200 liter, limbah yang diambil berasal dari saluran pembuangan.

Tanaman uji yang digunakan yaitu bibit tanaman mangrove *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora apiculata*, dan *Rhizophora stylosa* berumur 2 bulan.

Bioindikator yang akan digunakan pada penelitian ini adalah ikan mas (*Cyprinus carpio*).

3.3. Rancangan Percobaan

Penelitian dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan perlakuan tunggal yaitu jenis-jenis tanaman *Rhizophora*. Ada 5 perlakuan yang diberikan yaitu L0 (100% air bersih + *Rhizophora* spp.) digunakan sebagai perbandingan laju pertumbuhan dengan tanaman yang diberi limbah, L1R0 (100% LCKS) untuk dijadikan pembanding *survival rate* bioindikator, L1R1 (100%

LCKS + *Rhizophora apiculata*), L1R2 (100% LCKS + *Rhizophora stylosa*), dan L1R3 (100% LCKS + *Rhizophora mucronata*). Tiap perlakuan diulang sebanyak 4 kali kecuali pada perlakuan kontrol yaitu L0, sehingga keseluruhan unit percobaan berjumlah 16 unit percobaan ditambah 3 unit kontrol. Setiap unit percobaan digunakan 5 bibit *Rhizophora* sehingga total bibit yang dibutuhkan berjumlah 75 bibit yang terdiri atas 25 bibit *Rhizophora apiculata*, 25 bibit *Rhizophora mucronata*, dan 25 bibit *Rhizophora stylosa*.

Model matematika dari Rancangan Acak Lengkap yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut (Sugandi dan Sugiarto, 1994).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Keterangan :

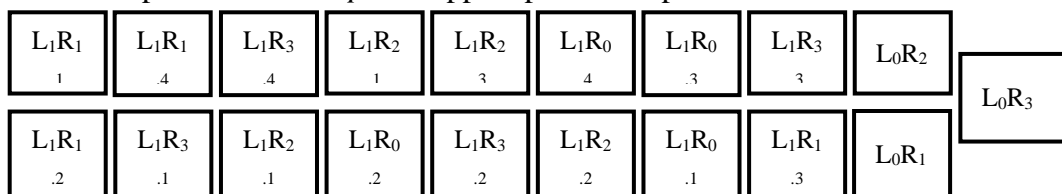
Y_{ij} : Hasil pengamatan yang mendapat perlakuan taraf ke-j dan ditempatkan di ulangan ke-i

μ : Pengaruh rata-rata umum perlakuan

τ_i : Pengaruh perlakuan taraf ke-j

ε_{ij} : Pengaruh galat percobaan dari perlakuan taraf ke-j dan ulangan ke-i

Tata letak perlakuan *Rhizophora* spp. dapat dilihat pada Gambar.



Gambar 4. Tata letak percobaan dalam Rancangan Acak Lengkap (RAL)

Keterangan :

L₀R₁ : 100% air bersih + *Rhizophora apiculata*

L₀R₂ : 100% air bersih + *Rhizophora stylosa*

L₀R₃ : 100% air bersih + *Rhizophora mucronata*

L₁R_{0.1} : 100% LCKS tanpa *Rhizophora* spp. ulangan ke-1

L₁R_{0.2} : 100% LCKS tanpa *Rhizophora* spp. ulangan ke-2

L₁R_{0.3} : 100% LCKS tanpa *Rhizophora* spp. ulangan ke-3

L₁R_{0.4} : 100% LCKS tanpa *Rhizophora* spp. ulangan ke-4

- L₁R_{1.1} : 100% LCKS + *R.apiculata* pada ulangan ke-1
L₁R_{1.2} : 100% LCKS + *R.apiculata* pada ulangan ke-2
L₁R_{1.3} : 100% LCKS + *R.apiculata* pada ulangan ke-3
L₁R_{1.4} : 100% LCKS + *R.apiculata* pada ulangan ke-4
L₁R_{2.1} : 100% LCKS + *R.stylosa* pada ulangan ke-1
L₁R_{2.2} : 100% LCKS + *R.stylosa* pada ulangan ke-2
L₁R_{2.3} : 100% LCKS + *R.stylosa* pada ulangan ke-3
L₁R_{2.4} : 100% LCKS + *R.stylosa* pada ulangan ke-4
L₁R_{3.1} : 100% LCKS + *R.mucronata* pada ulangan ke-1
L₁R_{3.2} : 100% LCKS + *R.mucronata* pada ulangan ke-2
L₁R_{3.3} : 100% LCKS + *R.mucronata* pada ulangan ke-3
L₁R_{3.4} : 100% LCKS + *R.mucronata* pada ulangan ke-4

3.4. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan meliputi berbagai macam kegiatan sebagai berikut.

3.4.1. Penyiapan Bahan Limbah Cair Kelapa Sawit

Limbah cair kelapa sawit didapatkan dari PT. Perkebunan Nusantara VII Unit Bekri, Lampung Tengah. Limbah cair diambil dari saluran pembuangan limbah industri kelapa sawit sebanyak 200 liter. Lalu dimasukkan ke dalam wadah dan dibawa ke rumah kaca untuk dilakukan percobaan yaitu menumbuhkan tanaman *Rhizophora* spp pada LCKS.

3.4.2. Penyediaan Bibit Mangrove (*Rhizophora* spp.)

Bibit tanaman mangrove yaitu *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora apiculata*, dan *Rhizophora stylosa* didapatkan dari pembibitan lokal di Sidodadi, Kab.

Pesawaran, Lampung dengan umur 2,5 bulan. Bibit yang digunakan harus memiliki keseragaman yang baik yaitu untuk jenis *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora stylosa*, dan *Rhizophora Mucronata* memiliki keseragaman tinggi 25-30 cm, diameter 3-4 cm dan memiliki jumlah daun dari 4-6 daun. Bibit yang akan digunakan sebelumnya dibersihkan dari kotoran dan selanjutnya dilakukan aklimatisasi. Aklimatisasi dilakukan agar bibit yang digunakan dapat beradaptasi dengan kondisi dan media yang akan digunakan. Proses aklimatisasi dilakukan dengan meletakkan bibit pada ember selama 3 hari yang diisi dengan air tawar sebelum dipindahkan ke dalam *Styrofoam box*. Sebelum dilakukannya pemindahan bibit yang telah diaklimatisasi, terlebih dahulu dilakukan penambahan media tanaman mangrove dengan ukuran yang seragam agar media tumbuh tidak menjadi penghambat pertumbuhan pada tanaman mangrove.

3.4.3. Penyediaan Bioindikator

Bioindikator yang digunakan pada penelitian ini yaitu ikan mas (*Cyprinus carpio*) berumur 2 bulan dengan ukuran 6-8 cm. Ikan mas terlebih dahulu diseleksi untuk mendapatkan ikan mas yang seragam serta dalam kondisi fisik yang baik tanpa cacat, bioindikator yang akan digunakan melewati aklimatisasi selama 24 jam dengan cara memasukan ikan mas ke dalam styrofoam box yang diisi dengan air bersih. Ikan mas didapatkan dari pembudidaya perikanan di sekitar Bandar Lampung.

3.4.4. Uji Adaptasi

Uji kemampuan adaptasi tiga jenis tanaman mangrove (*Rhizophora spp.*) dengan cara menumbuhkannya pada media tercemar limbah industri sawit selama 8 minggu. Pengujian dilakukan dengan mengisi *Styrofoam box* dengan LCKS sebanyak 10 liter sebagai media tumbuh, lalu memasukkan 5 bibit tanaman mangrove (*Rhizophora spp.*) per *Styrofoam box*. Pengujian ini dilakukan untuk melihat kemampuan adaptasi tanaman mangrove pada cemaran limbah industri kelapa sawit dengan konsentrasi tertentu.

3.4.5. Uji Efektifitas

Uji efektifitas pada ketiga jenis mangrove (*Rhizophora* spp.) dengan cara melepaskan ikan mas (*Cyprinus carpio*) berumur 2 bulan pada media tanam berupa air tercemar yang sudah diremediasi. Uji ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui efektifitas dari hasil remediasi tanaman mangrove (*Rhizophora* spp.) dengan ikan mas sebagai bioindikator. Respon atau perubahan tingkah laku ikan mas terhadap cemaran limbah industri sawit yang telah diremediasi merupakan hal yang diamati pada uji ini. Pelepasan ikan mas dimulai dari 0 minggu, 2 minggu, 4 minggu, dan seterusnya.

3.5. Variabel Penelitian

Variabel yang diamati pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.5.1. Persen Hidup Mangrove

Persentase hidup dihitung dengan membandingkan antar jumlah bibit yang tumbuh dengan baik (hidup) terhadap jumlah bibit yang ditanam pada saat awal penelitian dan setiap 2 minggu pengujian atau dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\text{Persentase Keberhasilan Hidup (\%)} = \frac{\text{Bibit yang hidup}}{\text{Bibit yang ditanam}} \times 100\%$$

3.5.2. Pertambahan Jumlah Daun

Parameter pertambahan jumlah daun dilakukan dengan menghitung seluruh jumlah daun yang hidup pada bibit. Daun yang dihitung yaitu daun yang sudah terbuka sempurna, sedangkan daun yang masih menggulung tidak masuk dalam hitungan. Parameter ini dilakukan setiap satu minggu sekali selama penelitian.

3.5.3. Pertambahan Tinggi (cm)

Pengukuran tinggi tanaman mangrove bakau (*Rhizophora* spp.) dilakukan menggunakan penggaris mulai dari ujung propagul dimana tunas tumbuh sampai ujung pucuk tertinggi. Pengukuran tinggi dilakukan pada setiap satu minggu sekali.

3.5.4. Pertambahan Diameter Batang (mm)

Pengukuran diameter batang dilakukan dengan menggunakan *calliper* pada awal di setiap 1 minggu pengujian.

3.5.5. Perubahan pH

Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter untuk mengetahui apakah terjadi penurunan nilai pH pada cemaran limbah cair industri sawit sebelum dilakukan remediasi dan setelah dilakukan remediasi.

3.5.6. Perubahan Suhu

Pengujian suhu dilakukan dengan menggunakan termometer untuk mengetahui suhu air. Pengujian suhu dilakukan setiap 1 minggu sekali di pagi, siang, dan sore hari. Suhu air yang melebihi batas normal menunjukkan indikasi terdapat bahan kimia yang terlarut dalam jumlah yang cukup besar atau sedang terjadi proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme (Amani dan Prawiroredjo, 2016).

3.5.7. Tingkat Ketahanan Hidup (*survival rate*) Bioindikator

Pengujian efektifitas hasil fitoremediasi terhadap ikan mas dilakukan setiap 2 minggu sekali. Parameter ini dilakukan untuk membuktikan efektifitas mangrove

sebagai agen fitoremediasi mampu mengurangi efek toksik limbah cair industri sawit, yang ditandai dengan ketahanan hidup ikan sebagai bioindikator.

Perhitungan ketahanan hidup ikan dapat dihitung menggunakan rumus (Effendie, 1979) sebagai berikut.

$$SR = \frac{N_t}{N_o} \times 100\%$$

Keterangan :

Survival Rate (SR) : Kelulushidupan ikan (%)

N_t : Jumlah ikan yang hidup pada akhir penelitian (ekor)

N_o : Jumlah ikan yang hidup pada awal penelitian (ekor)

3.6. Analisis Data

3.6.1. Homogenitas Ragam

Homogenitas ragam diuji menggunakan uji Bartlett pada taraf nyata 5%, dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$S^2 = \frac{\sum\{(n_i-1)S_i^2\}}{\sum(n_i-1)}$$

$$B = (\log s^2) \sum(n_i - 1)_i$$

$$X^2 \text{ hitung} = (\ln 10) (B - \sum(n_i - 1) \log S_i^2)$$

$$X^2 \text{ tabel} = X^2 (1 - \alpha)(db)$$

Keterangan :

N : Jumlah data

B : Nilai Bartlett = $(\sum db) \log s^2$

S_i^2 : Varians data untuk setiap kelompok ke-1

db : derajat bebas

Hasil penghitungan X^2 hitung dibandingkan dengan X^2 tabel. Jika X^2 hitung $>$ X^2 tabel, maka data yang diperoleh tidak homogen, sehingga perlu dilakukan transformasi data.

Uji Bartlett digunakan untuk menguji homogenitas varians lebih dari dua kelompok data. Langkah-langkah uji homogenitas menggunakan uji Bartlett (Nuryadi *et al.*, 2017).

- Menghitung derajat bebas (db) masing-masing kelompok
- Menghitung varians (s) masing-masing kelompok
- Menghitung besarnya $\log S^2$ untuk masing-masing kelompok
- Menghitung besarnya dk. $\log S^2$ untuk masing-masing kelompok

Tabel 1. Penyajian hasil data

Sampel	db = N-1	$\frac{1}{db}$	S	S^2	Log(S^2)	Db (S^2)	db (log(S^2))
Jumlah							

- Menghitung nilai varians gabungan semua kelompok dengan rumus sebagai berikut.

$$S^2 = \frac{(\sum db S_i^2)}{\sum db}$$

- Menghitung nilai B (nilai Bartlett) dengan rumus sebagai berikut.

$$B = \sum db (\log S^2)$$

- Menghitung nilai X^2 dengan rumusan sebagai berikut.

$$X^2 = (\ln 10) [B - (\sum db \log S_i^2)]$$

- Setelah nilai X^2 hitung diperoleh, maka nilai X^2 tersebut dibandingkan dengan X^2 tabel. Kriteria Homogen ditentukan jika X^2 hitung < X^2 tabel.

Hipotesis pengujian :

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \dots = \sigma_n^2$$

H_a : Paling sedikit salah satu tanda tidak sama

Kriteria Pengujian :

Jika X^2 hitung $< X^2$ tabel ($1-\alpha$; db=n-1), maka Terima H_0

Jika X^2 hitung $\geq X^2$ tabel ($1-\alpha$; db=n-1), maka Tolak H_0

3.6.2. Analisis Sidik Ragam (ANOVA)

Analisis ragam dilakukan menggunakan uji F pada taraf nyata 5% untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh nyata dari perlakuan yang diberikan.

Tabel 2. Data ulangan dan perlakuan

Ulangan	Perlakuan			
	L1R0	L1R1	L1R2	L1R3
1	L1R0.1	L1R1.1	L1R2.1	L1R3.1
2	L1R0.2	L1R1.2	L1R2.2	L1R3.2
3	L1R0.3	L1R1.3	L1R2.3	L1R3.3
4	L1R0.4	L1R1.4	L1R2.4	L1R3.4
Total	T0	T1	T2	T3
Rata-rata				

Perhitungan :

- Faktor Koreksi (FK) $= \frac{\sum(Y_{ij})^2}{n}$
- Jumlah Kuadrat Total (JKT) $= \sum Y_{ij}^2 - FK$
- Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP) $= \frac{\sum Y_j^2}{r} - FK$
- Jumlah Kuadrat Galat (JKG) $= JKT - JKP$

Tabel 3. Analisis Ragam

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F hitung	F tabel 5%
Perlakuan (p)	p-1	JKP	$KTP = \frac{JKP}{DBP}$	$\frac{KTP}{KTG}$	
Galat (g)	p(s-1)	JKG	$KTG = \frac{JKG}{DBG}$		
Total	Sp-1	JKT			$KK = \frac{\sigma}{y} 100\%$

Keterangan :

p = Banyaknya perlakuan

- s = Rata-rata banyaknya ulangan
v1 = db perlakuan
v2 = db galat

Jika hasil menunjukkan $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka terdapat pengaruh nyata dari perlakuan yang diberikan dan akan dilanjutkan ke uji lanjut. Namun jika $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka tidak ada pengaruh nyata dari perlakuan yang diberikan, sehingga tidak perlu dilakukan uji lanjut (Gaspersz, 1991).

3.6.3. Uji Beda Nilai Tengah Perlakuan

Model uji beda nilai tengah digunakan untuk menganalisis model penelitian pre-post atau sebelum dan sesudah penelitian. Uji beda ini digunakan untuk mengevaluasi perlakuan (*treatment*) tertentu pada satu sampel yang sama pada dua periode pengamatan yang berbeda (Pramana, 2012). Menurut Irvan *et al* (2021) jika asumsi terpenuhi, maka data perbedaan nilai tengah perlakuan diuji dengan uji beda nilai tengah (BNT). Prinsip uji lanjut BNT adalah perbandingan rata-rata antara dua nilai rata-rata atau perbandingan pasangan rata-rata. Dua rata-rata dinyatakan berbeda secara nyata/signifikan apabila mempunyai selisih yang lebih besar dibandingkan dengan nilai BNT. Untuk melihat perbedaan antar nilai tengah perlakuan dilakukan Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada $\alpha = 0,05$ (Madya, 2014).

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Penelitian ini memiliki simpulan sebagai berikut.

1. Ketiga jenis *Rhizophora* spp tidak efektif dalam meremediasi cemaran limbah industri sawit. Hal tersebut ditunjukkan dari nilai *survival rate* bioindikator yang sangat rendah hingga minggu ke-9 yaitu 0%, berbanding terbalik dengan kontrol positif yang memiliki nilai *survival rate* mencapai 100%.
2. *R. apiculata* dan *R. stylosa* merupakan jenis yang paling adaptif terhadap cemaran limbah cair kelapa sawit. Kemampuan adaptif itu ditunjukkan oleh parameter persen hidup yang lebih tinggi dibandingkan *R. mucronata*, walaupun ketiga jenis *Rhizophora* memiliki pertambahan tinggi, diameter, dan jumlah daun yang sama.
3. Pada penelitian ini didapatkan temuan tambahan bahwa *R. apiculata* sejatinya memiliki kemampuan remediasi yang lebih baik dari kedua spesies *Rhizophora* yang lain. Hal ini terlihat pada meningkatnya jangka waktu hidup bioindikator hingga 6 jam pada minggu ke-9.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka tidak disarankan untuk meremediasi cemaran limbah cair kelapa sawit yang baru keluar dari saluran pembuangan. Hal tersebut dikarenakan senyawa BOD, COD, dan padatan tersuspensi yang terkandung dalam limbah masih sangat tinggi. Proses fitoremediasi akan lebih maksimal dan efektif jika limbah diproses terlebih dahulu

ke dalam kolam endapan atau anaerobik. Berdasarkan hasil penelitian yang telah didapat maka disarankan untuk dilakukan penelitian dengan agen fitoremediasi yang sama namun dengan limbah yang sudah melalui tahap pengendapan atau anaerobik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, A., Budihastuti, R. dan Hastuti, E. D. 2016. Pertumbuhan semai *Rhizophora mucronata* pada saluran tambak wanamina dengan lebar yang berbeda. *Jurnal Biologi*. 5(1) : 48-59.
- Amani, F. dan Prawiroedjo, K. 2016. Alat ukur kualitas air minum dengan parameter ph, suhu, tingkat kekeruhan, dan jumlah padatan terlarut. *Jurnal Elektro Trisakti*. 14(1) : 49-62.
- Andika, B., Wahyuningsih, P., dan Fajri, R. 2020. Penentuan nilai BOD dan COD sebagai parameter pencemaran air dan baku mutu air limbah di pusat penelitian kelapa sawit (PPKS) Medan. *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, 2(1) : 14-22.
- Annisa, S. 2022. Daya adaptasi dan efektivitas mangrove bakau (*Rhizophora* spp.) sebagai agen remediasi cemaran limbah detergen. *Skripsi*.
- Atiqah, S. R. 2022. Fitoremediasi limbah cair kelapa sawit di pt. beurata subur persada menggunakan tanaman lawi-lawi (*Caulerpa Recemosa*). *Skripsi*.
- Awheda, I., A. Y. Ahmed. and M. A. S. Fahej. 2015. Fish as bioindicator of heavy metal pollution in marine environment. *Indian Journal of Applied Research*, 379-384.
- Azwir, 2006, Analisa Pencemaran air sungai tapung kiri oleh limbah industri kelapa sawit PT. Peputra Masterindo di Kabupaten Kampar, *Tesis*, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Bahri, Syamsul. 2010. Fitoremediasi timbal (Pb) dalam air tercemar oleh tumbuhan air great duckweed (*Spirodela polyrhiza*). *Jurnal Teknik Hidraulik*. Vol. 1 No,2 : 95-192.
- Brown S.L., R.L.Chaney, J.S.Angle and A.J.M. Baker. 1995. Zink and Cadmium uptake by hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* grown in nutrient solution. *Soil science Society of America Journal* 59:125-133.

- Caroline, J. dan Moa, G.A., 2015. Fitoremediasi logam timbal (Pb) menggunakan tanaman melati air (*Echinodorus palaefolius*) pada limbah industri peleburan tembaga dan kuningan. *In Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III* : 733-744.
- Cronquist, A. 1981. *An integrated system of classification of flowering plants*. Buku. Columbia University Press. New York. 1262 hlm.
- Dharmaningtyas, N., Muskananfola, M. R., dan Taufani, W. T. 2022. kemampuan mangrove *Avicennia* sp., dan *Rhizophora* sp. dalam fitoremediasi logam berat Timbal (Pb), Tembaga (Cu) dan Kadmium (Cd) di Kawasan Mangrove, Trimulyo, Genuk, Semarang. *Jurnal Pasir Laut*, 6(1) : 29-32.
- David, M., Liong, S., dan Hala, Y. 2016. *Fitoakumulasi Cd dan Zn dalam Tumbuhan Bakau Rhizophora mucronata di Sungai Tallo Makassar*. Universitas Hasanuddin.
- Dedy, I., Santoso, A., dan Irwani, I. 2013. Studi akumulasi logam Tembaga (Cu) dan efeknya terhadap struktur akar mangrove (*Rhizophora mucronata*). *Journal of marine research*, 2 (4) : 8-15.
- Effendie, M. I. 1979. *Metode Biologi Perikanan*. Buku. Yayasan Pustaka Nusantara. Yogyakarta. 162 hlm.
- Elystia S., A. Sasmita, dan Purwanti. 2014. Pengolahan kandungan COD limbah cair pabrik kelapa sawit oleh *Typha latifolia* dengan metode fitoremediasi. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*, 11(2) : 88-95.
- Farhan, I., 2017. *Peranan Mangrove Avicennia Marina dan Rhizopora Apiculeta dalam Menurunkan Logam Zn* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Febriana I. 2017. Pengolahan limbah cair kelapa sawit menggunakan membran berbasis kitosan, pva dan silika. *Jurnal Penelitian Teknologi Industr*, 9(2) : 73-84.
- Hanum, F., Tambun, R., Ritonga, M.Y. dan Kasim, W.W., 2015. Aplikasi elektrokoagulasi dalam pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(4): 13-17.
- Heriyanto, N.M. 2011. Kandungan logam berat padatumbuhan, tanah, air, ikan dan udang di hutan Mangrove. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 8(4) : 197-205.
- Hermana, J. 2006. Pengujian Toksisitas Limbah Pelumas Terhadap Ikan Mas (*Cyprinus carpio*). *Jurnal Purifikasi*, 7(1) : 73-78.

- Ilmannafian, A. G., Lestari, E., dan Khairunisa, F. 2020. Pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit dengan metode filtrasi dan fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(2) : 1-10.
- Irvan. 2012. Pengolahan lanjutan limbah cair kelapa sawit secara aerobik menggunakan *Effetive Microorganisme* guna mengurangi nilai TSS. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 1(2) : 27-30.
- Kandi, R. Nila. 2019. Fitoremediasi Limbah Cair Kelapa Sawit Menggunakan Kangkung Air (*Ipomoea aquatic* Forsk). *Skripsi*.
- Khatri N, Tyagi S. 2015. Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas. *Front Life Sci*. 8(1) : 23-39.
- Lacerda, L D. 1993. The Biogeochemistry And Trace Metal Distribution of Mangrove Rhizospheres. *Biotropica*, 25(3) : 252- 257.
- Lailli, N.N. 2018. Fitoremediasi Tanaman Mangrove Jenis *Rhizophora Apiculata* Terhadap Konsentrasi Timbal (Pb) Pada Tanah. *Skripsi*. Universitas Jember.
- Lestari, Y. P., dan Aminatun, T. 2018. Efektivitas Variasi Biomassa Tanaman *Hydrilla verticillata* Dalam Fitoremediasi Limbah Batik. *Kingdom (The Journal of Biological Studies)*, 7(4): 233-241.
- Li, H.-Y., Wei, D.-Q., Shen, M., and Zhou, Z.-P. 2012. Endophytes and their role in phytoremediation. *Fungal Diversity*, 54(1) : 11-18.
- Loeb, S.L. dan Spacie, A. 1994. *Biological Monitoring of Aquatic System*. Lewis Publishers. Florida, United States of America.
- Ma. A. N. 2000. Management of palm oil industrial effluent. In. Basiron, Y., B.S. Jailani and k.w. Chan . *Advances in oil palm research*. Vol II. Malaysian palm oil board, Ministry of primary industrie, Malaysia
- Ma, Y., Prasad, M. N. V., Rajkumar, M., and Freitas, H. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils. *Biotechnology Advances*, 29(2) : 248– 258.
- Madya, *et al.* 2014. Pengaruh konsentrasi etanol dan lama deraan pada viabilitas benih buncis (*Phaseolus vulgaris* L.). *Jurnal Agrotek Tropika*. 2 (1): 83-88.
- Martoyo, J. Aji N. Winanto T. 2006. *Budidaya Teripang*. Edisi Revisi. Jakarta: Penebar Swadaya.

- Maulinda L. 2013. Pengolahan Awal Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit Secara Fisika. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 2(2) : 31-41.
- Mentari, R. J., Soenardjo, N., dan Yulianto, B. 2022. Potensi Fitoremediasi Mangrove *Rhizophora mucronata* Terhadap Logam Berat Tembaga di Kawasan Mangrove Park, Pekalongan. *Journal of Marine Research*, 11(2) : 183-188.
- Miller, R.K., 1996. *Ground-Water Remediation Technology Analysis Center. Technology Overview Report*. TO-96-03.
- Mulyadi, E. dan Fitriani, N., 2010. Konservasi hutan mangrove sebagai ekowisata. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2(1) : 11-18.
- Moertinah, S., 2010. Kajian proses anaerobik sebagai alternatif teknologi pengolahan air limbah industri organik tinggi. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, 1(2) : 104-114.
- Noor, Y. R., Khazali, M. dan Suryadiputra, I. N. N. 1999. *Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia*. Buku. PHKA/WI-I. Bogor. 228 hlm.
- Nursagita, Y.S. dan Titah, H.S., 2021. Kajian Fitoremediasi untuk Menurunkan Konsentrasi Logam Berat di Wilayah Pesisir Menggunakan Tumbuhan Mangrove (Studi Kasus: Pencemaran Merkuri di Teluk Jakarta). *Jurnal Teknik ITS*, 10(1) : G22-G28.
- Nuryadin, S., Sikumbang, D. dan Pramudiyanti, P., 2014. Pengaruh Bioremediasi Semanggi Pada Limbah Cair Tahu Terhadap Kelulushidupan Benih Ikan Leledumbo. *Jurnal Bioterdidik, Wahana Ekspresi Ilmiah*, 2(1) : 1-14.
- Oktavia, Z., Budiyono. dan Dewanti, N. A. Y. 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*, 4(5) : 238-246.
- Permana, D. 2003. *Keanekaragaman Makrobentos di Bendungan Bapang dan Bendungan Ngablabaan Sragen*. Surakarta: Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sebelas Maret.
- Pratiwi, A. 2019. Bioindikator Kualitas Perairan Sungai. *Journal Of Chemical Information and Modeling*.
- Priyatno, B dan Prayitno, J. 2008. Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran Khususnya Logam Berat. [Serial Online]. <http://lml.bppt.tripod.com/>. [2 Juli 2017]

- Rahardjanto, A. (2019). *Bioindikator (Teori dan aplikasi dalam biomonitoring)* Vol. 1. UMM Press.
- Rahayu, A., Masturi, M. dan Yulianti, I., 2015. Pengaruh perubahan massa zeolit terhadap kadar pH limbah pabrik gula melalui media filtrasi. *Jurnal Fisika*, 5(2).
- Rahayu, S., Rozirwan, R., dan Purwiyanto, A. I. S. 2019. Daya hambat senyawa bioaktif pada mangrove *Rhizophora* Sp. sebagai antibakteri dari perairan Tanjung Api-Api, Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Sains*, 21(3) : 151-162.
- Rahman, F. A., Listari, N., dan Jannah, S. W. 2022. Bioakumulasi Logam Berat (Pb) pada Vegetasi Mangrove Famili *Rhizophoraceae* di Teluk Lembar Kabupaten Lombok Barat. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 10(2) : 1273-1284.
- Russell, Kristi. 2005. *The Use and Effectiveness of Phytoremediation to Treat Persistent Organic Pollutants*. US Environmental Protection Agency Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation and Field Services Division. Washington, DC
- R. F. Al-Thani and B. T. Yasseen., 2020. "Phytoremediation of polluted soils and waters by native Qatari plants: future perspectives," *Environ. Pollut.*, vol. 259 : 113694.
- Salmin, S. 2005. Oksigen terlarut (DO) dan kebutuhan oksigen biologi (BOD) sebagai salah satu indikator untuk menentukan kualitas perairan. *Oseana*, 30(3) : 21-26.
- Sidauruk, L. dan Sipayung, P., 2015. Fitoremediasi lahan tercemar di kawasan industri Medan dengan tanaman hias. *Pertanian Tropik*, 2(2) : 157093.
- Silva, Carlos Augusto R. 1990. Metal Reservoir In a Red Mangrove Forest. *Biotropica*, 22(4) : 60-68.
- Sinulingga, N., 2015. Fitoremediasi Logam Merkuri (Hg) Pada Media Air Oleh Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica* Forsk.). *BIOLINK (Jurnal Biologi Lingkungan Industri Kesehatan)*, 2(1) : 74-80.
- Sitorus, Y. R., dan Mardina, V. 2020. Karakteristik kimia dari pengolahan limbah cair kelapa sawit PTPN Y. *Jurnal Environment Science*, 4(2):58-66.
- Subiandono, E., Bismark, M., dan Heriyanto, N. M. 2013. Kemampuan *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. dan *Rhizophora apiculata* Bl. dalam penyerapan polutan logam berat. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 10 (1) : 93-102.

- Sucman, E., Vávrová, M., Zlámalová, H., dan Mahrová, M. 2010. Fish–useful bio indicators for evaluation of contamination in water ecosystems. *Proceedings of the Annual International Conference on Soils, Sediments, Water and Energy*, Volume 11(3).
- Sulistiyowati, H. 2009. Biodiversitas Mangrove di Cagar Alam Pulau Sempu. *Jurnal Saintek*, 8(1) : 59-64.
- Supriyantini, E., Nuraini, R.A.T. dan Dewi, C.P., 2017. Daya Serap Mangrove *Rhizophora* sp. Terhadap Logam Berat Timbal (Pb) Di Perairan Mangrove Park, Pekalongan. *Jurnal Kelautan Tropis*, 20(1) : 16-24.
- Suryadi, I. B. B., Bari, I. N., dan Lal, T. M. 2021. Efek Subletal Fungisida Berbahan Dasar *Bacillus amyloliquefaciens* Pada Benih Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) Dan Ikan Mas (*Cyprinus carpio*). *Jurnal Akuakultur Rawa Indonesia*, 9(2) : 185-199.
- Syahrial, S., Bengen, D. G., Prariono, T., dan Amin, B. 2018. Faktor Yang Mempengaruhi Kesehatan Populasi *Rhizophora Apiculata* Berdasarkan Karakteristik Lingkungan Pada Kawasan Industri Perminyakan Dan Non Kawasan Industri Di Provinsi Riau Menggunakan Analisis Komponen Utama (Pca). *Jurnal Enggano*, 3(2):228-240.
- Titiresmi, T., dan Handayani, T. 2012. Pengujian Toleransi Mangrove Muda Terhadap Cemaran Minyak Bumi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 13(3) : 261-268.
- Wahyudi, Akmal, dan Neliyat. 2018. Pengaruh Pemberian Limbah Cair Kelapa Sawit Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai Edamame (*Glycine max* (L.)Merril) pada Tanah Ultisol. Artikel Ilmiah Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Jambi: 1-13
- Yulianti, M. R. 2021. Asosiasi Antar Species Gastropoda Dengan Species Mangrove Di Muara Sungai Pangkajene Kabupaten Pangkep Sulawesi Selatan. *Skripsi*. Universitas Hasanuddin.
- Zulfahmi, I., Muliari, M. I., dan Mawaddah, I. (2017). Toksisitas limbah cair kelapa sawit terhadap ikan nila (*Oreochromis niloticus* Linneus 1758) dan ikan bandeng (*Chanos chanos* Froskall 1755). *Agricola*, 7(1), 44-55.