

**POTENSI TANAMAN FITOREMEDIASI MERKURI DI SEMPADAN
SUNGAI WAY RATAI DESA BUNUT SEBERANG KECAMATAN WAY
RATAI KABUPATEN PESAWARAN LAMPUNG**

(Tesis)

Oleh

**INDAH ELYANTI
NPM 1820011004**



**PROGRAM STARATA 2
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PASCASARJANA UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

POTENSI TANAMAN FITOREMEDIASI MERKURI DI SEMPADAN SUNGAI WAY RATAI DESA BUNUT SEBERANG KECAMATAN WAY RATAI KABUPATEN PESAWARAN LAMPUNG

Oleh

INDAH ELYANTI

Pertambangan Emas Skala Kecil (PESK) di Desa Bunut Seberang Kecamatan Way Ratai Kabupaten Pesawaran Lampung saat ini terdapat 45 titik. Proses pengolahan emas dengan teknik amalgamisasi menggunakan merkuri untuk mendapatkan bijih emasnya. Limbah lumpur/tailing mengandung merkuri ditampung dalam kolam selanjutnya dibuang ke sempadan sungai sehingga sangat berbahaya karena dapat mencemari air, tanah dan biota sungai. Tujuan penelitian ini adalah menetapkan pengaruh merkuri pada tanah terhadap keanekaragaman tanaman, menetapkan pengaruh jarak lokasi dari sumber pencemar terhadap kadar merkuri pada tanah, dan mengidentifikasi potensi tanaman fitoremediasi merkuri serta mengetahui serapan merkuri pada tanaman konsumsi.

Metode pengambilan sampel *purposive sampling*, teknik sampling tumbuhan metode garis berpetak, ukuran petak 20m x 20m untuk analisis fase pohon, 10m x 10m fase tiang, 5m x 5m fase pancang dan 2m x 2m fase semai dan tumbuhan bawah. Sampel tanah diambil pada tiap plot 3x pengulangan. Sampel buah yang diambil adalah Kakao (*Theobroma cacao*), Pepaya (*Carica papaya*) dan Pisang (*Musa acuminata*). Parameter yang diamati adalah frekuensi, dominansi, shannon indek, indek nilai penting, kadar merkuri pada tanah, tekstur tanah, dan kadar merkuri pada buah.

Hasil analisis menemukan tanaman Kirinyuh (*Chromolaena odorata*), Kangkung rambat (*Ipomoea lacunosa*), dan Putri malu (*Mimosa pudica*) berpotensi sebagai tanaman fitoremediasi merkuri. Indek keanekaragaman tanaman dipengaruhi oleh kadar merkuri pada tanah sebesar 71,7% sedangkan 28,3% faktor lainnya. Kadar merkuri pada tanah dipengaruhi oleh jarak lokasi dari PESK sebesar 85,9% sedangkan 14,1% adalah faktor lainnya. Tidak terdapat merkuri pada buah yang dianalisis karena ada kemungkinan merkuri terakumulasi pada jaringan yang lain.

Kata kunci : tailing; merkuri; fitoremediasi; emas.

ABSTRACT

POTENTIAL PHYTOREMEDIATION OF MERCURY PLANTS ON THE WAY RATAI RIVER BORDER, BUNUT VILLAGE ACROSS WAY RATAI DISTRICT, PESAWARAN LAMPUNG REGENCY

By

INDAH ELYANTI

There are currently 45 small-scale gold mines (SGM) in Bunut Seberang Village, Way Ratai District, Pesawaran Regency, Lampung. The processing gold with amalgamation technique uses mercury to get the gold ore. Mud/tailings waste containing mercury is stored in ponds and then disposed of to riverbanks so it is very dangerous because it can contaminate water, soil and river biota. The purpose of this study was to determine the effect of mercury on the soil on plant diversity, determine the effect of location distance from the pollutant source on mercury levels in the soil, and identify the potential for phytoremediation of mercury plants and determine the absorption of mercury in consumption plants.

The sampling method was purposive sampling, the plant sampling technique was the plotted line method, the plot size was 20m x 20m for tree phase analysis, 10m x 10m pole phase, 5m x 5m sapling phase and 2m x 2m seedling and understory phase. Soil samples were taken in each plot 3 times repetition. Fruit samples taken were *Theobroma cacao*, *Carica papaya* and *Musa acuminata*. Parameters observed were frequency, dominance, shannon index, significant value index, mercury content in soil, soil texture, and mercury content in fruit.

The results of the analysis found that *Chromolaena odorata*, *Ipomoea lacunosa* and *Mimosa pudica* have potential as mercury phytoremediation plants. The plant diversity index was influenced by mercury levels in the soil by 71.7% while 28.3% by other factors. Mercury levels in the soil are influenced by the distance from the SGM location by 85.9% while 14.1% is another factor. There was no mercury in the analyzed fruit because it was possible that mercury had accumulated in other tissues.

Keywords: tailings; mercury; phytoremediation; gold

**POTENSI TANAMAN FITOREMEDIASI MERKURI DI SEMPADAN
SUNGAI WAY RATAI DESA BUNUT SEBERANG KECAMATAN WAY
RATAI KABUPATEN PESAWARAN LAMPUNG**

Oleh

INDAH ELYANTI

Tesis

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
MAGISTER LINGKUNGAN**

Pada

**Program Studi Magister Ilmu Lingkungan
Pascasarjana Multidisiplin Universitas Lampung**



**PROGRAM STARATA 2
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PASCASARJANA UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

Judul Tesis : POTENSI TANAMAN FITOREMEDIASI
MERKURI DI SEMPADAN SUNGAI WAY
RATAI DESA BUNUT SEBERANG
KECAMATAN WAY RATAI KABUPATEN
PESAWARAN LAMPUNG

Nama Mahasiswa : Indah Elyanti

Nomor Pokok Mahasiswa : 1820011004

Program Studi : Magister Ilmu Lingkungan

Fakultas : Pascasarjana Multidisiplin



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

Mulyono, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP.197406112000031002

Dr. Ir. Samsul Bakri, M.Si.
NIP.196105051987031002

2. Ketua Program Studi Magister Ilmu Lingkungan
Universitas Lampung

Dr. Ir. Samsul Bakri, M.Si.
NIP.196105051987031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

Sekretaris : Mulyono, S.Si., M.Si., Ph.D.

Anggota : Dr. Ir. Samsul Bakri, M.Si.

**Penguji
Bukan Pembimbing** : Dr. Nuning Nurcahyani, M.Sc.

Anggota : Hari Kaskoyo, S.Hut., M.P., Ph.D.

2. Direktur Pascasarjana Universitas Lampung

Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.
NIP. 197104151998031005

Tanggal Lulus Ujian Tesis : 15 Desember 2021



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Tesis dengan judul: “ **POTENSI TANAMAN FITOREMEDIASI MERKURI DI SEMPADAN SUNGAI WAY RATAI DESA BUNUT SEBERANG KECAMATAN WAY RATAI KABUPATEN PESAWARAN LAMPUNG** ” adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya, saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Desember 2021
Yang membuat pernyataan,



Indah Elyanti
NPM 1820011004

RIWAYAT HIDUP

Penulis Indah Elyanti di lahirkan pada tanggal 02 April 1974 di Belitang OKUT Sumsel, merupakan anak ketiga dari delapan bersaudara, putri dari pasangan suami istri Ikhsan Effendi dan Komaryati. Penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Dasar di SDN I Karang Sari Kecamatan Belitang OKUT tahun 1987, Pendidikan Sekolah Menengah Pertama SMPN 04 Buaymadang tahun 1990, Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 01 Belitang tahun 1993, menempuh pendidikan di Akademi Kesehatan Lingkungan Kementerian Kesehatan Poltekkes Tanjungkarang selesai tahun 1997, melanjutkan pada di Prodi Kesehatan Masyarakat STIKES UMITRA selesai tahun 2017. Saat ini penulis bekerja sebagai Pegawai Negeri Sipil Kementerian Kesehatan Poltekkes Tanjungkarang di Bandar Lampung.

MOTTO

“Genggamlah dunia ditanganmu dan jangan kau letakkan di hatimu karena sebaik-baik bekal adalah taqwa”

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Alloh SWT Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya tesis ini dapat diselesaikan.

Tesis Dengan Judul **“Potensi Tanaman Fitoremediasi Merkuri di Sempadan Sungai Way Ratai Desa Bunut Seberang Kecamatan Way Ratai Kabupaten Pesawaran Lampung”** adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Karomani, M.Si., selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T. selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung;
3. Prof. Drs. Simon Sembiring, Ph.D., selaku Wakil Direktur Bidang Akademik, Kemahasiswaan dan Alumni Universitas Lampung;
4. Dr. Maulana Mukhlis, S.Sos, M.IP. selaku Wakil Direktur Bidang Umum Universitas Lampung;
5. Dr. Ir. Samsul Bakri, M.Si., selaku Ketua Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Lampung, sekaligus selaku penguji utama pada ujian tesis. Terima kasih untuk masukan dan saran-saran;
6. Dr. Melya Riniarti, S.P., M.Si., selaku pembimbing utama atas kesediannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian tesis ini

7. Mulyono, Ph.D selaku pembimbing kedua atas kesediannya memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian tesis ini;
8. Dr. Samsul Bakri, M.Si., selaku pembimbing ketiga atas kesediannya memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian tesis ini;
9. Dr. Nuning Nurcahyani, M.Sc. selaku penguji utama atas kesediannya memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian tesis ini;
10. Hari Kaskoyo, S.Hut., M.P., Ph.D selaku penguji kedua atas kesediannya memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian tesis ini;
11. Seluruh Dosen Magister Ilmu Lingkungan Universitas Lampung yang telah banyak memberikan ilmu yang sangat bermanfaat dan telah mendidik penulis;
12. Bapak dan Ibu Staf administrasi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Lampung.
13. Seluruh teman-teman Magister Ilmu lingkungan yang telah memberikan semangat dan partisipasi penulis dalam menyelesaikan studi;
14. Semua pihak yang telah membantu penyelesaian studi Magister Ilmu Lingkungan yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu;

Bandar Lampung, Desember 2021

Indah Elyanti

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
 I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Kerangka Pemikiran.....	4
1.5 Hipotesis.....	5
 II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pertambangan Emas Skala Kecil (PESK)	6
2.2 Merkuri (Hg).....	6
2.3 Teknik/Strategi Fitoremediasi.....	9
2.4 Keterbatasan Fitoremediasi.....	12
2.5 Prospek Fitoremediasi.....	12
2.6 Dampak Cemaran Merkuri Pada Tanah.....	13
2.7 Pengaruh Hg Terhadap Tumbuhan.....	14
2.8 Klasifikasi Tumbuhan.....	14
2.9 Faktor-Faktor Yang mempengaruhi Penyerapan Merkuri Pada Tanaman.....	15
2.10 Jenis Tanaman Yang Dapat Menyerap Merkuri.....	16
 III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	17
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	18
3.3 Prosedur Kerja.....	18
3.3.1 Pengambilan Sampel Tumbuhan.....	19
3.3.2 Pengambilan Sampel Tanah.....	20
3.3.3 Pengambilan Sampel Tanaman Pangan.....	21
3.4 Analisis Data	22
3.4.1 Analisis Data Vegetasi.....	22
3.4.2 Analisis Sampel Tanah.....	24

3.4.3 Analisis Merkuri Pada Tanaman Konsumsi.....	25
---	----

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian.....	26
4.1.1 Data Vegetasi.....	26
4.1.2 Data Kadar Merkuri Pada Tanah.....	39
4.1.3 Data Merkuri Pada Buah.....	40
4.1.4 Tekstur Tanah.....	40
4.2 Pembahasan	41
4.2.1 Keanekaragaman Tanaman di Sempadan Sungai Way Ratai.....	41
4.2.2 Analisis Tumbuhan.....	45
4.2.3 Kadar Merkuri Pada Tanah.....	46
4.2.5 Kadar Merkuri Pada Buah.....	51

V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan.....	53
5.2 Saran.....	53

DAFTAR PUSTAKA	54
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	60
----------------------	-----------

Tabel 36 – 65	60
---------------------	----

Gambar 14 – 15.....	160
---------------------	-----

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Daftar Alat dan Bahan Penelitian.....	17
2. Pengamatan Vegetasi.....	21
3. Kadar Merkuri Pada Tanah.....	22
4. Analisis Data Vegetasi Tingkat Semai.....	25
5. Analisis Data Vegetasi Tingkat Pancang.....	25
6. Analisis Data Vegetasi Tingkat Tiang.....	25
7. Analisis Data Vegetasi Tingkat Pohon.....	25
8. Tingkat Korelasi dan Kekuatan Hubungan.....	26
9. Kadar Merkuri Pada Tanaman Pangan.....	27
10. Analisis Data Vegetasi Tingkat Pancang.....	25
11. Data Vegetasi Plot 1.....	29
12. Data Vegetasi Plot 2.....	29
13. Data Vegetasi Plot 3.....	30
14. Data Vegetasi Plot 4.....	30
15. Data Vegetasi Plot 5.....	31
16. Data Vegetasi Plot 6.....	31
17. Data Vegetasi Plot 7.....	32
18. Data Vegetasi Plot	33
19. Data Vegetasi Plot 9.....	33

20. Hasil Pengamatan Tanaman Bawah dan Fase Semai.....	34
21. Analisis Tumbuhan Fase Semai.....	35
22. Hasil Pengamatan Tumbuhan Fase Pancang.....	36
23. Analisis Tumbuhan Fase Pancang.....	36
24. Hasil Pengamatan Vegetasi Fase Tiang.....	37
25. Analisis Tumbuhan Fase Tiang.....	38
26. Hasil Pengamatan Tumbuhan Fase Pohon.....	39
27. Analisis Tumbuhan Fase Pohon.....	40
28. Hasil Analisis Merkuri (Hg) Pada Tanah.....	41
29. Hasil Analisis Merkuri (Hg) Pada.....	42
30. Hasil Analisis pH Tanah.....	42
31. Hasil Analisis Tekstur Tana.....	43
32. The Analysis of Variance.....	44
33. Hasil Uji T pengaruh kadar Hg dalam tanah terhadap kinerja Indeks Shanon- Weaner (H') di areal penelitian.....	44
34. The Analysis of Variance.....	48
35. Hasil Uji T pengaruh jarak lokasi dari PESK terhadap kinerja kadar merkuri pada tanah di areal penelitian.....	48
36. Kadar merkuri pada tanah plot 1A.....	62
37. Kadar merkuri pada tanah plot 1B.....	65
38. Kadar merkuri pada tanah plot 1C.....	68
39. Kadar merkuri pada tanah plot 2A.....	71
40. Kadar merkuri pada tanah plot 2B.....	74
41. Kadar merkuri pada tanah plot 2C.....	77
42. Kadar merkuri pada tanah plot 3A.....	80

43. Kadar merkuri pada tanah plot 3B.....	83
44. Kadar merkuri pada tanah plot 3C.....	86
45. Kadar merkuri pada tanah plot 4A.....	89
46. Kadar merkuri pada tanah plot 4B.....	92
47. Kadar merkuri pada tanah plot 4C.....	95
48. Kadar merkuri pada tanah plot 5A.....	98
49. Kadar merkuri pada tanah plot 5B.....	101
50. Kadar merkuri pada tanah plot 5C.....	104
51. Kadar merkuri pada tanah plot 6A.....	107
52. Kadar merkuri pada tanah plot 6B.....	110
53. Kadar merkuri pada tanah plot 6C.....	113
54. Kadar merkuri pada tanah plot 7A.....	116
55. Kadar merkuri pada tanah plot 7B.....	119
56. Kadar merkuri pada tanah plot 7C.....	122
57. Kadar merkuri pada tanah plot 8A.....	125
58. Kadar merkuri pada tanah plot 8B.....	128
59. Kadar merkuri pada tanah plot 8C.....	131
60. Kadar merkuri pada tanah plot 9A.....	134
61. Kadar merkuri pada tanah plot 9B.....	137
62. Kadar merkuri pada tanah plot 9C.....	140
63. Kadar merkuri pada Kakao.....	143
64. Kadar merkuri pada Pepaya.....	146
65. Kadar merkuri pada Pisang.....	149

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Lokasi Penelitian	16
2. Titik Plot Pengambilan Sampel	19
3. Desain Petak Contoh Metode Garis Berpetak	20
4. Titik Pengambilan Sampel	21
6. Kirinyuh (<i>Choromolaena odorata</i>) Kangkung Rambat (<i>Ipomoea lacunosa</i>) dan Putri Malu (<i>Mimosa pudica</i>).....	35
7. Pisang (<i>Musa acuminata</i>), Kakao (<i>Theobroma cacao</i>), dan Pepaya (<i>Carica papaya</i>)	37
8. Kakao (<i>Theobroma cacao</i>), Pinang (<i>Areca catechu</i>) dan Durian (<i>Durio zibethinus</i>)17%.....	39
9. Jengkol (<i>Archidendron pauciflorum</i>), Sukun (<i>Artocarpus altilis</i>), dan Kelapa (<i>Cocosnucifera</i>).....	40
10. Grafik Indek Keanekaragaman Tanaman	44
11. Scatter Plot Regresi Kadar Merkuri Pada Tanah dengan Indek Keanekaragaman Tanama.....	44
12. Grafik Kadar Merkuri Pada Tanah Plot 1-9 Dalam ppm	47
13. Scatter Plot Regresi Jarak Dari Sumber Pencemar dengan Kadar Merkuri Pada Tanah	48
14. Alat dan Bahan Penelitian.....	150
15. Foto-foto kegiatan.....	152

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertambangan emas skala kecil (PESK) atau pertambangan rakyat tersebar sebanyak 850 titik di Indonesia (Ratnasari, 2014). Menurut PP No. 1 Mentamben Tahun 1991 disebutkan bahwa tambang emas rakyat adalah tambang emas yang dilakukan oleh masyarakat setempat secara individu maupun kelompok, dan secara turun temurun untuk menambah penghasilan. *United Nations Enviromental Programe* tahun 2012 menyebutkan pemakaian merkuri dari pertambangan emas rakyat diestimasi sekitar 1400 ton/tahun (Kristianingsih, 2019)

Tambang emas skala kecil pada umumnya terdiri dari penggalian bahan tambang, penghancuran atau penghalusan, amalgamisasi, dan pemijaran. Pada proses amalgamisasi batuan yang mengandung emas dihancurkan menjadi butiran-butiran yang lebih kecil, kemudian dimasukkan dalam tabung gelondong yang lalu ditambahkan air dan merkuri (Hg) sebagai pengikat emas. Satu tabung gelondong rata-rata berisi 25 kg batuan ditambahkan 100g merkuri kemudian diproses selama 3 – 4 jam, sampai menjadi lumpur, selanjutnya lumpur disaring untuk diambil emasnya. Amalgam emas ini selanjutnya dibakar secara terbuka atau dimasak dalam retort untuk menguapkan Hg guna mendapat emasnya. Proses gelondong menghasilkan lumpur yang mengandung merkuri, ditampung di kolam penampungan sementara sampai agak kering, kemudian dimasukkan dalam kantong- kantong plastik untuk diolah kembali menggunakan tong, kemudian lumpur (tailing) yang masih mengandung merkuri dibuang ke lingkungan (Sumarjono, 2020).

Merkuri termasuk logam berat yang dikategorikan ke dalam limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) karena bersifat racun dan persisten sehingga dapat membahayakan lingkungan hidup dan manusia (MENLH, 2013). Berdasarkan Undang-Undang Nomor 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pada Pasal 69 jelas dikatakan bahwa setiap orang dilarang membuang limbah B3 ke media lingkungan termasuk badan sungai. Bila limbah B3 dibuang ke badan sungai tentu akan mencemari air sungai dan berbahaya bagi kesehatan masyarakat yang menggunakan air sungai tersebut sebagai air minum dan keperluan hidup lain. Limbah buangan hasil dari pertambangan tersebut akan menuju badan air terakhir yakni laut. Bioakumulasi senyawa organik Hg dalam air limbah tambang emas dapat ikut terbawa hingga ke dalam perairan. Hal ini dapat menyebabkan terakumulasinya senyawa organik Hg pada tubuh ikan laut, dan biota laut lainnya yang dapat memungkinkan Hg masuk pada rantai makanan, dan dapat mengganggu baik lingkungan maupun kesehatan manusia.

Data survey awal di Desa Bunut Seberang Kecamatan Way Ratai Kabupaten Pesawaran terdapat 45 titik (PESK) yang menggunakan merkuri dalam proses pengolahan batuan untuk mendapatkan bijih emas. Dampak negatif dari proses tersebut adalah menghasilkan lumpur (tailing) yang mengandung merkuri yang dapat mencemari lingkungan. Jumlah tailing yang besar dapat merusak tanaman atau komunitas tanaman melalui proses penyumbatan, menghambat difusi oksigen ke dalam akar tanaman dan dapat menyebabkan tanaman tersebut mati sehingga dapat mengurangi jumlah vegetasi tanaman (Suproborini dkk., 2019). Menurut (Abraham, M., *et al*, 2020) merkuri mengalami translokasi di dalam tanaman, dapat mengumpul di dalam tubuh dan tetap tinggal dalam tubuh dalam jangka waktu lama sebagai racun yang terakumulasi.

Semua jenis tumbuhan memiliki kemampuan remediasi, namun hanya jenis-jenis tertentu yang mampu menyerap unsur logam berat dalam jumlah yang banyak secara kontinyu. Pemilihan jenis fitoremediasi diarahkan untuk jenis tumbuhan pionir yang memiliki sifat hiperakumulator, yaitu adaptasi cepat, mampu

menyerap unsur logam berat yang tinggi dalam waktu yang cepat. Kemampuan serapan polutan yang tinggi dan cepat dapat diindikasikan dengan kerapatan dan frekuensi jenis yang tinggi (Purnomo *et al.*, 2015)

Fitoremediasi adalah pemanfaatan tumbuhan untuk menghilangkan polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi. Semua tumbuhan mampu menyerap logam dalam jumlah yang bervariasi tetapi beberapa tumbuhan mampu mengakumulasi unsur logam tertentu dalam konsentrasi yang cukup tinggi. Cara ini relatif murah dan memungkinkan sumber pencemar didaur ulang. Proses fitoremediasi dapat terjadi melalui beberapa mekanisme antara lain : biodegradasi dalam rizosfer, fitostabilisasi, fitoakumulasi (fitoekstraksi), rizofiltrasi (system hidroponik untuk pembersihan air), fitovolatilisasi, fitodegradasi, pengendalian hidrolis (Neneng dan Saraswati, 2019)

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menetapkan pengaruh merkuri pada tanah terhadap keanekaragaman vegetasi di Sempadan Sungai Way Ratai.
2. Menetapkan pengaruh jarak dari sumber pencemar terhadap kandungan merkuri pada tanah dan tanaman di Sempadan Sungai Way Ratai.
3. Mengidentifikasi potensi tanaman fitoremediasi merkuri dan mengetahui serapan merkuri pada tanaman konsumsi di Sempadan Sungai Way Ratai.

1.3 Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi secara ilmiah tentang pengaruh cemaran merkuri pada keanekaragaman jenis tanaman di sempadan sungai Way Ratai Kabupaten Pesawaran Lampung.
2. Memberikan rekomendasi pada Badan Lingkungan Hidup Daerah (BLHD) dan Dinas Kesehatan Pesawaran tentang potensi cemaran merkuri pada tanah dan tanaman pangan.

1.4 Kerangka Pemikiran

Pertambangan Emas Skala Kecil (PESK) menggunakan Merkuri (Hg) untuk mengikat emas dengan proses amalgamisasi, disebabkan merkuri merupakan bahan yang mudah, efisien dan efektif untuk memperoleh emas dari bijih emas (Sumarjono, 2017). Proses amalgamisasi menghasilkan limbah berupa lumpur (tailing) yang mengandung merkuri yang dibuang ke lingkungan. Tingginya kadar merkuri dalam tanah dapat berdampak pada organisme yang berada di sekitar pertambangan rakyat, organisme yang berada di sekitar daerah tersebut dapat mengalami kematian karena tidak bisa bertahan hidup dengan adanya merkuri yang beracun (Triadriani *et al.*, 2014).

Merkuri pada tanah dapat diserap oleh tumbuhan yang dapat bertahan hidup terhadap tanah yang tercemar merkuri. Dampak pencemaran merkuri pada media geologi batuan, tanah dan air menunjukkan bahwa kadar merkuri tertinggi pada tanah dari pada batuan dan air (Fahmi,dkk. 2014). Penyerapan logam berat merkuri oleh tanaman dapat dibagi menjadi tiga proses yang berkesinambungan yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar sampai pada bagian tumbuhan lainnya dan lokalisasi logam bagian sel tertentu agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut (Ifanayanti, dkk. 2019)

Di daerah pertambangan emas rakyat di Desa Cisungsang Kabupaten Lebak, Banten ditemukan jenis tanaman pangan yang dapat menyerap merkuri diantaranya bayam (*Amaranthus hybridus*) dan padi (*Oryza sativa*), dengan kadar serapan merkuri tertinggi pada bayam yaitu 4,61 ppm. Sedangkan pada padi menunjukkan kadar 0,002 ppm (Pamungkas *et al.*, 2015) Di daerah pertambangan Desa Soyowan , Minahasa Tenggara tanaman Ubi Kayu (*Manihot esculenta*) dapat menyerap merkuri sebesar 0,1414 ppm dengan jarak 7 meter dari bak pembuangan limbah pada kawasan yang padat pengolahan emas (Rondonuwu, 2019)

Pada kawasan pertambangan emas rakyat Dusun Mesu Desa Boto Jatiroto Wonogiri Jawa Tengah ditemukan tanaman buah yang dapat menyerap merkuri diantaranya kakao (*Theobroma cacao*), pepaya (*Carica papaya*) dan mangga (*Mangifera indica*) dengan serapan paling tinggi adalah pada *Theobroma cacao*, hal ini disebabkan karena tanaman tersebut sudah tumbuh selama bertahun-tahun sehingga akumulasi merkuri sudah sangat tinggi (Suproborini dkk., 2019).

1.5 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan dalam penelitian adalah :

1. Kadar merkuri pada tanah mempengaruhi secara nyata keanekaragaman tanaman di Sempadan Sungai Way Ratai.
2. Semakin jauh jarak lokasi dari PESK kadar merkuri pada tanah menurun secara nyata.
3. Ada jenis tanaman yang memiliki kemampuan adaptasi terhadap merkuri sehingga berpotensi sebagai fitoremediasi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pertambangan Emas Sekala Kecil (PESK)

Menurut Undang-Undang No.4 Tahun 2009 yang dimaksud pertambangan adalah sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka penelitian, pengelolaan dan pengusahaan mineral atau batubara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan, serta kegiatan pascatambang (Chambers, 2009).

Pendefinisian tambang rakyat dalam konteks Indonesia, tambang rakyat secara regulasi adalah areal pertambangan yang ditetapkan melalui WPR (Wilayah Pertambangan Rakyat) dan aktivitasnya mendapatkan IPR (Izin Pertambangan Rakyat). Adapun yang belum mendapatkan WPR dan IPR-nya sering disebut sebagai PETI (Pertambangan Ilegal). Di sisi lain tambang rakyat identik dengan aktivitas pertambangan yang dilakukan dengan teknik tradisional/alat-alat yang sederhana dan dilakukan dalam skala usaha yang kecil (perorangan, kelompok atau koperasi) (Herdiana, 2013).

PESK atau sering dikenal dengan pertambangan rakyat merupakan usaha pengolahan dan pemurnian mineral berupa batuan yang diambil bijih emasnya. Proses pengolahan emas menggunakan teknik amalgamasi yaitu dengan mencampur bijih dengan merkuri untuk membentuk amalgam dengan media air (Hidayanti *et al.*, 2017).

2.2 Merkuri (Hg)

Merkuri atau air raksa yang dalam bahasa Latin *hydrargyrum* (Hg) yang berarti perak cair. Merkuri memiliki nomor atom 80, berat atom 200,6 g/mol, berat jenis

13,6 g/cm³ dan titik didih 357⁰C. Merkuri merupakan satu-satunya unsur logam yang berbentuk cair pada suhu kamar (25⁰C) dan tetap cair pada suhu 0⁰C, dan sangat mudah menguap pada suhu 357⁰C membeku pada suhu -38,87⁰C. Pada fase cair berwarna putih perak dan pada fase padat berwarna abu-abu.

Merkuri merupakan salah satu logam berat yang muncul secara alami di alam dalam beberapa bentuk. Bentuk merkuri di alam dapat dikategorikan menjadi tiga, yakni logam merkuri (merkuri elemental), merkuri anorganik, dan merkuri organik (Erry, 2020)

1. Merkuri Elemental

Merkuri elemental merupakan logam berwarna perak berwujud cair pada suhu ruang dan mudah menguap akibat pemanasan. Uap merkuri tidak berwarna dan tidak berbau. Tetes-tetes merkuri elemental berwarna logam mengkilap dan memiliki tegangan permukaan yang tinggi, sehingga berbentuk butiran di permukaan datar. Akan tetapi, viskositas merkuri rendah, sehingga tetes merkuri memiliki mobilitas tinggi. Merkuri elemental berwujud cairan, dan sangat volatil, dengan tekanan uap 0,00185 mm pada 25⁰C. Nilai ambang batas pajanan uap merkuri elemental secara kontinyu selama 8 jam perhari atau 40 jam perminggu menurut *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) adalah 0.05 mg/m³. Keracunan akumulatif dapat terjadi melalui pajanan jangka panjang melebihi 0.05 mg/m³ udara (Andre dkk. 2016)

2. Merkuri Anorganik

Merkuri anorganik merupakan senyawa yang muncul ketika merkuri elemental bereaksi dengan klorin, sulfur atau oksigen. Senyawaan merkuri anorganik umumnya berwujud serbuk, dan berwarna putih, dan disebut juga garam merkuri. Merkuri anorganik telah lama dikenal, salah satunya merkuri klorida yang sempat digunakan sebagai antiseptik. Kini, senyawa tersebut masih digunakan sebagai pengawet kayu, intensifikasi fotografi, depolarosator baterai kering, agen pewarna tekstil kulit, katalis (dalam produksi VPC atau desinfektan), pemisahan emas dari

timbangan, dan impuritas lainnya. Merkuri nitrat juga merupakan contoh merkuri anorganik yang pernah digunakan di industri (tekstil). Penggunaan merkuri nitrat diyakini menyebabkan gangguan syaraf di kalangan pekerja industri tekstil (felters) pada tahun 1800-an. Merkuri anorganik memiliki kelarutan kurang baik di lemak, sehingga apabila tertelan maka 7%-15% total pajanan merkuri klorida akan diserap saluran pencernaan. Akumulasi terbesar merkuri anorganik adalah di ginjal. Penelitian pada binatang menunjukkan merkuri anorganik memiliki afinitas tinggi terhadap metallothionein dalam sel renal (sel ginjal).

Sebaliknya, metilmerkuri (merkuri organik) memiliki afinitas yang rendah pada sel tersebut. Eksresi merkuri anorganik, dan juga merkuri organik, dilakukan sebagian besar melalui feses. Merkuri bermuatan listrik, sehingga tidak mudah melewati membran tubuh dan tidak mudah melalui batasan aliran darah dan otak, ataupun plasenta. Akan tetapi, dengan kondisi pajanan yang umumnya terjadi dalam jangka waktu panjang, memungkinkan akumulasi di sistem saraf pusat dan menyebabkan keracunan. Waktu paruh merkuri anorganik sekitar 40 hari.

3. Merkuri Organik

Merkuri organik terjadi apabila merkuri bereaksi dengan senyawa karbon, senyawa yang dihasilkan disebut merkuri organik. Merkuri organik dapat ditemui dalam 3 bentuk, yakni aryl, alkil pendek, dan alkil panjang. Merkuri organik telah digunakan untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme dalam dunia medis. Merkuri organik juga ditemukan dalam fungisida, sehingga pajanan terhadap merkuri organik sangat memungkinkan. Di lingkungan, merkuri organik umum ditemukan sebagai kontaminan dalam rantai makanan. Garam merkuri organik terserap lebih banyak melalui sistem pencernaan dibandingkan garam merkuri anorganik. Hal tersebut dikarenakan kelarutan garam merkuri organik dalam lemak yang lebih baik dibandingkan garam anorganik.

Merkuri organik kerap kali diserap tubuh melalui pembentukan kompleks dengan L-cysteine dan melewati membran sel menggunakan asam amino netral sebagai

pembawa. Meskipun relatif lebih tidak korosif dibandingkan merkuri anorganik, ketika masuk ke dalam sel maka aryl atau alkil panjang dari merkuri organik akan terkonversi menjadi kation divalent yang memiliki sifat toksik seperti merkuri anorganik. 90% hingga 95% pajanan alkil merkuri rantai pendek melalui sistem pencernaan terserap melalui saluran pencernaan. Merkuri alkil organik memiliki kelarutan tinggi dalam lemak, dapat terdistribusi relatif merata di seujur tubuh, serta terakumulasi di otak, hati, rambut, ginjal dan kulit. Merkuri organik dapat melalui batas darah-otak, plasenta dan mempenetrasi eritrosit, menyebabkan gangguan syaraf, efek teratogenik, dan tingginya rasio darah terhadap plasma. Metil merkuri memiliki afinitas tinggi terhadap gugus sulfurhidril yang menjelaskan disfungsi enzim, seperti asetil transferase, yang berperan dalam pembentukan asetil kolin. Inhibisi metil merkuri menyebabkan defisiensi asetil kolin yang ditandai disfungsi motorik. Eksresi alkil merkuri sebagian besar melalui feses (90%). Waktu paruh biologis metil merkuri sekitar 65 hari (Permenkes No 57 Tahun 2016)

2.3 Teknik /Strategi Fitoremediasi

Konsep fitoremediasi yang pertama kali diusulkan oleh Chany (1983) pada dasarnya adalah penggunaan tumbuhan dan asosiasi mikroba tanah untuk mengurangi konsentrasi atau pengaruh meracun bahan pencemar dalam lingkungan (Antoniadis *et al.*, 2021). Istilah ‘fitoremediasi’ adalah kombinasi dari dua kata yaitu, ‘phyto’ (berarti tumbuhan) dan ‘remidium’ (berarti mempebaiki atau membuang makhluk jahat). Fitoremediasi merupakan srategie remediasi yang dikendalikan oleh sinar matahari yang murah, efisien dapat diterapkan ‘*in situ*’ serta ramah lingkungan (Vithanage *et al.*, 2012).

Fitoremediasi merupakan teknologi sederhana dan alami dengan menggunakan tanaman yang dimanfaatkan untuk penyerapan polutan yang efisien dari tanah yang tercemar (Zgorelec *et al.*, 2020) Ada beberapa proses fitoremediasi diantaranya fitoeksraksi yaitu penyerapan dan translokasi kontaminan oleh akar ke berbagai organ tanaman sehingga memungkinkan polutan mengendap pada

biomassa (Sukono *et al.*, 2020) Fitostabilisasi adalah proses akar tanaman melumpuhkan polutan dengan mengumpulkan dan menyerapnya di permukaan tanah dan mengendapkan polutan di zona akar. Rhizofiltrasi adalah suatu proses dimana akar tanaman menyerap polutan di zona perakaran menggunakan simbiosis antara tanaman dan mikroorganisme pada media di sekitar akar. Fitodegradasi adalah penguraian kontaminan yang diserap melalui proses metabolisme pada tanaman (Ratnawati dan Faizah, 2020)

Semua jenis tumbuhan memiliki kemampuan remediasi, tetapi hanya jenis-jenis tumbuhan tertentu yang mempunyai kemampuan menyerap unsur logam berat dalam jumlah yang banyak secara kontinyu. Pemilihan jenis fitoremediasi diarahkan pada jenis tumbuhan yang memiliki sifat hiperakumulator yaitu adaptasi cepat serta mampu menyerap unsur logam berat yang tinggi dalam waktu yang cepat. Kemampuan adaptasi dan serapan polutan yang tinggi dapat diindikasikan dengan Indek Nilai Penting yang tinggi (Purnomo *et al.*, 2015)

Teknik fitoremediasi mencakup fitoekstraksi, fitofiltrasi (rhizofiltrasi), (fitostabilisasi, fitovolatisasi dan fitodegradasi (fitotransformasi) (Yan *et al.*, 2020). Dari lima teknik tersebut, teknik yang banyak digunakan adalah fitoekstraksi.

Fitoekstraksi juga dikenal sebagai fitoakumulasi, fitoabsorpsi atau fitosekuestrasi, adalah penyerapan senyawa pencemar dari tanah atau air oleh akar tanaman serta translokasi dan akumulasi senyawa pencemar tersebut di dalam bagian atas tanah yaitu tajuk tanaman. Translokasi logam ke tajuk merupakan proses biokimia yang sangat penting karena hasil panen biomassa akar umumnya tidak signifikan (Su *et al.*, 2014)

Fitoekstraksi berlaku hanya untuk lokasi dengan kandungan logam yang rendah dengan tingkat pencemaran sedang karena pertumbuhan tanaman tidak akan berlangsung normal pada tanah pada pencemaran berat. Tanah harus relatif bebas dari hambatan, seperti pohon tumbang atau batu besar dan memiliki topografi

yang memungkinkan praktek budidaya yang normal dengan menggunakan alat pertanian.

Fitostabilisasi atau fitoimobilisasi adalah penggunaan tumbuhan tertentu untuk stabilisasi bahan pencemar dalam tanah (Su *et al.*, 2014) Fitostabilisasi dapat mencegah pergerakan bahan pencemar masuk ke dalam air tanah atau ke dalam rantai makanan (Clean *et al.*, 2014). Dengan mengeluarkan enzim redoks khusus tanaman mengkonversi logam berbahaya menjadi bentuk yang relatif kurang beracun sehingga mengurangi kerusakan tanaman akibat cekaman logam.

Tumbuhan yang digunakan untuk fitostabilisasi idealnya harus tumbuhan asli (*indigenus*) pada lokasi yang tercemar logam berat, karena tumbuhan tersebut telah mekanisme evolusi untuk bertahan hidup pada lingkungan yang ekstrim. Selain itu, penggunaan tumbuhan yang tidak asli (*non indigenus*) dan spesies yang invasif dapat menurunkan diversitas tumbuhan lokal.

Fitovolatilisasi adalah tumbuhan untuk menyerap unsur beracun dan kemudian mengkonversi dan melepaskannya dalam bentuk kurang beracun ke atmosfer, menyerap unsur logam yang mudah menguap (seperti Hg dan Se) dari dalam tanah dan menguapkannya dari daun (Suci dan Sulistyaning, 2021) Teknik ini tidak sepenuhnya dapat menyingkirkan bahan pencemar, dan hanya dipindahkan dari tanah ke atmosfer, yang kelak bisa dipindahkan lagi ke tanah.

Fitodegradasi atau fitotransformasi adalah proses tanaman menguraikan zat pencemar menjadi zat yang tidak berbahaya. Proses ini berlangsung pada daun, batang, akar dan diluar sekitar akar dengan bantuan enzim yang dikeluarkan oleh tanaman itu sendiri (Widyasari, 2021) Fitodegradasi hanya terbatas pada penyingkiran pencemar organik karena logam berat tidak bisa didegradasi secara biologi.

Rhizofiltrasi adalah penggunaan akar tumbuhan atau bibit, mirip dengan konsep fitoekstraksi, digunakan untuk menyerap atau menjerap bahan pencemar, terutama

logam dari air, tanah dan air limbah (Alkorta *et al.*, 2004). Tumbuhan yang digunakan tidak ditanam langsung tetapi diaklimatisasi terlebih dahulu untuk menyesuaikan dengan lingkungan yang tercemar. Setelah tanaman bisa menyesuaikan diri, kemudian ditanam di daerah tercemar dimana akar menyerap air tercemar dan bahan pencemar secara bersamaan.

2.4 Keterbatasan Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan pendekatan yang menjanjikan untuk perbaikan tanah tercemar logam berat. Namun demikian, teknologi ini juga memiliki beberapa keterbatasan, antara lain :

- a. Membutuhkan waktu yang lama untuk membersihkan tanah.
- b. Efisiensi fitoremediasi oleh beberapa tanaman hiperkumulator umumnya dibatasi oleh lambatnya pertumbuhan tanaman hiperkumulator dan rendahnya biomasa yang dihasilkan.
- c. Kesulitan dalam mobilisasi fraksi yang mengikat logam dalam tanah karena terbatasnya ketersediaan hayati (*bioavailability*) ion logam dalam tanah.
- d. Hanya berlaku untuk lokasi dengan tingkat cemaran ringan sampai sedang karena pertumbuhan tanaman untuk fitoremediasi tidak akan berkelanjutan pada lokasi dengan cemaran berat.
- e. Ada resiko kontaminasi rantai makanan jika pelaksanaan dan pengelolaannya tidak cermat.

2.5. Prospek Fitoremediasi

Walaupun teknologi fitoremediasi masih dalam tahap perkembangan dan banyak hal belum terjawab, minat peneliti dan perusahaan komersial cukup besar untuk ikut dalam pengembangan dan penerapan komersial dari teknologi ini. Faktor pendorong penerapan fitoremediasi adalah biaya yang relatif murah dibandingkan dengan teknologi berbasis fisika dan kimia.

Indonesia memiliki keanekaragaman hayati tumbuhan dan mikroorganisme yang besar. Dalam suatu pertemuan yang diadakan di LIPI, tim peneliti dari Inggris mengungkapkan bahwa mereka berhasil mengisolasi > 120 jenis mikroorganisme dari tanah yang mereka peroleh dari hutan di Ujung Kulon. Diantara beberapa mikroorganisme tersebut mempunyai kemampuan untuk mendegradasi xenobiotika seperti senyawa organik aromatik berkhlor. Hal ini menunjukkan potensi alam Indonesia yang perlu dimanfaatkan.

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) juga terus melakukan kajian penerapan potensi fitoremediasi untuk memulihkan lingkungan tercemar, khususnya yang tercemar logam berat. Pada pengkajian ini pemilihan tumbuhan yang mempunyai daya serap dan akumulasi tinggi merupakan prioritas yang sangat penting. Namun tumbuhan hiperakumulator dari negara yang beriklim sedang belum tentu efektif untuk negara Indonesia yang beriklim tropis.

2.6 Dampak Cemaran Merkuri Pada Tanah

Tingginya kandungan merkuri dalam tanah dapat berdampak pada organisme yang berada di sekitar Pertambangan Rakyat. Organisme yang berada di daerah tersebut dapat mengalami kematian karena tidak bisa bertahan hidup dengan adanya merkuri yang beracun. Oleh karena itu, meningkatnya kandungan logam berat pada hasil tanaman juga dapat menyebabkan menurunnya kualitas tanah dan keracunan pada tanaman yang berdampak pada pencemaran lingkungan (Hidayanti *et al.*, 2017).

Tanah yang tercemar logam umumnya sulit untuk dipulihkan karena logam dalam tanah tidak mengalami biodegradasi. Pencemaran logam berat hanya dapat diremediasi dengan cara pengambilan atau pembuangan logam berat dari dalam tanah. Teknologi dengan cara penggalian dan penimbunan yang diikuti dengan pencucian tanah dengan memisahkan pencemar secara fisika maupun kimia sulit diterapkan pada wilayah yang luas. Oleh karena itu perlu dikembangkan remediasi tanah berbasis tumbuhan.

2.7 Pengaruh Hg Terhadap Tumbuhan

Hg adalah logam yang unik karena keberadaannya dalam berbagai bentuk misalnya, HgS, Hg²⁺, Hg dan metil-Hg. Dalam tanah pertanian bentuk yang dominan adalah bentuk ionik (Hg²⁺) yang mudah terakumulasi dalam tumbuhan tingkat tinggi dan tumbuhan air (Alkorta *et al.*, 2004) Kandungan Hg²⁺ yang tinggi sangat beracun terhadap sel tanaman karena menyebabkan gangguan fisiologi tanaman.

Penyerapan logam berat pada tumbuhan membentuk suatu enzim reduktase pada akar yang mereduksi logam dari akar, merkuri (Hg) diangkat melalui jaringan pengangkut yaitu xylem dan floem, kemudian diakumulasikan ke seluruh bagian akar, batang dan daun, sebagian merkuri (Hg) yang terserap mengendap pada akar (Ali, I. dkk, 2019)

Gejala keracunan Hg pada umumnya adalah pertumbuhan biji dan akar yang terhambat (Sharma *and* Kumar, 2020) Keberadaan merkuri dalam tanaman menyebabkan terganggunya fungsi enzim dan pembentukan protein karena adanya pengikatan terhadap gugus sulfidril (Leng *et al.*, 2010), serta penggantian unsur esensial, terutama unsur makro nitrogen, fosfor, kalium (Patra *et al.*, 2004). Merkuri dalam tanaman juga menghambat aliran air di dalam sel tanaman sehingga mengganggu fungsi hidrolisis sel akar (Zang and Tyerman, 1999). Pada konsentrasi > 1 mg/L, merkuri mempercepat peroksidasi lipid membran, mengganggu integritas struktur membran serta meningkatkan permeabilitas membran (Ma, 1998)

2.8 Klasifikasi Tumbuhan

Kusmana (1995) dalam (Rizkiyah, dkk 2013) mengungkapkan secara ekologis cukup penting membeda-bedakan tumbuhan ke dalam stadium pertumbuhan. Untuk keperluan kriteria ini yang dapat digunakan adalah :

- a. Fase semai (*seeding*) yaitu tumbuhan mulai berkecambah sampai anakan setinggi kurang dari 1,5 meter.

- b. Fase pancang (*sapling*), yaitu permudaan yang tingginya 1,5 meter sampai anakan berdiameter kurang dari 10 cm.
- c. Fase tiang (*pole*), pohon muda yang berdiameter 10 cm sampai kurang dari 20 cm.
- d. Fase pohon (*trees*), yaitu pohon yang berdiameter 20 cm ke atas.

2.9 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Penyerapan Merkuri Pada Tanaman

Ada enam mekanisme utama yang dilakukan oleh tumbuhan untuk proses fitoremediasi (Neneng dan Saraswati, 2019), yaitu:

1. Stimulasi bioaktivitas mikroorganisme di areal rhizosfer tanaman
2. Jaringan tumbuhan dapat mengeluarkan enzim yang dapat mengendapkan dan mengikat polutan- polutan aromatik
3. Enzim-enzim dari tumbuhan dapat mendegradasi senyawa- senyawa organik
4. Akar tanaman dapat menyerap dan memecahkan senyawa- senyawa organik (*phytostabilization; in situ stabilization*)
5. Adanya hiperakumulasi dari logam berat atau radioaktif yang terjadi di dalam jaringan tumbuhan, yang kemudian digunakan untuk proses remediasi tanah ataupun air (*phytoextraction, rhizofiltration*)
6. Adanya kandungan merkuri yang dapat dideteksi pada jaringan tumbuhan, dimungkinkan karena terjadinya proses *phytoextraction, rhizofiltration*.

Akar tanaman dapat menyerap kontaminan bersamaan dengan penyerapan nutrient dan air. Massa kontaminan tidak dirombak, tetapi diendapkan di bagian trubus dan daun tanaman. Metode ini digunakan terutama untuk menyerap limbah yang mengandung logam berat (Neneng dan Saraswati, 2019). Penyerapan logam berat pada tanaman dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya pH, zat organik, dan KTK (Kapasitas Tukar Kation).pH tanah mempengaruhi serapan unsur hara dan pertumbuhan tanaman melalui pengaruh langsungnya terhadap tersedianya unsur hara dan adanya unsur-unsur beracun. Dalam keadaan masam kation logam sangat larut dan tersedia bagi tanaman. Kandungan C-organik yang rendah dapat berpengaruh pada KTK. Meningkatnya KTK pada tanah akan

meningkatkan penyerapan kation logam berat dan menekan gerakan logam berat di dalam tubuh tanah (Zulfikah *et al.*, 2014).

2.10 Jenis Tanaman Yang Dapat Menyerap Merkuri

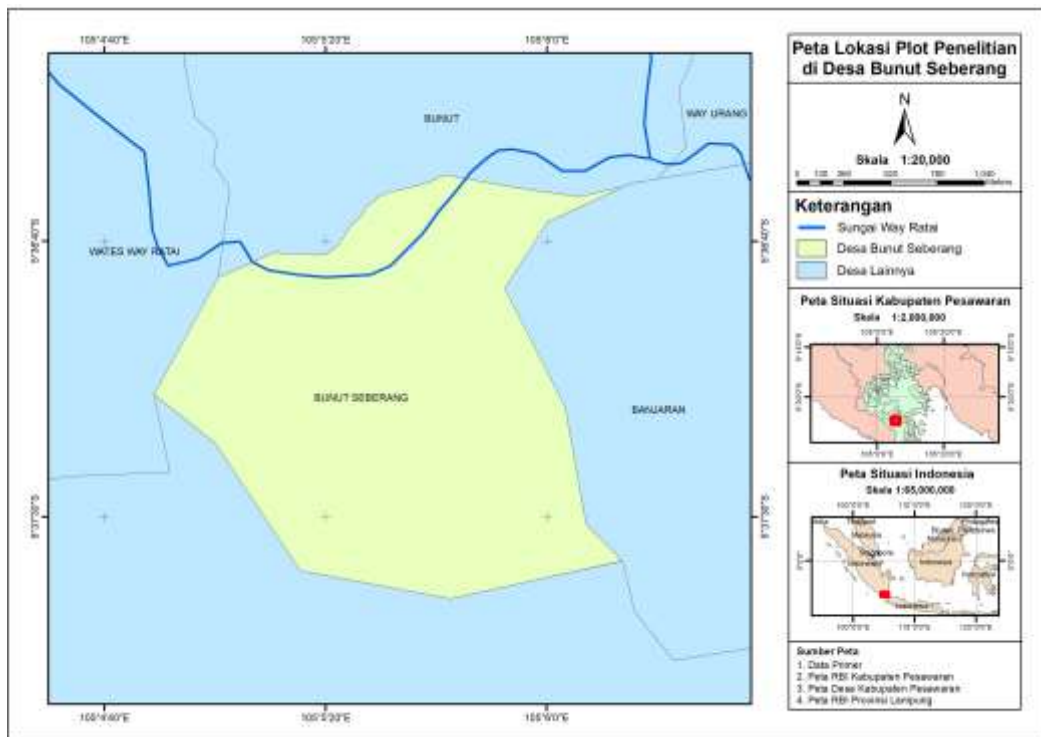
Setiap jenis tanaman memiliki respons berbeda terhadap jenis polutan logam berat. Oleh karena itu diperlukan strategi yang tepat untuk memilih jenis fitoremediasi agar mampu memberikan manfaat yang signifikan. Pemilihan jenis fitoremediasi untuk As dan Hg pada wilayah yang dikelola dianjurkan untuk menggunakan *Pteris biaurita*, teki badot, dan jotang hurna, sedangkan untuk wilayah yang dibiarkan secara alami dianjurkan untuk menggunakan paku laut, paku sepat, dan paku pedang (Purnomo *et al.*, 2015).

Tanaman Keladi (*Caladium bicolor*), Rumput kerbau (*Paspalum conjugatum*), dan Rumput jeboran (*Comelina nudiflora*) dapat menurunkan kandungan Hg dalam tanah tercemar limbah tailing. Kemampuan serapan tanaman *C. nudiflora* lebih besar dibandingkan *C. bicolor* dan *P. conjugatum*, namun semakin tinggi kandungan Hg maka semakin rendah serapannya. Meningkatnya pertumbuhan tanaman jagung dipengaruhi dengan adanya penurunan kandungan Hg pascafitoremediasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Hg pada tanaman jagung banyak terdapat pada bagian akar serta diikuti bagian batang dan daun, sehingga semakin keatas maka kandungan Hg semakin sedikit (Triadriani *et al.*, 2014)

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Sempadan Sungai Way Ratai Desa Bunut Seberang Kecamatan Way Ratai Kabupaten Pesawaran Lampung, pada bulan Januari – Maret 2021. Lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.



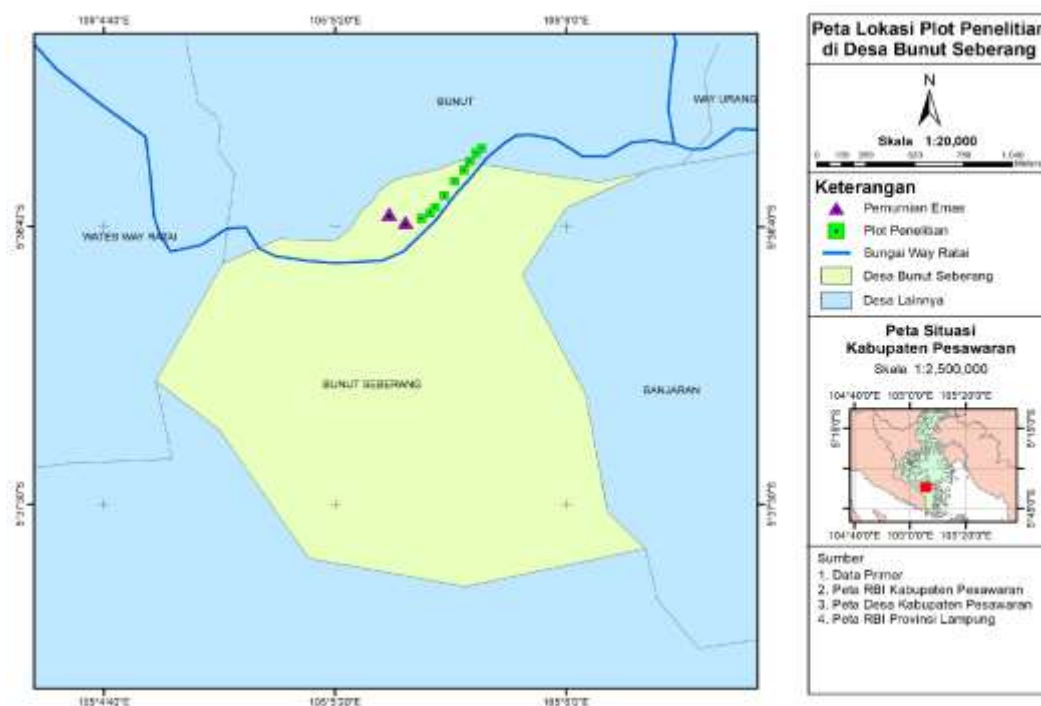
Gambar 1. Peta Lokasi penelitian

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian harus dipersiapkan agar dapat digunakan dalam keadaan baik. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Meteran Panjang, Kantung Plastik, Meteran kain, Thermometer alcohol, Hygrometer, Lux metyer, Soil Tester, Tali Rafia, Kamera, Patok, Buku identifikasi, Alat tulis, Cangku, dan Cetok . Adapun foto tentang alat-alat tersebut disajikan dalam lampiran 1.

3.3 Prosedur Kerja

Pengumpulan data dilakukan dengan membuat 9(sembilan) plot di sempadan sungai Way Ratai Desa Bunut Seberang Kecamatan Way Ratai Kabupaten Pesawaran dengan metode *purposive sampling* yaitu menentukan titik plot 1 dengan jarak 20 meter dari tempat pengolahan emas terakhir di sempadan sungai yang dapat dilihat pada Gambar 2.

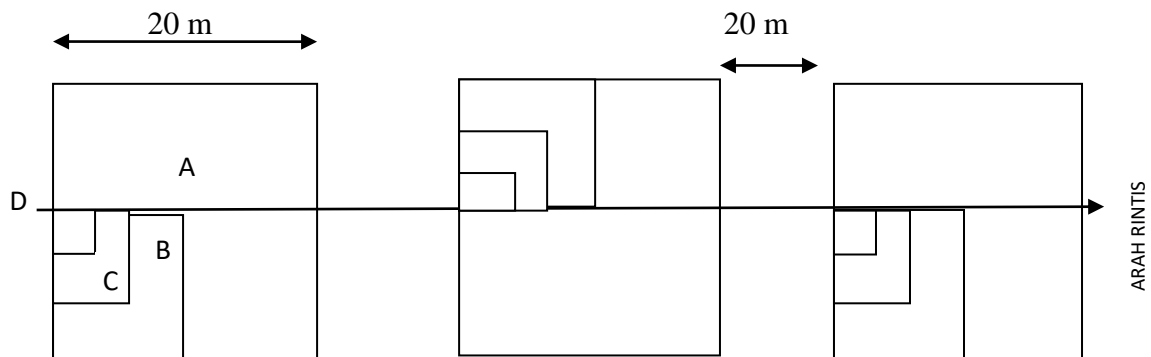


Gambar 2. Titik Plot Pengambilan Sampel

Ukuran plot 20 m x 20 m untuk fase pohon, 10 m x 10 m untuk fase tiang, 5 m x 5 m untuk fase pancang dan 2 m x 2 m untuk fase semai dengan jarak antar plot 20 m.

3.3.1 Pengambilan Sampel Tumbuhan

Pengambilan sampel tumbuhan menggunakan metode garis berpetak yaitu dengan cara melompati satu atau lebih petak dalam jalur, sehingga sepanjang garis rintis terdapat petak-petak pada jarak tertentu yang sama (Indriyanto,2019) Analisis vegetasi dilakukan dengan membuat 9 plot di sempadan sungai dengan ukuran 20m x 20m, 10m x 10m, 5m x 5m, 2m x 2m berturut-turut untuk menentukan fase pohon, tiang, pancang dan semai dengan jarak antar plot 20 meter. Sebagai ilustrasi disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain petak contoh metode garis berpetak (Indriyanto, 2019)

Keterangan :

Petak A : berukuran 20m x 20m untuk pengamatan fase pohon.

Petak B : berukuran 10m x 10m untuk pengamatan fase tiang.

Petak C : berukuran 5m x 5m untuk pengamatan fase pancang.

Petak D : berukuran 2m x 2m untuk pengamatan fase semai dan tumbuhan bawah.

Parameter yang diukur di lapangan meliputi nama jenis, jumlah individu tiap jenis, diameter dan tinggi. Data yang diperoleh kemudian dicatat dalam tabel pengamatan, sedangkan untuk tananam yang belum diketahui nama ilmiahnya

diberi label untuk diidentifikasi lebih lanjut dengan berpedoman pada buku *Dendrologi*, (Indriyanto 2016) atau informasi dari jurnal.

Tabel 3.2 Pengamatan Vegetasi

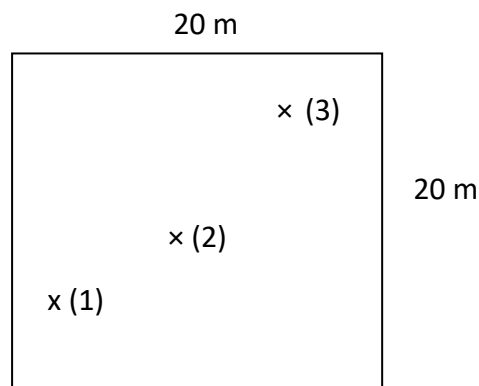
Lokasi pengamatan : (jarak dari sumber pencemar)

Ukuran Plot :

No	Nama Latin	Plot									Kategori	Ket.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1												
2												
3												
dst.												

3.3.2 Pengambilan Sampel Tanah

Sampel tanah diambil pada masing-masing plot, dengan cara mengambil tanah pada tiap plot sedalam 10-20 cm sebanyak 500-1000 gram pada masing - masing plotnya dengan 3 kali pengulangan lalu dimasukkan kantong plastik diberi label dan dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisis kandungan merkuri dengan metode ICP OES (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*). Teknik pengambilan sampel tanah diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Teknik pengambilan sampel tanah

Dari analisis sampel tanah diperoleh data kadar merkuri pada tanah pada masing-masing plot berdasarkan jarak dari sumber pencemar/limbah tailing. Data tersebut dibuat dalam bentuk Tabel 3.3

Tabel 3.3 Kadar merkuri pada tanah

No	Plot	Jarak (m)	Kadar Merkuri (mg/kg)			Keterangan
			1	2	3	
1	1	20				
2	2	40				
3	3	60				
4	4	80				
5	5	100				
6	6	120				
7	7	140				
8	8	160				
9	9	180				

3.3.3 Pengambilan Sampel Tanaman Pangan

Sampel tanaman yang diambil adalah buah tanaman konsumsi yang mempunyai nilai frekuensi paling tinggi dari hasil perhitungan pada tiap fase pengamatan selanjutnya dikirim ke laboratorium untuk dilakukan analisis kadar merkuri pada buah dengan metode ICP OES (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*).

3.4 Analisis Data

Analisis data kuantitatif yang diperoleh dari observasi dan pengukuran sampel, diolah dan disajikan dalam bentuk deskriptif untuk menggambarkan tentang pengaruh cemaran merkuri pada tanah dan jenis tanaman yang mampu bertahan hidup pada kondisi tanah tercemar merkuri tersebut.

3.4.1 Analisis data vegetasi

Data vegetasi yang diperoleh dianalisis untuk mengetahui nilai Kerapatan K (n/ha), Frekuensi F (%), Dominansi D (m²/ha) serta perhitungan Indeks Nilai Penting (INP) yang mengacu pada Indriyanto (2006) Dumbois and Ellernberg (1974), sebagai berikut :

Densitas / Kerapatan

Densitas adalah jumlah individu per unit luas atau per unit volume atau jumlah individu organisme per satuan ruang. Untuk analisis komunitas tumbuhan densitas sering digunakan istilah kerapatan diberi notasi K.

$$\text{Kerapatan (K)} = \frac{\sum \text{individu}}{\text{Luas seluruh petak}}$$

Densitas spesies *ke-i* dapat dihitung sebagai *K-i* dan densitas relatif spesies *ke - i* terhadap kerapatan total dapat dihitung sebagai *KR - i*

$$K-i = \frac{\sum \text{individu untuk spesies ke - i}}{\text{Luas seluruh petak contoh}}$$

$$KR - i = \frac{\text{Kerapatan spesies ke - i}}{\text{Kerapatan seluruh jenis}} \times 100\%$$

Frekuensi

Frekuensi dipergunakan untuk menyatakan proporsi antara jumlah sampel yang berisi suatu spesies tertentu terhadap jumlah sampel. Frekuensi spesies *ke - i* dan frekuensi relatif spesies *ke - i* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$F - i = \frac{\sum \text{petak ditemukan spesies ke - i}}{\sum \text{seluruh petak}}$$

$$FR - i = \frac{\text{Frekuensi suatu spesies ke - i}}{\text{Frekuensi seluruh spesies}} \times 100\%$$

Dominansi / Luas Penutupan

Luas penutupan adalah proporsi antara luas tempat yang ditutupi oleh spesies tumbuhan dengan luas total habitat. Luas penutupan dapat dinyatakan dengan menggunakan luas penutupan tajuk atau luas bidang dasar (luas basal area). Untuk kepentingan analisis komunitas tumbuhan, luas penutupan spesies ke – i dan luas penutupan relatif spesies ke – i dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$C - i = \frac{\text{Luas basal area spesies ke - i}}{\text{Luas seluruh petak contoh}}$$

$$CR - i = \frac{\text{penutupan spesies ke - i}}{\text{Penutupan seluruh spesies}} \times 100\%$$

Indek Nilai Penting (INP)

Indek nilai penting (*importance value index*) adalah parameter kuantitatif yang dapat dipakai untuk menyatakan tingkat dominansi (tingkat penguasaan) spesies – spesies dalam suatu komunitas tumbuhan. Indek nilai penting merupakan jumlah kerapatan relatif, frekuensi relatif dan luas penutupan relatif.

$$\text{Indeks Nilai Penting (INP)} = KR + FR + DR$$

Tingkat keanekaragaman jenis dihitung menggunakan indeks keanekaragaman Shannon Wiener dengan rumus sebagai berikut :

$$H = - \sum \{(n.i/N) \log (n.i/N)\}$$

Dengan :

H' : Indeks Shannon = Indeks Keanekaragaman Shannon

n.i : Nilai penting dari setiap spesies

N : Total nilai penting

Data hasil analisis vegetasi dapat dilihat pada Tabel 3.4, 3.5, 3.6, dan 3.7

Tabel 3.4 Analisis Data Vegetasi Tingkat Semai

Species	\sum Ind	\sum plot	K	F	KR	KF	INP
A							
dst.							
Jumlah							

Tabel 3.5 Analisis Data Vegetasi Tingkat Pancang

Species	\sum Ind	\sum plot	K	F	KR	KF	INP
A							
dst.							
Jumlah							

Tabel 3.6 Analisis Data Vegetasi Tingkat Tiang

Species	\sum Ind	\sum plot	K	F	KR	KF	INP
A							
dst.							
Jumlah							

Tabel 3.7 Analisis Data Vegetasi Tingkat Pohon

Species	\sum Ind	\sum plot	K	F	D	KR	FR	DR
A								
dst.								
Jumlah								

3.4.2 Analisis Sampel Tanah

Analisis sampel tanah bertujuan untuk mengetahui pengaruh jarak dari sumber pencemar terhadap konsentrasi merkuri pada tanah. Metode analisis statistik yang

digunakan adalah regresi linier sederhana. Tujuan penerapan metode ini adalah untuk meramalkan atau memprediksi besaran nilai variabel tak bebas (*dependent*) yang dipengaruhi oleh variabel bebas (*independent*).

Rumus regresi linier sederhana : $Y = a + b.X$

Keterangan :

Y = variabel terikat

X = variabel bebas

a dan b = konstanta

3.4.3 Analisis Merkuri Pada Tanaman Konsumsi

Pada setiap plot dilakukan pendataan semua jenis tanaman namun tanaman yang diambil sebagai sampel adalah jenis tanaman konsumsi yang mempunyai nilai frekuensi tertinggi hasil perhitungan pada masing-masing plot. Sampel diambil pada bagian buah untuk dianalisa kandungan merkuri di laboratorium dengan metode ICP OES (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*). Data hasil analisis laboratorium disajikan dalam bentuk Tabel 3.8

Tabel 3.8 Kadar Merkuri Pada Tanaman Pangan

No	Species	Kadar merkuri (mg/kg)
1
2	Dst	

V.SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Kadar merkuri pada tanah mempengaruhi keanekaragaman tanaman di Sempadan Sungai Way Ratai sebesar 71,7% dan 28,3% adalah pengaruh faktor lainnya.
2. Jarak lokasi dari PESK mempengaruhi kadar merkuri pada tanah dengan sebesar = 85,9% dan 14,1% adalah pengaruh faktor lainnya.
3. Tanaman buah di lokasi sempadan sungai Way Ratai dengan jarak minimal 20 meter dari lokasi pengolahan emas tidak mengandung merkuri, sehingga masih aman untuk dikonsumsi masyarakat.
4. Beberapa tanaman yang teridentifikasi berpotensi sebagai fitoremediasi diantaranya Kirinyuh, Kangkung rambat, dan Putri malu.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan adalah :

1. Penelitian penetapan kapasitas Kirinyuh, Kangkung rambat, dan Putri malu dikaitkankan dengan kadar Hg yang dikonsumsi oleh masyarakat.
2. Perlu diadakan sosialisasi pada masyarakat untuk menanam tanaman lokal non konsumsi yang mampu menyerap merkuri pada lokasi sekitar pengolahan emas agar tidak mencemari lingkungan.
3. Masyarakat tidak diperkenankan menanam tanaman konsumsi di sekitar lokasi pengolahan emas.

4. Kepada instansi terkait hendaknya memberikan edukasi kepada masyarakat tentang bahaya merkuri terhadap kesehatan jika mengkonsumsi makanan yang terkontaminasi merkuri.

DAFTAR PUSTAKA

- Abraham, M., Dulanlebit, H., Yeanchon., Y. F. (2020). Awar-awar (*Ficus Septica* Burm F) Heavy Metal Mercury Accumulation Study Using Awar-awar (*Ficus Septica* Burm F) Plants. *Indo. J. Chem. Res*, 2020, 7(2), 159-169
STUDI, 7(2), 159–169.
- Alcantara, P.J.H, Rivero, C.G., P. M. J. (2019). Tolerance Mechanisms in Mercury-exposed *Chromolaena odorata* (L.) R.M. King et H. Robinson, a Potential Phytoremediator. *Journal Of Degraded and Mining Lands Management Degraded and Mining Lands Management*, 6(4), 1897–1905.
- Ali, I., Rondonuwu, B., S., Dapas, J., N., F. (2019). Analisis Kandungan Merkuri Pada Tanah Dan Umbi Tanaman Ubi Kayu (*Manihot Esculenta* Crantz) Di Daerah. *Jurnal MIPA*, 8(3), 227–230.
- Alkorta, I., Hernández-Allica, J., Becerril, J. M., Amezaga, I., Albizu, I., & Garbisu, C. (2004). Recent Findings on The Phytoremediation of Soils Contaminated With Environmentally Toxic Heavy Metals and Metalloids Such as zinc, cadmium, lead, and arsenic. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 3(1), 71–90.
<https://doi.org/10.1023/B:RESB.0000040059.70899.3d>
- Antoniadis, V., Shaheen, S. M., Stärk, H. J., Wennrich, R., Levizou, E., Merbach, I., & Rinklebe, J. (2021). Phytoremediation Potential of Twelve Wild Plant Species for Toxic Elements in a Contaminated Soil. *Environment International*, 146(October 2020).
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106233>
- Chambers, S. R. (2009). *Undang-Undang No 4 Tahun 2009 Tentang Pertambangan Mineral dan Batubara*. April.
- Chen, J., & Yang, Z. M. (2012). Mercury toxicity, molecular response and tolerance in higher plants. *BioMetals*, 25(5), 847–857.
<https://doi.org/10.1007/s10534-012-9560-8>
- Clean, P. E., Rifhan, N., Mohd, S., Ramlee, W., Kadir, W. A., Mohdshariff, S., Wakid, S. A., Jaafar, Z., & Rahim, M. I. (2014). *Phytoremediation:*

Environmental-friendly Clean up Technology. 224–231.

- Doudi Muhammad, Rasnovi Saida, D. (2020). *Keanekaragaman Vegetasi Di Kawasan Geotermal Gunung Seulawah Agam Kabupaten Aceh Besar*.
- Fahmi Luzmi Fraga, Budianta Wawan, I. A. (2014). *Dampak Pencemaran Merkuri Terhadap Media Geologi Pada Pertambangan Rakyat di Banyumas, Jawa Tengah*. 30–31.
- Grishela, V. V., & Tamba, E. (2017). Gambaran Pencemaran Merkuri Terhadap Masalah Kesehatan Penambang dan Masyarakat di Sekitar Aliran Sungai Behe Bulan Juni-Agustus 2016. *Jurnal Kedokteran Meditek*, 23(61), 48–59.
- Gusmara, H. (2016). *Bahan Ajar Dasar-Dasar Ilmu Tanah ITN-100 Universitas Bengkulu Fakultas Pertanian Tim Pengampu*.
- Herdiana. (2013). *Panduan Pelembagaan Pertambangan Rakyat*. Buku, 53(9).
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hidayanti, R., Wawo, A., Widodo, S., Jafar, N., & Yusuf, F. N. (2017). *Analisis Pengaruh Penambangan Emas Terhadap Kondisi Tanah Pada Pertambangan Rakyat Poboya Palu, Provinsi Sulawesi Tengah*. 5(3), 116–119.
- Hindersah, R., Risamasu, R., Kalay, A. M., Dewi, T., & Makatita, I. (2018). Mercury Contamination in Soil, Tailing and Plants on Agricultural Fields Near Closed Gold Mine in Buru Island, Maluku. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 5(2), 1027–1034.
<https://doi.org/10.15243/jdmlm.2018.052.1027>
- Indriyani, L., Flamin, A., & Erna. (2017). Analisis Keanekaragaman Jenis Tumbuhan Bawah Di Hutan Lindung Jompi (Kelurahan Wali Kecamatan Watopute Kabupatenmuna Sulawesi Tenggara). *Ecogreen*, 3(1), 49–58.
- Khairuddin, Wengkau, W., Puspitasari, D. J., Sosidi, H., & Inda, N. I. (2021). Adsorpsi Logam Merkuri (Hg) dari Limbah Tanah Tercemar Menggunakan Tanaman Sawi (*Brassica juncea* L) pada Berbagai Waktu Tanam. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 7(1), 65–71.
<https://doi.org/10.22487/kovalen.2021.v7.i1.13666>
- Kristianingsih, Y. (2019). Bahaya Merkuri Pada Masyarakat Dipertambangan Emas Skala Kecil (Pesk) Lebaksitu. *Jurnal Ilmiah Kesehatan*, 10(1), 32–38.
<https://doi.org/10.37012/jik.v10i1.12>

- Laily Ismaini, Masfiro L, Rustandi, S. D. (2015). *Analisis Komposisi dan Keanekaragaman Tumbuhan di Gunung Dempo, Sumatera Selatan*. 1(76), 1397–1402. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010623>
- Masruddin, & Mulasari, S. A. (2021). Gangguan Kesehatan Akibat Pencemaran Merkuri (Hg) pada Penambangan Emas Ilegal. *Jurnal Kesehatan Terpadu (Integrated Health Journal)*, 12(1), 8–15. <https://doi.org/10.32695/jkt.v12i1.88>
- Mirdat, Padatadung, yosep S., & Isrun. (2013). Status Logam Berat Merkuri (Hg) Dalam Tanah Pada Kawasan Pengolahan Tambang Emas Di Kelurahan Poboya, Kota Palu. *E-Journal Agrotekbis*, 1(2), 127–134.
- Neneng, L., & Saraswati, D. (2019). Reklamasi Lahan Kritis Bekas Penambangan Emas Menggunakan Metode Bioremediasi Dan Fitoremediasi. *EnviroScienteeae*, 15(2), 216. <https://doi.org/10.20527/es.v15i2.6955>
- Nur Rizkiyah, Iswan Dewantara, R. H. (2013). Diversity of Stand Vegetation Filling Tembawang Forest Semoncol Hamlet Sanggau Regency. *Jurnal Hutan Lestari*, 1(3), 367–373. <http://jurnal.untan.ac.id/index.php/jmfkh/issue/view/226>
- Pamungkas, H. S. R., Thayib, H., & Inswiasri. (2015). *Potensi Sebaran Limbah Merkuri Pertambangan Emas Rakyat di Desa Cisungsang, Kabupaten Lebak, Banten*. 195–205.
- Pathak, B., Rawat, K., & Fulekar, M. H. (2019). Heavy Metal Accumulation by Plant Species at Fly-Ash Dumpsites: Thermal Power Plant, Gandhinagar, Gujarat. *International Journal of Plant and Environment*, 5(02), 111–116. <https://doi.org/10.18811/ijpen.v5i02.7>
- Purnomo, D. W., Magandhi, M., Hellmanto, H., & Joko Ridhowitono. (2015). *Jenis-Jenis Tumbuhan Reklamasi Potensial Untuk Fitoremediasi di Kawasan Bekas Tambang Emas*. 1, 496–500. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010320>
- Ratnawati, R., & Faizah. (2020). Phytoremediation of mercury contaminated soil with the addition of compost. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 52(1), 66–80. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2020.52.1.5>
- Sharma, K., & Kumar, P. (2020). Mitigating the Effect of Biofertilizers on Morphological and Biochemical Level in Pearl Millet Grown Under Mercury Toxicity. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(4), 955–961.
- Shofi, M. (2017). Pengaruh Logam Berat Merkuri (Hg) Terhadap Perkecambahan

- Biji Kacang Hijau (*Vigna Radiata L.*) Effect Of Mercury to Seed Germination Mung Bean (*Vigna Radiata L.*). *Jurnal Wiyata*, 84–89.
- Su, C., Jiang, L., & Zhang, W. (2014). *A Review on Heavy Metal Contamination in the Soil Worldwide : Situation , Impact and Remediation Techniques*. 3(2), 24–38.
- Suci, Y., & Sulistyning, H. (2021). Kajian Fitoremediasi untuk Menurunkan Konsentrasi Logam Berat di Wilayah Pesisir Menggunakan Tumbuhan Mangrov (Studi Kasus: Pencemaran Merkuri di Teluk Jakarta). *Teknik ITS*, 10(1), G24.
- Sukono, G. A. B., Hikmawan, F. R., Evitasari, E., & Satriawan, D. (2020). Mekanisme Fitoremediasi: Review. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 2(2), 40–47. <https://doi.org/10.35970/jppl.v2i2.360>
- Sumarjono, E. (2020). Kompleksitas Permasalahan Merkuri Dalam Pengolahan Bijih Emas Berdasarkan Perspektif Teknis Lingkungan Manusia Dan Masa Depan. *Kurvatek*, 5(1), 113–122. <https://doi.org/10.33579/krvtek.v5i1.1833>
- Sumarjono Erry. (2020). Kompleksitas Permasalahan Merkuri Dalam Pengolahan Bijih Emas Berdasarkan Perspektif Teknis Lingkungan Manusia Dan Masa Depan. *Kurvatek*, 5(1), 113–122. <https://doi.org/10.33579/krvtek.v5i1.1833>
- Suproborini,A., Sunarto, Wiryanto, Yudiantoro,F,D.,Nurcholis,M.,Sayudi,S,D.,Abdurrachman, M. (2019). Keanekaragaman Tanaman Buah dan Kandungan Merkuri Kawasan Penambangan Emas Rakyat Dusun Mesu Desa Boto Jatiroto Wonogiri Jawa Tengah. *EnviroScienteeae*, 13, 24–32.
- Suseelan N.K., Salaskar A.D., Suvarna.S, Udas Ambuja, B. A. (2006). *Uptake Of Mercury , Cadmium , Uranium And Zinc By Mimosa Pudica*. 11(4), 432–436.
- Triadriani, L. N., Handayanto, E., & Sri Rahayu Utami. (2014). *Penggunaan Caladium bicolor , Paspalum conjugatum , Dan Merkuri Limbah Tambang Emas Serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Jagung*. 1(1), 69–78.
- Vithanage, M., Dabrowska, B. B., Mukherjee, A. B., Sandhi, A., & Bhattacharya, P. (2012). Arsenic Uptake by Plants and Possible Phytoremediation Applications: A Brief Overview. *Environmental Chemistry Letters*, 10(3), 217–224. <https://doi.org/10.1007/s10311-011-0349-8>

- Widyasari, N. L. (2021). Kajian Tanaman Hiperakumulator Pada Teknik Remediasi Lahan Tercemar Logam Berat. *Jurnal ECOCENTRISM*, 1(1), 17–24. <https://e-journal.unmas.ac.id/index.php/jeco/issue/view/124>
- Wiguna Andre, Hadi, A. S. (2016). Pengaruh Pemberian Merkuri Per Oral Terhadap Gambaran Histopatologis Ginjal Tikus Wistar. *Eprints.Undip.Ac.Id./50261*, 8–37.
- Yan, A., Wang, Y., Tan, S. N., Mohd Yusof, M. L., Ghosh, S., & Chen, Z. (2020). Phytoremediation: A Promising Approach for Revegetation of Heavy Metal-Polluted Land. *Frontiers in Plant Science*, 11(April), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00359>
- Zgorelec, Z., Bilandzija, N., Knez, K., Galic, M., & Zuzul, S. (2020). Cadmium and Mercury phytostabilization from soil using *Miscanthus × giganteus*. *Scientific Reports*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63488-5>
- Zulfikah, Basir, M., & Isrun. (2014). Konsentrasi Merkuri (Hg) Dalam Tanah Dan Jaringan Tanaman Kangkung (*Ipomoea reptans*) Yang Diberi Bokashi Kirinyu(*Chromolaena odorata* L .) Pada Limbah Tailing. *Agrotekbis*, 2(6), 587–595.