

FITOREMEDIASI TANAMAN PAKU PAKIS (*Pteris vittata*)

TERHADAP LIMBAH MERKURI (Hg) SINTETIK



SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Meraih
Gelar Sarjana Jurusan Kimia Pada Fakultas Sains
dan Teknologi UIN Alauddin Makassar

Oleh:

RIZAL IRFANDI
60500112043

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UIN ALAUDDIN MAKASSAR

TAHUN 2016

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

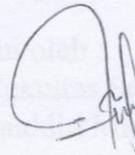
Mahasiswa yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rizal Irfandi
NIM : 60500112043
Tempat/ Tgl Lahir : Sengkang/ 19 Desember 1994
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi
Alamat : Jl. Borong Raya 1, No.65
Judul : Fitoremediasi Tanaman Paku Pakis (*Pteris vittata*) Terhadap Limbah Merkuri (Hg) Sintetik

Menyatakan dengan sesungguhnya dan penuh kesadaran penuh bahwa skripsi ini benar adalah hasil karya sendiri. Jika dikemudian hari terbukti bahwa skripsi merupakan duplikat, tiruan, plagiat atau dibuat oleh orang lain, sebagian atau seluruhnya, maka skripsi dan gelar yang diperoleh karenanya batal demi hukum.

Samata-Gowa, November 2016

Penyusun



RIZAL IRFANDI
NIM : 60500112043

PENGESAHAN SKRIPSI

Skripsi yang berjudul **“Fitoremediasi Tanaman Paku Pakis (*Pteris vittata*) Terhadap Limbah Merkuri (Hg) Sintetik”** yang disusun oleh **Rizal Irfandi, NIM : 60500112043** mahasiswa jurusan Kimia pada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar, telah diuji dan dipertahankan dalam sidang munaqasyah yang diselenggarakan pada hari Jumat 11 November 2016 bertepatan 11 Shafar 1438 H, dinyatakan telah dapat diterima sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana dalam Ilmu Kimia, jurusan Kimia (dengan beberapa perbaikan).

Samata-Gowa, 11 November 2016
11 Shafar 1438 H

DEWAN PENGUJI :

Ketua	: Prof. Dr. H. Arifuddin, M.Ag	(.....)
Sekretaris	: H.Asri Saleh, S.T., M.Si	(.....)
Munaqisy I	: Aisyah, S.Si., M.Si	(.....)
Munaqisy II	: Dra. Sitti Chadijah, M.Si	(.....)
Munaqisy III	: Dr.Muhsin Mahfudz, M.Ag	(.....)
Pembimbing I	: Syamsidar HS, ST., M.Si	(.....)
Pembimbing II	: Iin Novianty, S.Si., M.Sc	(.....)

Diketahui oleh :

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Alauddin Makassar



Prof. Dr. H. Arifuddin, M.Ag
NIP : 19691205 199303 1 001

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu Alaikum Wr. Wb

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang karena anugerah dari-Nya kami dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Fitoremediasi Tanaman Paku Pakis (*Pteris vittata*) Terhadap Limbah Merkuri (Hg) Sintetik**”. Sholawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan besar kita, yaitu Nabi Muhammad SAW yang telah menunjukkan kepada kita jalan yang lurus berupa ajaran agama Islam yang sempurna dan menjadi anugerah serta rahmat bagi seluruh alam semesta.

Terima kasih penulis ucapkan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses penelitian skripsi ini. Untuk itu, iringan doa dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan, utamanya kepada kedua orang tua tercinta, ayahanda Beddu Side dan ibunda Hj. Saheri untuk doa, nasihat, motivasi dan dukungan yang selalu membangkitkan semangat. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada :

1. Bapak Prof. Musafir Pababbari M. Ag, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
2. Bapak Prof. Dr. Arifuddin, M.Ag, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.

3. Ibu Sjamsiah S.Si., M.Si., Ph.D, selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
4. Ibu Aisyah S.Si., M.Si, selaku sekretaris Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar sekaligus selaku penguji I.
5. Ibu Syamsidar HS, S.T., M.Si selaku pembimbing I yang berkenan memberikan kritik dan saran serta bimbingan dari awal penelitian hingga akhir penyusunan skripsi ini.
6. Ibu Iin Novianty, S.Si., M.Sc, selaku pembimbing II yang telah berkenan meluangkan waktu dan tenaganya dalam membimbing dari awal penelitian hingga akhir penyusunan skripsi ini.
7. Ibu Dra. St. Chadijah, M.Si, dan Bapak Dr. Muhsin Mahfud, M. Ag selaku penguji yang senantiasa memberikan kritik dan saran guna menyempurnakan skripsi ini.
8. Segenap Dosen Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar yang telah membantu dan memberikan ilmu kepada penulis.
9. Musyawirah Baharuddin selaku Staf Jurusan Kimia dan seluruh staf karyawan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar yang telah membantu dalam persuratan demi terselenggaranya skripsi ini.
10. Para laboran Jurusan Kimia, Kak Awaluddin Ip S.Si., M.Si, Kak Fitri Azis S.Si., S.Pd, Kak Andi Nurahma S.Si, Kak Ismawanti S.Si, Kak Nuraini S.Si

dan terkhusus untuk Kak Ahmad Yani, S.Si terima kasih banyak atas bantuan dan dukungannya.

11. Sahabat seperjuangan Rafly, Rian, Kamsir, Marwan, Rismang, Hadi, Adi, Wawan, Baso, Mirsa, Bey, Hasra, Ayu, Husna, Dewi, Shona, Yuli sekaligus saudara seperjuangan di Kimia 2012, serta semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
12. Saudara seperjuangan dari HIPERMAWA Hasan, Candi, Fahri, Rafly, Sahrul, Reylan, Jamal, Ikhsan, Saifullah yang selalu memberikan nasehat dan motivasi.
13. Rekan Penelitian saya (Saiful Akbar) yang senantiasa menemani dari awal hingga penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak dan dapat bernilai ibadah di sisi-Nya. Amin ya Rabbal Alamin.

Wassalamu Alaikum Wr Wb.

Makassar, Agustus 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	viii
BAB I PENDAHULUAN	1-6
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Tujuan Penelitian	6
D. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7-32
A. Pencemaran Lingkungan.....	7
B. Logam Berat.....	12
C. Logam Merkuri (Hg)	15
1. Sifat-sifat Karakteristik Logam Merkuri (Hg)....	15
2. Toksisitas Logam Merkuri (Hg).....	16
3. Sumber Logam Merkuri (Hg).....	23
D. Fitoremediasi	24
E. Tanaman Paku Pakis (<i>Pteris vittata</i>)	28
1. Defenisi.....	28

	2. Taksonomi Tanaman Paku Pakis (<i>Pteris vittata</i>)...	29
	3. Deskripsi Morfologi Tanaman Paku Pakis (<i>Pteris vittata</i>).....	30
F.	Tinjauan Umum AAS.....	31
BAB III	METODE PENELITIAN	33-35
	A. Waktu dan Tempat	33
	B. Alat dan Bahan	33
	C. Prosedur Kerja	33
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	36-49
	A. Hasil Pengamatan	36
	B. Pembahasan	37
BAB V	PENUTUP	50
	A. Kesimpulan	50
	B. Saran	50

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

RIWAYAT HIDUP

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 Logam Berat Merkuri (Hg).....	15
Gambar 2.2 Kerusakan Sistem Saraf Oleh Logam Merkuri (Hg) Bagi Anak-anak	19
Gambar 2.3 Tangan Cacat Akibat Logam Merkuri (Hg). Korban <i>Minamata disease</i>	20
Gambar 2.4 Tanaman Paku (<i>Pteris vittata</i>).....	29

DAFTAR LAMPIRAN

	Hal
Lampiran 1 Skema Penelitian	54
Lampiran 2 Pembuatan Rumah Tanaman.....	55
Lampiran 3 Skema Analisis Sampel.....	56
Lampiran 4 Analisis Data	57
Lampiran 5 Dokumentasi.....	62

ABSTRAK

Nama : Rizal Irfandi

NIM : 60500112043

Judul : “Fitoremediasi Tanaman Paku Pakis (*Pteris vittata*) Terhadap Limbah Merkuri (Hg) Sintetik”

Saat ini 35% wilayah Indonesia sudah beralih fungsi menjadi areal pertambangan. Hal ini akan merubah bentang alam Indonesia dan menjadikan potensi terhadap pencemaran lingkungan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) dapat digolongkan sebagai tanaman hiperakumulator logam berat merkuri (Hg) dan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu kontak fitoremediasi tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) dalam menyerap logam berat merkuri (Hg).

Metode yang digunakan adalah metode fitoremediasi, yang berprinsip pada penggunaan tanaman untuk mengabsorpsi logam berat. Pada penelitian ini digunakan tanaman paku pakis (*Pteris vittata*). *Pteris vittata* mengandung protein tinggi yang akan mengikat logam berat sehingga sangat berpotensi untuk dijadikan sebagai tanaman hiperakumulator.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) dapat digolongkan sebagai tanaman hiperakumulator terhadap logam berat merkuri (Hg) karena dapat mengakumulasi logam berat merkuri (Hg) sebesar 4703 mg/Kg pada hari ke- 12 dan penyerapan logam berat merkuri (Hg) oleh tanaman paku (*Pteris vittata*) meningkat dengan bertambahnya waktu fitoremediasi.

Kata kunci: fitoremediasi, *Pteris vittata*, hiperakumulator, merkuri (Hg)

ABSTRACT

Name : Rizal Irfandi

NIM : 60500112043

Title : “Phytoremediation Of Fern Nail Plant (*Pteris vittata*) to Waste Mercury (Hg) Of Synthetic”

Nowadays 35% of Indonesia has been converted into a mining area. This case will change the landscape of Indonesia and gives potential towards the environmental pollution. This research was conducted to influence whether or not the fern nail plant (*Pteris vittata*) can be classified as hyperaccumulator plant to a heavy metal mercury (Hg) and the influence variation of contact time phytoremediation of fern nail plant (*Pteris vittata*) in heavy metals mercury (Hg) absorption.

The method used is a method of phytoremediation, which it is principle focused on the use of plants to remediate environment of heavy metal pollution. In this research the writer used fern nail plant (*Pteris vittata*). it contains high protein that will bind the heavy metals thus, it is potentially made as hyperaccumulator plant.

The results shown that the fern nail plant (*Pteris vittata*) can be classified as hyperaccumulator plants toward heavy metals mercury (Hg) because it can accumulate 4703 mg/Kg of heavy metals mercury (Hg) at the 12th day and heavy metals mercury (Hg) absorption by fern nail plant (*Pteris vittata*) increased by increasing time of phytoremediation.

Keywords: phytoremediation, *Pteris vittata*, hyperaccumulator, mercury (Hg)

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan industri di Indonesia akhir-akhir ini semakin pesat. Namun Kepentingan usaha pertambangan dan pelestarian lingkungan bagaikan sebuah paradoks. Di satu sisi pertambangan dibutuhkan demi pembangunan, tetapi di sisi lain lingkungan menjadi rusak akibat aktivitas pertambangan yang tidak menerapkan teknologi ramah lingkungan. Dampak kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh kegiatan pertambangan salah satunya adalah pembuangan tailing ke perairan, atau daratan. Ketika tailing dari hasil pertambangan dibuang di badan air atau daratan, maka unsur pencemar kemungkinan tersebar di sekitar wilayah tersebut dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan.

Tailing adalah bahan buangan hasil tambang yang mengandung logam berat berbahaya. Logam berat biasanya bersifat tidak dapat terurai maka akan menumpuk di lingkungan dan kemudian mencemari rantai makanan. Kontaminasi rantai makanan ini menimbulkan resiko bagi kesehatan manusia dan lingkungan (Laonso, dkk, 2010: 2).

Kerusakan yang terjadi di lingkungan seperti, pencemaran logam berat akibat dari limbah tailing yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan merupakan permasalahan yang sangat serius untuk ditangani, karena merugikan lingkungan dan ekosistem secara umum. Sejak kasus merkuri di Minamata Jepang pada 1953, pencemaran logam berat semakin sering terjadi dan semakin banyak dilaporkan. Agen Lingkungan Amerika Serikat (EPA) di dalam Mursyidin, Dindin H. (2006) melaporkan, terdapat 13 elemen logam berat yang diketahui berbahaya bagi lingkungan. Di antaranya merkuri (Hg), arsenik (As), timbal (Pb), dan kadmium

(Cd). Logam berat sendiri sebenarnya merupakan unsur esensial yang sangat dibutuhkan setiap makhluk hidup, namun beberapa di antaranya (dalam kadar tertentu) bersifat racun. Di alam, unsur ini biasanya terdapat dalam bentuk terlarut atau tersuspensi (terikat dengan zat padat) serta terdapat sebagai bentuk ionik (Putranto, 2011: 65).

Merkuri (Hg) dalam proses penambangan emas dimanfaatkan sebagai pelarut emas dan untuk menyatukan bijih-bijih emas kasar menjadi satu bentuk emas yang besar. Setelah itu amalgam (campuran emas dengan merkuri) dibakar untuk memisahkan emas dan merkuri sehingga diperoleh biji emas murni. Pada proses amalgamasi emas, merkuri dapat terlepas ke lingkungan pada tahap pencucian dan penggarangan. Di dalam air, merkuri dapat mengalami biotransformasi menjadi senyawa organik tersebut dan akan terserap oleh jasad renik yang selanjutnya akan masuk dalam rantai makanan dan akhirnya akan terjadi akumulasi dan biomagnifikasi dalam tubuh hewan air seperti ikan dan kerang, yang akhirnya dapat masuk ke dalam tubuh manusia yang mengkonsumsinya (Belami, dkk, 2013, 1-2).

Pemaparan dalam waktu singkat pada kadar merkuri (Hg) yang tinggi dapat mengakibatkan kerusakan paru-paru, muntah-muntah, peningkatan tekanan darah, kerusakan kulit dan iritasi mata. Sedangkan pemaparan dalam waktu yang panjang diantaranya menyebabkan kanker, gangguan sistem reproduksi pada manusia dan lain sebagainya. Semua gejala yang ditimbulkan oleh merkuri (Hg) ini terjadi karena kemampuan merkuri untuk terikat kuat pada protein dalam organisme. Kasus toksisitas merkuri (Hg) anorganik banyak dilaporkan pada abad 18 dan 19 pada karyawan industri logam dengan gejala khas tremor. Penderita biasanya pertama mengalami tremor pada otot muka dan kemudian merembet ke jari-jari dan tangan.

Jika keracunan terus berlanjut, tremor terus menjalar ke lidah sehingga pada waktu bicara lidah menjadi kaku (Darmono, 1995: 103).

Mengingat akan hal tersebut, maka penyebaran merkuri ini perlu penanganan untuk menekan jumlah limbah merkuri. Salah satu cara yang sederhana yaitu dengan penanaman tanaman yang hiperakumulator. Pencemaran tersebut akan semakin meningkat dengan meningkatnya produksi suatu industri. Berbagai metode untuk memulihkan lingkungan tercemar dari suatu kontaminan logam berat adalah salah satunya dengan menggunakan tanaman. Metode ini dikenal dengan nama fitoremediasi (Haruna, dkk, 2009: 1). Fitoremediasi dapat diartikan sebagai proses bioremediasi yang menggunakan berbagai tanaman untuk menghilangkan, memindahkan dan atau menghancurkan kontaminan dalam tanah dan air bawah tanah (Ernawan, dkk, 2010: 2). Salah satu tanaman yang dapat digunakan untuk penyerapan logam berat adalah tanaman paku pakis (*Pteris vittata*).

Tumbuhan paku telah banyak dimanfaatkan masyarakat Indonesia diantaranya sebagai tanaman hias, sayuran dan obat-obatan. Sebagaimana hadis riwayat al-Tirmidhi yang artinya sebagai berikut:

“Tidaklah seorang muslim menanam tanaman lalu tanaman itu dimakan manusia, binatang ataupun burung melainkan tanaman itu menjadi sedekah baginya sampai hari kiamat”.

Dari kutipan hadis di atas, dijelaskan bahwa seseorang yang menanam pohon adalah suatu tindakan untuk kelestarian alam dengan bermanfaat juga untuk manusia dengan menghasilkan CO₂ yaitu oksigen yang sehari-hari dibutuhkan manusia. Disamping itu juga dalam ajaran Islam penanaman pohon yang hasilnya dimanfaatkan makhluk hidup lainnya bisa menjadi shadaqah ketika sudah meninggal pemiliknya (Dar al-Fiqr, 2005: 91).

Namun, tumbuhan paku juga memberikan manfaat dalam memelihara ekosistem atau dalam memulihkan lingkungan dari pencemaran logam berat yaitu dimanfaatkan sebagai fitoremediasi. Sebagaimana dijelaskan dalam Firman Allah SWT dalam Q.S. Al-Anbiya' (21 : 16), yang berbunyi:

﴿ وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا لِعِبِينِ ﴾

Terjemahnya:

“Dan Kami tidak menciptakan langit dan bumi dan segala apa yang ada di antara keduanya dengan main-main” (Kementerian Agama RI, 2006: 323).

Ayat di atas menyatakan, Tidak wajar bagi Kami melakukan selain apa telah Kami lakukan itu, yakni menepati janji Kami dan menyiksa para pembangkang, karena tidaklah Kami ciptakan langit dan bumi dan segala yang ada di antara keduanya dengan tata aturan yang demikian rapi, indah dan harmonis dengan bermain-main, yakni tanpa arah dan tujuan yang benar, tetapi itu semua Kami ciptakan untuk membuktikan keesaan dan kekuasaan Kami serta untuk kepentingan makhluk-makhluk Kami (Tafsir Al-Misbah, 2009: 23). Dan kita sebagai seorang hamba-Nya senantiasa berusaha untuk mensyukuri dengan belajar dan memahami kebesaran-Nya, menjaga pemberian-Nya dengan tujuan mempertebal Keimanan kepada Allah SWT. Maka, dilaksanakan pengamatan, identifikasi, dan deskripsi dari tumbuhan– tumbuhan ini juga sebagai bentuk upaya menjaga kelestarian lingkungan, agar mampu mempertahankan spesies tersebut dan tidak punah.

Tumbuhan paku dapat dibedakan menjadi dua bagian utama yaitu organ vegetatif yang terdiri dari akar, batang, rimpang dan daun. Sedangkan organ generatif terdiri atas spora, sporangium, anteridium dan arkegonium. Sporangium tumbuhan paku umumnya berada dibagian bawah daun serta membentuk gugusan

berwarna hitam atau coklat. Gugusan sporangium ini dikenal sebagai sorus. Letak sorus terhadap tulang daun merupakan sifat yang sangat penting dalam klasifikasi tumbuhan paku (Arini, dan Kinho, 2012:18). Tumbuhan paku merupakan tumbuhan berpembuluh yang paling primitif jika dibandingkan dengan tumbuhan berpembuluh lainnya (Nurchayati, 2010: 10). Hasil penelitian menunjukkan tumbuhan paku memiliki sifat hipertoleran karena dapat tumbuh subur di kawasan penambangan emas. Tumbuhan dikatakan hiperakumulator apabila mampu mengakumulasi merkuri (Hg) sebesar 10 mg/Kg berat kering (Kosegeran, dkk, 2015, h.61).

Sidauruk dan Sipayung (2015: 182), melaporkan bahwa tumbuhan *Pteris vittata* merupakan hiperakumulator terhadap arsenik (As) (lebih dari 1000 mg As per Kg berat kering tunas). Anderson dan Walsh (2007) juga pernah mengkaji budidaya hidroponik dan budidaya tanah pakis-rawa *Thelypteris palustris*, untuk menyelidiki potensinya dalam fitoremediasi arsen (As) pada air atau tanah yang tercemar. Hasil analisis ICP-MS menunjukkan bahwa akar dan daun mengakumulasi arsenik hingga 100 kali konsentrasi dalam larutan pengolahan 250 mg/L dan 500 mg/L arsenik. Kemudian Mahmud, (2012:10) juga melaporkan penelitian mengenai penyerapan merkuri oleh tumbuhan paku pakis yang dilakukan pada satu lokasi yaitu daerah sungai Tubalolo Kab. Bone Bolango yaitu diperoleh hasil analisis bahwa serapan merkuri di akar 4867.51 ppb dan di daun sebesar 2150.56 ppb . Namun tumbuhan pakis belum dapat dikategorikan sebagai tumbuhan hiperakumulator terhadap penyerapan logam merkuri (Hg) karena masih membutuhkan data kandungan merkuri di akar dan batang untuk melengkapi syarat menjadi tumbuhan hiperakumuator. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian tentang fitoremediasi tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) terhadap logam berat merkuri (Hg).

B. Rumusan Masalah

1. Apakah tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) dapat digolongkan sebagai tanaman hiperakumulator logam berat merkuri (Hg)?
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu kontak fitoremediasi tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) dalam menyerap logam berat merkuri (Hg)?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui tentang apakah tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) dapat digolongkan sebagai tanaman hiperakumulator logam berat merkuri (Hg).
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi waktu kontak fitoremediasi tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) dalam menyerap logam berat merkuri (Hg).

D. Manfaat Penelitian

1. Sebagai bahan acuan bagi peneliti lain, khususnya mengenai pemanfaatan tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) sebagai fitoremediasi logam berat merkuri (Hg).
2. Hasil penelitian ini secara praktis diharapkan dapat menyumbangkan pemikiran terhadap pemecahan masalah yang berkaitan dengan pencemaran logam berat merkuri terhadap lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan oleh logam berat dapat disebabkan karena kurang optimalnya pengelolaan limbah oleh industri sebelum dibuang ke lingkungan sekitarnya. Penanganan yang biasa dilakukan yaitu sebatas pengenceran limbah cair dengan tujuan lebih aman, namun hal tersebut bukan menjadi solusi dalam menghilangkan logam berat dalam limbah tersebut. Kerusakan lingkungan tidak lain disebabkan karena akibat dari perbuatan manusia itu sendiri. Hal ini telah dijelaskan dalam firman Allah SWT dalam Q.S. Ar-Ruum (30:41), yang berbunyi:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا
لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Terjemahnya:

“Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, Allah menghendaki agar mereka merasakan sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)” (Kementerian Agama RI, 2006: 407).

Ayat di atas dijelaskan, telah tampak kerusakan di darat, seperti kekeringan, dan hilangnya rasa aman dan di laut, seperti kekurangan hasil laut dan sungai disebabkan karena perbuatan tangan manusia yang durhaka sehingga akibatnya Allah mencicipkan, yakni merasakan sedikit kepada mereka sebagian dari akibat perbuatan dosa dan pelanggaran mereka agar mereka kembali ke jalan yang benar (Tafsir Al-Misbah, 2009: 236).

Kerusakan yang terjadi pada lingkungan sebagian besar disebabkan karena ulah dari perbuatan manusia itu sendiri. Sebagaimana Firman Allah SWT dalam Q.S. Al-Baqarah (02: 12), yang berbunyi:

﴿أَلَا إِنَّهُمْ هُمُ الْمُفْسِدُونَ وَلٰكِن لَّا يَشْعُرُونَ﴾

Terjemahnya:

“Ingatlah, Sesungguhnya merekalah yang membuat kerusakan, tetapi mereka tidak menyadari” (Kementerian Agama RI, 2006: 3).

Ayat di atas menggambarkan bahwa mereka benar-benar perusak. Pengrusakan tersebut benar-benar perusak. Pengrusakan tersebut tentu saja banyak dan berulang-ulang karena kalau tidak, mereka tentu tidak dinamai perusak . Pengrusakan yang mereka lakukan itu tercermin antara lain adalah terhadap diri mereka yang enggan berobat sehingga semakin parah penyakit yang mereka derita. Selanjutnya pengrusakan kepada keluarga dan anak-anak mereka karena keburukan tersebut mererka tularkan melalui peneladanan sifat-sifat buruk itu dan pengrusakan terhadap masyarakat dengan ulah mereka menghalangi orang lain melakukan kebajikan (Tafsir Al-Misbah, 2009: 126). Serta melakukan kerusakan terhadap lingkungan seperti pencemaran logam berat pada lingkungan.

Menurut Prof. Otto Soemarwoto, masalah lingkungan sudah ada sejak pertama kali bumi ini tercipta. Ahli ekologi ini menghubungkannya dengan kejadian yang dikisahkan dalam kitab suci Injil dan Qur'an, dimana peristiwa air bah pada zaman Nuh adalah sebuah masalah lingkungan. Runtuhnya peradaban Mesopotamia telah dinilai sebagai sebab dari masalah lingkungan yaitu adanya proses salinasi yang tinggi dari air sungai Tigris dan Euphrat, yang menyebabkan rusaknya lahan-lahan pertanian (Siahaan, 2004: 41).

Adapun perintah Allah untuk tidak membuat kerusakan di Bumi dalam Firman-Nya Q.S. Al-A'raaf (7: 56) yang berbunyi:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ

مِّنَ الْمُحْسِنِينَ ﴿٥٦﴾

Terjemahnya:

“Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, setelah diciptakan dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik” (Kementerian Agama RI, 2006: 157).

Ayat ini melarang pengrusakan di bumi. Pengrusakan adalah salah satu bentuk pelampauan batas. Karena itu, ayat ini melanjutkan tuntunan ayat yang lalu dengan menyatakan: dan janganlah kamu membuat kerusakan di bumi sesudah perbaikannya yang dilakukan oleh Allah dan atau siapapun dan berdoalah serta beribadahlah kepada-Nya dalam keadaan takut sehingga kamu lebih khusyuk dan lebih terdorong untuk mentaati-Nya dan dalam keadaan penuh harapan terhadap anugerah-Nya (Tafsir Al-Misbah, 2009: 143-144).

Pesatnya kemajuan dunia imlu pengetahuan dan teknologi, begitu pula pesatnya perkembangan dan pergeseran nilai, telah menciptakan benteng kedirian manusia sebagai sistem yang lebih tinggi derajatnya dari seluruh lingkungan. Pada keadaan berikutnya melahirkan keegoan manusia dan selanjutnya apa yang secara obyektif perlu bagi manusia berkembang bersama-sama dengan pertumbuhan ilmu pengetahuan dan teknologi, sehingga bisa disebut bahwa IPTEK telah menciptakan rangsangan supaya manusia tidak hanya terikat dengan kebutuhan, melainkan harus

terus mencapai pemuasan yang lebih dari pada kebutuhan, yakni keinginan. Kemudian lahir dan berkembang sebuah keinginan yang sukar dibedakan dengan kebutuhan. Akan tetapi, kemudian keinginan yang menghinggapi diri manusia tidak mencapai batas. Di sinilah terjadi masalah yang berwujud dosa kepada sesamanya (manusia) dan dosa kepada lingkungan hidupnya. Kepada sesama dalam wujud dimana terjadi bentrokan antar keinginan, karena setiap orang tidak memiliki keinginan yang sama. Setiap individu manusia dilahirkan dengan bentuk dan pola keinginan yang berbeda. Keinginan lebih dapat mengarah kepada nafsu ambisi dan emosi. Keinginan yang tidak dapat terkendali akan melahirkan dampak bagi lingkungannya. Sistem lingkungan merupakan korban pertama dari pola keinginan. Jika keinginan manusia tidak akan mencapai suatu titik batas dan obyek dari keinginan itu adalah lingkungan hidupnya, sementara karakter dari lingkungan dan alam adalah bisu, tanpa memiliki gerak protes, maka jadilah lingkungan sebagai korban pemuasan keinginan manusia. Senjata yang paling dahsyat dari pemuasan keinginan manusia adalah IPTEK, seolah-olah segala sesuatu dapat dieksploitasi dan dikonsumsi tanpa batas dan pertimbangan, tanpa kaidah-kaidah keserasian, tanpa adanya kaidah interaksi fungsional antara manusia dan lingkungannya (Siahaan, 2004: 53).

Prof. Dr. Otto Soemarwoto, menyatakan bahwa yang membedakan antara kebutuhan dan keinginan dalam hubungan interaksi manusia dengan lingkungan. Kebutuhan diartikan sebagai sesuatu yang terbatas dan diperlukan untuk mencapai kesehatan, keamanan dan aspek-aspek yang berkaitan secara manusiawi. Sedangkan keinginan diartikan tidak ada batasnya dan selalu ingin lebih banyak. Dari pernyataan tersebut, maka dapat diasumsikan bahwa faktor keinginan yang sesungguhnya mendominasi berbagai ragam persoalan-persoalan dunia, mulai dari

persoalan-persoalan hidup individual sampai pada yang global universal. Maka dapat disimpulkan bahwa pergeseran, corak serta sifat kebutuhan kepada keinginan inilah yang pada akhirnya menentukan intensitas masalah-masalah lingkungan yang terjadi sekarang. Sosok manusia ditandai dengan buasnya keinginan yang seringkali melewati batas-batas kewajiban. Potensi-potensi demikian menjadi ancaman terbesar bagi eksistensi ekologi yang serasi dan selaras (Siahaan, 2004: 53-54).

Dan Allah menegaskan dalam Al-Quran balasan bagi perusak di muka Bumi ini yaitu Firman Allah SWT dalam Q.S. Al-Maa'idah (5:33), yang berbunyi:

إِنَّمَا جَزَاءُ الَّذِينَ يُحَارِبُونَ اللَّهَ وَرَسُولَهُ وَيَسْعَوْنَ فِي الْأَرْضِ فَسَادًا أَنْ يُقَتَّلُوا أَوْ يُصَلَّبُوا أَوْ تُقَطَّعَ أَيْدِيهِمْ وَأَرْجُلُهُمْ مِّنْ خَلْفٍ أَوْ يُنْفَوْا مِنَ الْأَرْضِ ذَٰلِكَ لَهُمْ خِزْيٌ فِي الدُّنْيَا وَلَهُمْ فِي الْآخِرَةِ عَذَابٌ عَظِيمٌ ﴿٣٣﴾

Terjemahnya:

“Hukuman bagi orang-orang yang memerangi Allah dan Rasul-Nya dan membuat kerusakan di muka bumi, hanyalah dibunuh atau disalib, atau dipotong tangan dan kaki mereka secara silang [414], atau diasingkan dari tempat kediamannya. Yang demikian itu (sebagai) suatu penghinaan untuk mereka didunia, dan di akhirat mereka mendapat azab yang besar (Kementerian Agama RI, 2006: 113).

(414) Maksudnya ialah: memotong tangan kanan dan kaki kiri dan kalau melakukan lagi Maka dipotong tangan kiri dan kaki kanan.

Ayat ini berpesan: Sesungguhnya pembalasan yang adil dan setimpal terhadap orang-orang yang memerangi Allah dan Rasul-Nya, yakni melanggar dengan angkuh terhadap ketentuan-ketentuan Rasul SAW dan yang berkeliaran membuat kerusakan di muka bumi (Tafsir Al-Misbah, 2009: 103).

B. Logam Berat

Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam-logam lain. Perbedaannya terletak dari pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan dan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup. Sebagai contoh, bila unsur logam besi (Fe) masuk ke dalam tubuh, meski dalam jumlah yang sedikit berlebihan, biasanya tidaklah menimbulkan pengaruh yang buruk terhadap tubuh. Karena unsur besi (Fe) dibutuhkan dalam darah untuk mengikat oksigen, sedangkan unsur logam berat baik itu logam berat beracun yang dipentingkan seperti tembaga (Cu), bila masuk ke dalam tubuh dalam jumlah berlebihan akan menimbulkan pengaruh-pengaruh buruk terhadap fungsi fisiologis tubuh. Jika yang masuk ke dalam tubuh organisme hidup adalah unsur logam berat beracun seperti hidrargyrum (Hg) atau disebut merkuri (Hg), maka dapat dipastikan bahwa organisme tersebut akan langsung keracunan (Putranto, 2011: 64).

Logam berat ialah logam yang mempunyai berat 5 gram atau lebih untuk setiap cm^3 dan bobot ini beratnya lima kali dari berat air dan logam yang beratnya kurang 5 gram maka termasuk logam ringan (Darmono, 1995). Logam berat memiliki suatu kesatuan jenis logam yang mempunyai bobot molekul lebih besar dari kalsium (Ca) (Haruna, 2009: 2).

Menurut Putranto (2011: 64). Karakteristik dari kelompok logam berat adalah sebagai berikut:

1. Memiliki spesifikasi *gravity* yang sangat besar (lebih dari 4).
2. Mempunyai nomor atom 22-34 dan 40-50 serta unsur-unsur lantanida dan aktinida.
3. Mempunyai respon biokimia khas (spesifik) pada organisme hidup.

Logam berat dapat masuk ke dalam tubuh makhluk hidup melalui makanan, air minum, dan udara pernafasan. Logam berat berbahaya karena cenderung terakumulasi di dalam tubuh makhluk hidup. Laju akumulasi logam-logam berat ini di dalam tubuh pada banyak kasus lebih cepat dari kemampuan tubuh untuk membuangnya. Akibatnya keberadaannya di dalam tubuh semakin tinggi, dan dari waktu ke waktu memberikan dampak yang makin merusak (Ernawan, 2010: 4).

Logam berat yang masuk ke permukaan air akan mengalami oksidasi, radiasi ultraviolet, evaporasi dan polimerisasi. Jika tidak mengalami proses pelarutan, material ini akan saling berikatan dan bertambah berat sehingga tenggelam dan menyatu dalam sedimen. Logam berat yang diadsorpsi oleh partikel tersuspensi akan menuju dasar perairan, menyebabkan kandungan logam di dalam air akan menjadi rendah. Logam berat yang masuk ke perairan akan dipindahkan ke badan air melalui tiga proses yaitu pengendapan, adsorpsi dan absorpsi oleh organisme-organisme perairan (Mahmud, dkk, 2012: 9).

Menurut Putranto (2011: 64). Logam berat untuk menggantikan pengelompokan ion-ion logam kedalam 3 kelompok biologi dan kimia (bio-kimia). Pengelompokan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur oksigen atau disebut juga dengan *oxigen-seeking metal*.
2. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur nitrogen dan atau unsur belerang (sulfur).
3. Logam antara atau logam transisi yang memiliki sifat khusus (spesifik) sebagai logam pengganti (ion pengganti).

Ada beberapa unsur logam yang termasuk elemen mikro merupakan logam berat yang tidak mempunyai fungsi biologis sama sekali. Logam tersebut bahkan

sangat berbahaya dan dapat menyebabkan keracunan pada organisme, yaitu timbal (Pb), merkuri (Hg), arsen (As), kadmium (Cd) dan aluminium (Al) (Ernawan, 2010).

Menurut Ernawan (2010: 10), ketersediaan hayati (*bioavailability*) logam berat dalam tanah sangat dipengaruhi oleh:

1. pH larutan yang berpengaruh langsung atas keterlarutan unsur logam berat. Kenaikan pH menyebabkan logam berat mengendap. Yang lebih penting adalah pengaruh tidak langsung lewat pengaruhnya atas KPK. Sebagian KPK berasal dari muatan terubahkan (*variabel charge*). Muatan terubahkan bergantung pada pH yang meningkat sejalan dengan peningkatan pH. Maka peningkatan pH membawa peningkatan KPK. Logam berat terjerap lebih banyak atau lebih kuat sehingga mobilitasnya menurun.
2. Anion dalam larutan tanah, tergantung pada macam anion dan macam komponen tanah penjerap, anion yang terjerap dapat membantu penjerapan kation logam berat karena meningkatkan kerapatan muatan negatif pada permukaan komponen penjerapan kation logam berat karena menutupi tapak jerap.

Kapasitas Pertukaran Kation (KPK) menunjukkan kemampuan tanah untuk menahan kation-kation dan mempertukarkan kation-kation tersebut termasuk kation hara tanaman. Kapasitas pertukaran kation penting untuk kesuburan tanah. Humus dalam dalam tanah sebagai hasil proses dekomposisi bahan organik merupakan sumber muatan negatif tanah, sehingga humus dianggap mempunyai susunan ri koloid. Sumber utama muatan negatif humus sebagian besar berasal dari gugus karboksil (-COOH) dan fenolik (-OH) (Ernawan, 2010: 11).

C. Logam Merkuri (Hg)



Gambar 2.1. Logam Berat Merkuri (Hg)

Diantara berbagai macam logam berat, merkuri digolongkan sebagai pencemar paling berbahaya. Disamping itu, ternyata produksinya cukup besar dan penggunaannya di berbagai bidang cukup luas (Putranto, 2011: 65).

1. Sifat-sifat Karakteristik Logam Merkuri (Hg)

Merkuri (Hg) atau *hydragyrum* yang berarti perak cair, berbentuk cair pada suhu kamar (25°C), berwarna putih keperakan, memiliki sifat konduktor listrik yang cukup baik, tetapi sebaliknya memiliki sifat konduktor panas yang kurang baik (Belami, dkk, 2013), memiliki nomor atom 80, memiliki berat molekul 200,59, titik didih 357°C , dan massa jenis 13,6 g/mL. Tidak larut dalam air, alkohol, eter, asam hidroklorida, hidrogen bromida dan hidrogen iodide. Larut dalam asam nitrat, asam sulfurik panas dan lipid. Tidak tercampurkan dengan oksidator, halogen, bahan yang mudah terbakar, logam, asam, logam karbida dan amina. Masih berwujud cair pada suhu 396°C . Pada temperatur 396°C ini telah terjadi pemuaiian secara menyeluruh. Merkuri merupakan logam yang paling mudah menguap jika dibandingkan dengan

logam-logam yang lain. Tahanan listrik yang dimiliki sangat rendah, sehingga menempatkan merkuri sebagai logam yang sangat baik untuk menghantarkan daya listrik. Merkuri juga dapat melarutkan bermacam-macam logam untuk membentuk alloy yang disebut juga dengan amalgam. Merkuri adalah unsur yang sangat beracun bagi semua makhluk hidup, baik itu dalam bentuk unsur tunggal (logam) maupun bentuk persenyawaan (Syamsidar, 2014: 165-166). Urutan logam dari yang toksisitasnya paling tinggi ke yang paling rendah adalah merkuri menduduki urutan pertama paling beracun dibandingkan dengan kadmium (Cd), perak (Ag), Nikel (Ni), Timbal (Pb), Arsen (AS), Kromium (Cr), Timah (Sn), dan Seng (Zn).

2. Toksisitas Logam Merkuri (Hg)

Merkuri (Hg) merupakan salah satu logam berat yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Merkuri masuk ke dalam tubuh hewan biasanya dalam bentuk senyawa organik metil merkuri melalui inhalasi (paru) ataupun melalui pakan (saluran pencernaan). Keracunan anorganik merkuri pada sapi pernah dilaporkan Irving dan Butler (1975) di Kanada. Sekelompok sapi yang menderita penyakit kulit asal jamur (*ringworm*) diobati dengan salep mengandung merkuri (*Thydrargiri ammoniated 5%*). Tetapi sapi tersebut saling menjilat salep yang dioleskan dan setelah 5 minggu kemudian banyak sapi menderita diare serta menunjukkan gejala sakit. Sapi menderita kelumpuhan bagian tubuh belakang, tremor otot, kontraksi rumen berhenti, batuk setelah minum dan akhirnya mati. Berdasarkan pemeriksaan laboratorium, ginjalnya mengandung Hg 28 – 116 ppm (normal 0,01 ppm) (Darmono, 1995: 60).

Penelitian juga dilakukan pada ikan dengan pemberian dosis logam sedikit demi sedikit dan terus meningkat. Hasilnya menunjukkan bahwa ikan dapat menyesuaikan kondisi pada konsentrasi logam dalam air sampai batas-batas tertentu. Kondisi penyesuaian hidup ikan pada konsentrasi logam dalam air sekitarnya disebut *aklimatisasi*. Penelitian mengenai pengikatan logam oleh protein dalam jaringan ikan yang disebut metalotionein (MTN) telah dilaporkan oleh Brown (1982). Ikan salmon yang dipelihara dalam air yang mengandung Hg kemudian diamati perubahan patologinya dalam hati yang mengandung MTN-Hg secara maksimum (jenuh). Hal ini menunjukkan bahwa enzim hati yang berupa protein mengikat Hg sehingga menjadi metaloenzim dengan berat molekul yang tinggi dalam fraksi elektroforesis (Darmono, 1995: 33).

Pengaruh toksisitas merkuri pada manusia pengaruh langsung polutan (terutama pestisida) terhadap ikan biasa dinyatakan sebagai *lethal* (akut), yaitu akibat-akibat yang timbul pada waktu kurang dari 96 jam atau *sublethal* (kronis), yaitu akibat-akibat yang timbul pada waktu lebih dari 96 jam (empat hari). Sifat toksis yang *lethal* dan *sublethal* dapat menimbulkan efek genetik maupun teratogenik terhadap biota yang bersangkutan (Putranto, 2011: 67).

Pengaruh *lethal* disebabkan gangguan pada saraf pusat sehingga ikan tidak bergerak atau bernapas akibatnya cepat mati. Pengaruh *sublethal* terjadi pada organ-organ tubuh, menyebabkan kerusakan pada hati, mengurangi potensi untuk perkembangbiakan, pertumbuhan dan sebagainya. Seperti peristiwa yang terjadi di Jepang, dimana penduduk di sekitar teluk Minamata keracunan metil merkuri akibat hasil buangan dari suatu pabrik plastik. Metil merkuri yang terdapat dalam ikan termakan oleh penduduk disekitar teluk tersebut. Ikan-ikan yang mati disekitar teluk Minamata mempunyai kadar metil merkuri sebesar 9 sampai 24 ppm. Faktor-faktor

yang berpengaruh di dalam proses pembentukan metil merkuri adalah merupakan faktor-faktor lingkungan yang menentukan tingkat keracunannya (Putranto, 2011: 67).

Telah banyak orang-orang yang mengetahui tentang merkuri dan kebanyakan mereka mengonsumsi metil merkuri dari ikan dan hewan lain yang terkontaminasi merkuri dimana hewan tersebut merupakan rantai makanan bagi manusia. *National Research Council* di dalam beberapa laporannya tentang efek *toxicological* dari metil merkuri yang ditunjukkan bahwa populasi pada resiko yang paling tinggi adalah keturunan dari wanita-wanita yang mengonsumsi sejumlah besar ikan dan makanan hasil laut. Laporan penyelidikan yang didapat, menyatakan bahwa lebih dari 60.000 anak yang lahir tiap tahunnya berhadapan dengan resiko *neurodevelopmental* yang kurang baik dalam kaitannya dengan kandungan metil merkuri. *Environmental protection agency* menyimpulkan bahwa merkuri merupakan sumber penyakit atau resiko bagi beberapa orang dewasa dan populasi hewan jika mengonsumsi sejumlah besar air minum dan ikan yang terkontaminasi oleh merkuri (Putranto, 2011: 67).

Merkuri merusak sistem pusat *nerves*, sistem endokrin, ginjal, dan organ bagian badan yang lain, dan akan mempengaruhi mulut, gusi, dan gigi. Uap air raksa/merkuri di udara jika terhirup oleh manusia dapat mengakibatkan kerusakan otak dan pada akhirnya menimbulkan kematian. Merkuri dan campurannya adalah senyawa yang terutama sekali meracuni janin dan bayi. Wanita-wanita yang telah mengonsumsi merkuri di dalam kondisi hamil terkadang melahirkan anak-anak dengan cacat kelahiran yang serius (Putranto, 2011, 67).



Gambar 2.2. Kerusakan Sistem Saraf Oleh Logam Merkuri Bagi Anak-Anak (Putranto, 2011: 67).

Kebanyakan manusia keracunan merkuri akibat *dental amalgam restoration* dan mengkonsumsi makanan dari hewan air dan mamalia yang terkontaminasi oleh limbah pabrik. Limbah tersebut bisa berasal dari bahan sisa hasil pembuatan *chlorine* dan *sodium hidroxide* dengan menggunakan elektrolisis. Limbah tersebut selain dari elektrolisis, bisa juga berasal dari pembuatan alat listrik (baterai, tombol, dan bohlam lampu neon). Limbah tersebut meracuni manusia melalui makanan baik dari hasil perairan maupun hewan yang hidup di sekitar limbah (Putranto, 2011, 67).

Pada studi epidemiologi ditemukan bahwa keracunan metil dan etil merkuri sebagian besar disebabkan oleh konsumsi ikan yang diperoleh dari daerah tercemar atau makanan yang berbahan baku tumbuhan yang disemprot dengan pestisida jenis fungisida alkil merkuri. Pada tahun 1968, Katsuna melaporkan adanya epidemi keracunan Hg di teluk Minamata, dan pada tahun 1967 terjadi pencemaran Hg di sungai Agano di Niigata. Pada saat terjadi epidemi, kadar Hg pada ikan di teluk Minamata sebesar 11 $\mu\text{g}/\text{kg}$ berat basah dan di sungai Agano sebesar 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ berat basah. Di Irak pada tahun 1971-1972 terjadi keracunan alkil merkuri akibat

mengonsumsi gandum yang disemprot dengan alkil merkuri yang menyebabkan 500 orang meninggal dunia dan 6000 orang masuk rumah sakit (Putranto, 2011: 66).



Gambar 2.3. Tangan Cacat Akibat Merkuri. Korban *Minamata disease* (Putranto, 2011, 67).

Berdasarkan temuan Diner dan Brenner (1998) serta Frackelton dan Christensen (1998), dikatakan bahwa diagnosa klinis keracunan Hg tidaklah mudah dan sering disamakan dengan diagnosa kelainan psikiatrik dan autisme. Kesukaran diagnosa tersebut disebabkan oleh panjangnya periode laten dari mulai terpapar sampai timbulnya gejala dan tidak jelasnya bentuk gejala yang timbul, yang mirip dengan kelainan psikiatrik. Berhubung sukarnya untuk mendiagnosis kelainan yang disebabkan oleh keracunan Hg (Putranto, 2011: 66).

Darmono, 1995: 60), toksisitas dari merkuri tergantung pada bentuk kimianya yaitu sebagai berikut:

a. Bentuk Murni

Bentuk murni mudah menguap dan sangat beracun bila terhisap. Bentuk garam merkuri biasanya paling sering mencemari udara. Contoh pencemaran udara dalam laboratorium, misalnya laboratorium klinis, kimia dan fisika. Termometer

yang pecah merupakan sumber pencemaran udara di laboratorium. Bentuk murni ini diabsorpsi seluruhnya dalam paru-paru dan mudah sekali didistribusikan ke otak melalui darah yang dapat menyebabkan gangguan pada sistem saraf pusat. Gejala yang timbul pada keracunan uap Hg ini adalah pneumonia dan oedema paru, termor, salivasi dan gingivitis.

b. Bentuk Merkuri Anorganik

Bentuk toksik dari Hg anorganik ini hanya dalam jumlah kecil didistribusikan pada otak. Gejala yang menonjol pada keracunan Hg anorganik adalah adanya rasa sakit pada saluran pencernaan dan ginjal yang biasanya intoksikasi melalui makanan. Dalam bentuk akut sampai subakut gejalanya adalah stomatitis, salivasi, muntah radang dan perdarahan pada usus, anoreksia, kelemahan, urine mengandung glukosa, protein dan darah serta kegagalan ginjal.

c. Bentuk Merkuri Organik

Bentuk merkuri organik yang paling toksik dan berbahaya adalah bentuk alkil-merkuri yaitu metil dan etil-merkuri. Kedua bentuk senyawa merkuri organik ini telah banyak digunakan dalam bidang pertanian untuk mencegah tumbuhnya jamur. Alkil-merkuri ini biasanya diserap secara sempurna pada dinding saluran pencernaan dan terikat dalam sel darah merah. Kemudian bentuk ini didistribusikan ke dalam sistem saraf pusat yang menyebabkan kerusakan permanen. Alkil-merkuri biasanya terakumulasi dalam hati dan ginjal yang dikeluarkan melalui cairan empedu. Senyawa ini keluar dari tubuh sedikit demi sedikit melalui urine dan feses dengan periode waktu paruh dalam waktu 70 hari. Gejala akan timbul beberapa hari/minggu setelah memakan bahan toksik tersebut. Gejala yang terlihat berupa gangguan saraf yaitu ataksia, kelemahan, hiper estese (peka), konvulsi, kebutaan, koma dan kematian.

Menurut peraturan pemerintah No.82 tahun 2001, kadar maksimum merkuri untuk keperluan air baku air minum kurang dari 0,001 mg/L dan untuk kegiatan perikanan yang diperbolehkan kurang dari 0,002 mg/L (Belami, Yulianti dan Sidharta, 2013). Food and Drug Administration (FDA) menetapkan ambang batas kandungan merkuri maksimum 0,0005 ppm untuk air dan 0,5 ppm untuk makanan, sedangkan World Health Organization (WHO) menetapkan batasan maksimum yang lebih rendah yaitu 0,0001 ppm untuk air. Jepang, Swiss, Swedia menetapkan ambang batas 1 ppm produk laut yang boleh dikonsumsi, sedangkan pemerintah Jerman dan AS menetapkan 0,5 ppm. Pemerintah Indonesia memberi batas melalui Baku Mutu Ambient dan Limbah yang ditetapkan oleh pemerintah Republik Indonesia dengan KEK-2/MENKLH/1/1998. Baku mutu air untuk golongan A dan B kandungan merkuri maksimum yang dianjurkan 0,0005 ppm dan maksimum yang diperbolehkan sebesar 0,0001 ppm. Pada air golongan C kadar maksimum yang diperbolehkan sebesar 0,002 ppm, sedangkan golongan D sebesar 0,0005 ppm. Untuk baku mutu air limbah kandungan merkuri yang diizinkan untuk air golongan I sebesar 0,001 ppm, golongan II sebesar 0,002 ppm, golongan III sebesar 0,005 ppm sedangkan golongan IV sebesar 0,001 ppm. Penelitian awal tahun 2002 mengungkapkan konsentrasi merkuri pada tailing sebesar 55,161 ppm; sedimen 2,599 ppm; tanah 2,188 ppm; rumput 1,468 ppm; ikan 0,850 ppm dan kerang 2,104 ppm, seluruhnya berada di atas ambang batas (Kosegeran, dkk, 2015). Kemudian dalam Rancangan Standar Nasional Indonesia (RSNI-2, 2004) menyatakan bahwa residu logam berat yang masih memenuhi standar BMR (Batas Maksimum Residu) adalah 1,0 ppm (Haruna, Isa dan Suleman, 2009). Nilai Ambang Batas (NAB) yaitu suatu keadaan untuk larutan kimia, dalam hal ini merkuri dianggap belum membahayakan bagi kesehatan manusia. Bila dalam air atau makanan, kadar merkuri sudah melampaui NAB, maka

air maupun makanan yang diperoleh dari tempat tertentu harus dinyatakan berbahaya (Belami, dkk, 2013).

3. Sumber Logam Merkuri (Hg)

Merkuri dapat berada dalam bentuk metal, senyawa-senyawa anorganik dan senyawa organik. Terdapatnya merkuri di perairan dapat disebabkan oleh dua hal, yaitu pertama oleh kegiatan perindustrian seperti pabrik cat, kertas, peralatan listrik, *chlorine* dan *coustic soda*, kemudian yang kedua oleh alam itu sendiri melalui proses pelapukan batuan dan peletusan gunung berapi. Secara alami Hg dapat berasal dari gas gunung berapi dan penguapan dari air laut. Industri pengecoran logam dan semua industri yang menggunakan Hg sebagai bahan baku maupun bahan penolong, limbahnya merupakan sumber pencemaran Hg. Sebagai contoh antara lain adalah industri klor alkali, tambang emas, peralatan listrik, cat, termometer, tensimeter, industri pertanian, dan pabrik detonator. Kegiatan lain yang merupakan sumber pencemaran Hg adalah praktek dokter gigi yang menggunakan amalgam sebagai bahan penambal gigi. Selain itu bahan bakar fosil juga merupakan sumber Hg pula (Putranto, 2011: 66).

Merkuri secara alamiah berasal dari kerak bumi, konsentrasi merkuri dikerak bumi sebesar 0,08 ppm. Kelimpahan merkuri di bumi menempati urutan ke 67 diantara elemen lainnya pada kerak bumi. Merkuri sangat jarang dijumpai sebagai logam murni (*native mercury*) dan biasanya membentuk mineral sinabar atau mercuri sulfida (HgS) (Chamid, dkk,2005). Ditemukan dalam bentuk elemen merkuri (Hg 0), merkuri monovalen (Hg I), dan bivalen (Hg II). Menurut Waldock (1994) di dalam Lasut (2001), senyawa metil-merkuri adalah bentuk merkuri organik yang umum terdapat di lingkungan perairan. Senyawa ini sangat beracun dan diperkirakan 4-31 kali lebih beracun dari bentuk merkuri inorganik. Selain itu, merkuri dalam bentuk

organik yang umumnya berada pada konsentrasi rendah di air dan sedimen adalah bersifat sangat bioakumulatif (terserap secara biologis). Metil-merkuri dalam jumlah 99% terdapat di dalam jaringan daging ikan (Putranto, 2011: 66).

D. Fitoremediasi

Ide dasar bahwa tumbuhan dapat digunakan untuk remediasi lingkungan sudah dimulai dari tahun 1970-an. Seorang ahli geobotani di Caledonia menemukan tumbuhan *Sebertia acuminata* yang dapat mengakumulasi hingga 20% Ni dalam tajuknya (Brown 1995) dan pada tahun 1980-an, beberapa penelitian mengenai akumulasi logam berat oleh tumbuhan sudah mengarah pada realisasi penggunaan tumbuhan untuk membersihkan polutan (Hidayati, 2005: 35).

Fitoremediasi adalah proses bioremediasi yang menggunakan berbagai tanaman untuk menghilangkan, memindahkan atau menghancurkan kontaminan dalam tanah dan air bawah tanah (Ernawan, dkk, 2010: 1-2). Fitoremediasi juga dapat diartikan sebagai suatu metode pemanfaatan tanaman untuk memulihkan tanah atau air yang tercemar logam berat (Umacina, dkk, 2014: 2).

Ada beberapa strategi fitoremediasi yang sudah digunakan secara komersial maupun masih dalam taraf riset yaitu strategi berlandaskan pada kemampuan mengakumulasi kontaminan (*phytoextraction*) atau pada kemampuan menyerap dan mentranspirasi air dari dalam tanah (*creation of hydraulic barriers*). Kemampuan akar menyerap kontaminan dari air tanah (*rhizofiltration*) dan kemampuan tumbuhan dalam memetabolisme kontaminan di dalam jaringan (*phytotransformation*) juga digunakan dalam strategi fitoremediasi. Fitoremediasi juga berlandaskan pada kemampuan tumbuhan dalam menstimulasi aktivitas biodegradasi oleh mikroba yang berasosiasi dengan akar (*phytostimulation*) dan imobilisasi kontaminan di dalam

tanah oleh eksudat dari akar (*phytostabilization*) serta kemampuan tumbuhan dalam menyerap logam dari dalam tanah dalam jumlah besar dan secara ekonomis digunakan untuk meremediasi tanah yang bermasalah (*phytomining*) (Hidayati, 2005: 36).

Menurut Hidayati, (2005: 36), secara alami tumbuhan memiliki beberapa keunggulan, yaitu:

1. Beberapa famili tumbuhan memiliki sifat toleran dan hiperakumulator terhadap logam berat.
2. Banyak jenis tumbuhan dapat merombak polutan.
3. Pelepasan tumbuhan yang telah dimodifikasi secara genetik ke dalam suatu lingkungan relatif lebih dapat dikontrol dibandingkan dengan mikrob.
4. Tumbuhan memberikan nilai estetika.
5. Dengan perakarannya yang dapat mencapai 100×10^6 Km akar per ha, tumbuhan dapat mengadakan kontak dengan bidang tanah yang sangat luas dan penetrasi akar yang dalam.
6. Dengan kemampuan fotosintesis, tumbuhan dapat menghasilkan energi yang dapat dicurahkan selama proses detoksifikasi polutan.

Semua tumbuhan memiliki kemampuan menyerap logam tetapi dalam jumlah yang bervariasi. Sejumlah tumbuhan dari banyak famili terbukti memiliki sifat hipertoleran, yakni mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya, sehingga bersifat hiperakumulator. Sifat hiperakumulator berarti dapat mengakumulasi unsur logam tertentu dengan konsentrasi tinggi pada tajuknya dan dapat digunakan untuk tujuan fitoekstraksi. Dalam proses fitoekstraksi ini logam berat diserap oleh akar tanaman dan ditranslokasikan ke tajuk untuk diolah kembali atau dibuang pada saat tanaman dipanen (Hidayati, 200: 36).

Metode fitoremediasi memiliki keunggulan dibandingkan dengan teknologi lainnya karena prosesnya yang alami. Metode ini terbukti efektif dan ekonomis untuk mereduksi konsentrasi polutan logam berat di tanah berat (Umacina, dkk, 2014: 2).

Fitoremediasi sangat diperlukan di Indonesia untuk masa yang akan datang, mengingat setiap tahun kasus pencemaran terus bertambah jumlah dan intensitasnya. Sementara itu daya dukung tanah dan sumberdaya air semakin menurun dari waktu ke waktu. Sedikitnya 35% wilayah Indonesia sudah beralih fungsi menjadi areal pertambangan. Dengan sendirinya hal ini akan merubah bentang alam Indonesia dan menjadikan potensi pencemaran yang juga semakin besar di kemudian hari. Terlebih lagi, menurut perkiraan dalam jangka waktu tidak lama lagi akan dibuka sedikitnya empat operasi penambangan baru berskala besar diantaranya adalah di kawasan Halmahera yang terkenal memiliki ekosistem laut yang paling kaya di dunia. Dari operasi baru ini diperkirakan sedikitnya satu juta hektar hutan lindung akan terganggu dan sekitar tujuh juta penduduk akan terkena dampaknya (Hidayati , 2005: 38).

Tanaman yang mampu menyerap dan mengakumulasi logam berat dalam jumlah tertentu disebut tanaman hiperakumulator berat (Umacina, dkk, 2014: 2). Tanaman hiperakumulator dapat menimbun konsentrasi logam yang tinggi dalam jaringan tanamannya bahkan melebihi konsentrasi di dalam tanah. Tanaman yang mengandung lebih dari 0,1% unsur Ni, Co, Cu, Cr atau Pb atau 1% unsur Zn pada daun atau per berat kering biomassa terlepas dari konsentrasi logam tanah disebut sebagai hiperakumulator (Sidauruk dan Sipayung, 2015: 183).

Sifat hiperakumulator berarti dapat mengakumulasi unsur logam tertentu dengan konsentrasi tertentu dengan konsentrasi tinggi pada tajuknya dan dapat digunakan untuk tujuan fitoekstraksi. Dalam proses fitoekstraksi ini logam berat

diserap oleh akar tanaman dan ditranslokasikan ke tajuk untuk diolah kembali atau dibuang pada saat tanaman dipanen. Tumbuhan digolongkan hiperakumulator jika mampu mengakumulasi merkuri (Hg) sebesar 10 mg/Kg berat kering (Kosegeran, dkk, 2015, h.61).

Menurut Kosegeran, dkk, 2015, h.61 dalam Juhaeti, dkk, 2009. Kriteria suatu jenis tumbuhan dapat digolongkan sebagai hiperakumulator adalah sebagai berikut:

1. Tahan terhadap unsur logam dalam konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuk.
2. Tingkat laju penyerapan unsur dari tanah yang tinggi dibanding tanaman lain.
3. Memiliki kemampuan mentranslokasi dan mengakumulasi unsur logam dari akar ke tajuk dengan laju yang tinggi.
4. Secara ideal memiliki potensi reduksi biomassa yang tinggi.

Mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tanaman dapat dibagi menjadi tiga proses yang sinambung, yaitu sebagai berikut:

a. Penyerapan oleh akar

Agar tanaman dapat menyerap logam, maka logam harus dibawa ke dalam larutan disekitar akar (*rizosfer*) dengan beberapa cara bergantung pada spesies tanaman. Senyawa-senyawa yang larut dalam air biasanya diambil oleh akar bersama air, sedangkan senyawa-senyawa hidrofobik diserap oleh permukaan akar.

b. Translokasi logam dari akar ke bagian tanaman lain

Setelah logam menembus endodermis akar, logam atau senyawa asing lain mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut (xilem dan floem) ke bagian tanaman lainnya.

c. Lokalisasi logam pada sel dan jaringan

Hal ini bertujuan untuk menjaga agar logam tidak menghambat metabolisme tanaman. Sebagai upaya untuk mencegah peacun logam terhadap sel, tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar (Priyatno dan Prayitno, 2007).

E. Tanaman Paku Pakis (*Pteris vittata*)

1. Defenisi

Tumbuhan paku (Pteridophyta) merupakan salah satu golongan yang hampir dapat dijumpai pada setiap wilayah Indonesia. Tumbuhan paku dikelompokkan dalam satu divisi yang jenis-jenisnya telah jelas mempunyai kormus dan dapat dibedakan dalam tiga bagian pokok yaitu akar, batang dan daun (Arini, dan Kinho, 2012:18).

Apeks pucuk pteridophyta memiliki satu atau lebih sel pemula yang biasanya dapat dibedakan dengan mudah dari sel-sel di sekitarnya. Sel pemula ini menghasilkan segenap sel apeks. Jika hanya ada satu sel pemula yang ada maka inisial dinamakan sel apikal. Sel apikal tunggal biasanya berbentuk tetrahedron dan dasarnya mengarah ke permukaan apeks (Wahidah, 2011: 41).

Secara umum, *Pteris sp.* Merupakan paku tanah. Tumbuhan yang termasuk dalam kelompok ini adalah tumbuhan yang hidup di tanah, tembok dan tebing terjal. Tumbuhan ini termasuk herba atau berkayu, akarnya merupakan akar serabut (Widhiastuti, 2006).

Menurut etimologi bahasa Yunani *Pteris* atau pakis yaitu pteron yang berarti sayap atau bulu dan memberikan ciri khas daun yang mirip dengan bulu. Tapi kata *pteris* ini digunakan oleh orang Yunani kuno untuk pakis pada umumnya. *Pteris*

merupakan genus dari sekitar 280 spesies pakis, hidup pada daerah yang hangat dan daerah-daerah tropis dan subtropis di dunia (Widhiastuti, 2006).

2. Taksonomi Tanaman Paku Pakis (*Pteris vittata*)

Sistematika taksonomi menurut Aryantha (2012) adalah :

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Pteridophyta
Kelas	: Filicopsida
Bangsa	: Polypodiales
Suku	: Pteridaceae
Marga	: Pteris
Spesies	: Pteris vittata



Gambar 2.4 tanaman paku (*Pteris vittata*)

3. Deskripsi Morfologi Tanaman Paku Pakis (*Pteris vittata*)

Menurut Widhiastuti, 2006. Morfologi Tumbuhan Paku Pakis (*Pteris vittata*) adalah sebagai berikut:

a. Akar

Akar paku ini adalah serabut yang tidak bercabang atau monopodial. Terletak pada seluruh permukaan rimpang, bentuk akar tipis dan kasar berwarna coklat.

a. Batang

Batang *Pteris* sp. berbentuk bulat beralur secara longitudinal, beruas-ruas panjang dan kaku, permukaan pada batangnya halus tetapi perlu diketahui bahwa batang paku-pakuan tidak selalu halus, tetapi kadang-kadang dihiasi dengan bentukan seperti rambut atau sisik berwarna hitam atau coklat, lapisan lilin dan sisa-sisa tangkai. Pada batangnya tidak di terdapat rambut, ukuran batangnya biasanya sekitar ± 40 cm, dan diameternya adalah ± 25 cm. Ukurang batang pada paku-pakuan sangat bervariasi dari beberapa millimeter (mm) sampai beberapa centimeter (cm), warna batang *Pteris* sp. hijau kecoklatan. Dan bentuk percabangannya adalah percabangan menyirip.

b. Daun

Jenis daun *Pteris* sp. adalah majemuk menyirip, tepi daunnya halus atau tidak bergerigi, tepi daunnya rata. Terdapat ental, pada kelompok paku-pakuan mempunyai bentuk yang khas yang berbeda dengan daun tumbuh-tumbuhan lainya, sehingga biasa disebut ental (frond). Bentuk daunnya memanjang, berukuran $\pm 3,5$ cm, daun paku-pakuan sangat bervariasi ukurannya dari yang berukuran beberapa milimeter (mm) sampai berukuran centimeter (cm). Daun *Pteris* sp. tergolong

anisofil yaitu daunnya terdiri dari dua ukuran yaitu yang satu lebih besar dari yang lainnya (Widhiastuti, 2006).

F. Tinjauan Umum AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*)

Kandungan logam dalam sampel dapat diketahui dengan menggunakan beberapa alat atau mesin, tergantung pada jenis logam yang akan diperiksa dan tingkat sensitifitas pengukuran yang diperlukan. Kebanyakan logam diukur dengan sistem atomisasi. Pengujian kadar logam merkuri pada tumbuhan paku menggunakan alat mesin *Atomic absorption Spectrophotometry* dengan nyala (AAS Flame). Dalam analisis logam dengan menggunakan system ini, sampel diatomisasi pada alat atomizer melalui nyala api dengan bahan bakar asetilen murni. Biasanya logam yang dianalisis dengan *flame* AAS adalah Ca, Cd, Cu Cr dan sebagainya yang dikelompokkan dalam logam normal. Sedangkan untuk analisis Hg, dilakukan dengan cara tanpa nyala. Tetapi larutan sampelnya terlebih dahulu direduksi dengan pencampuran stannous klorida (SnCl_2), kemudian uap hasil reduksi ditampung dalam tabung berjendela yang diletakkan di atas atomizer (Darmono, 1995: 130).

Analisis kuantitatif dilakukan dengan metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dengan kondisi analisis tanpa nyala dan menggunakan lampu katoda merkuri (Hg) berongga sebagai sumber cahaya pada lebar celah 0,5 nm, arus 3 mA dan panjang gelombang 253,7 nm (Khopkar, 1990: 24).

Metode AAS berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unsurnya. Misalkan merkuri (Hg) menyerap pada 253,7 nm. Cahaya pada panjang gelombang ini mempunyai cukup energi untuk mengubah tingkat elektronik suatu atom. Transisi elektronik suatu unsur bersifat spesifik. Dengan absorpsi energi, berarti memperoleh

lebih banyak energi, suatu atom pada keadaan dasar dinaikkan tingkat energinya ke tingkat eksitasi. Tingkat-tingkat eksitasinya pun bermacam-macam. Misalkan unsur Na dengan nomor atom 11 mempunyai konfigurasi elektron $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$, tingkat dasar untuk elektron valensi 3s, artinya tidak memiliki kelebihan energi (Khopkar, 1990: 14).

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini akan dilakukan pada bulan Februari sampai Agustus 2016 di Laboratorium Kimia Anorganik dan Laboratorium Riset Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Alauddin Makassar.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian adalah Seperangkat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) VGA, oven, alat-alat gelas, neraca analitik, hot plate dan wadah pot bunga.

2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian adalah alumunium, asam nitrat (HNO_3) 4 M , asam perklorat (HClO_4) P.a, akuabides (H_2O), rumah tanaman, larutan standar merkuri (Hg), limbah merkuri (Hg) sintetik, kertas saring whatman no.42, stannum klorida (SnCl_2), tanaman paku pakis (*Pteris vittata*).

C. Prosedur Penelitian

1. Penyiapan Tanaman Paku Pakis (*Pteris vittata*)

Tanaman paku pakis (*pteris vittata*) diambil di daerah Kab.Gowa, Kec. Parangloe, Desa Belapunranga, Dusun Pappareang dengan tinggi ± 10 cm. Tanaman tersebut ditanam kembali di wadah pot bunga dan diisolasi dengan cara menempatkan pada tempat yang terhindar dari polusi udara selama ± 1 bulan.

2. Pembuatan Rumah Tanaman

Rumah tanaman dibuat dari dinding plastik bening dan pipa, berbentuk persegi empat seperti rumah dengan ukuran panjang 1,5 meter dan lebar 1,5 meter.

3. Penyiapan Tanah Tercemar Logam Merkuri (Hg)

Wadah yang disediakan diisi dengan tanah sebanyak ± 500 gr untuk setiap wadah. Setelah proses isolasi, dilakukan penyiraman dengan menggunakan limbah merkuri (Hg) sintetik dengan konsentrasi 10 ppm sebanyak 10 mL setiap wadahnya. Penyiraman dilakukan setiap hari pada pukul 08.00 WITA.

4. Proses Fitoremediasi Tanaman Paku Pakis (*Pteris vittata*)

Sebelum dilakukan penyiraman limbah merkuri (Hg), dilakukan uji pendahuluan penentuan konsentrasi awal merkuri (Hg) tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) sebagai pengontrol dengan metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) pada panjang gelombang 253,7 nm. Kemudian dilakukan penyiraman limbah merkuri (Hg) terhadap tanaman paku pakis (*Pteris vittata*). Penyiraman dilakukan setiap hari pada pukul 08.00 WITA. Sedangkan untuk pengukuran kadar merkuri (Hg) pada tanaman dilakukan tiap (3, 6, 9, dan 12) hari selama pemaparan.

5. Persiapan Contoh Uji

a. Metode Pengambilan Sampel

Tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) diambil pada 7 pot (untuk penyiraman) dan 7 pot (tidak penyiraman) sebagai pengontrol, dimana setiap potnya diambil 1 batang (akar, batang dan daun). Kemudian sampel ditempatkan di dalam kantong plastik dan dianalisis di Laboratorium Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar. Pengambilan sampel dilakukan pada (3, 6, 9, dan 12) hari pemaparan pada pagi hari pukul 08.00 WITA.

b. Preparasi Sampel

Sampel yang telah dipetik kemudian dimasukkan ke dalam plastik dan teliti di Laboratorium Anorganik dan Laboratorium Riset Jurusan Kimia. Dimana sampel tersebut dipotong kecil-kecil dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 40°C selama 30 menit dan ditimbang sebanyak $\pm 0,5$ gram sampel, kemudian didestruksi basah dengan menambahkan 25 mL aquabidest (H_2O) dan 5 mL asam nitrat (HNO_3) 4 M sampai menghasilkan warna kecoklatan, kemudian didinginkan serta menambahkan asam perklorat (HClO_4) P.a sebanyak 0,5 mL. Selanjutnya dipanaskan kembali sampai menghasilkan uap berwarna putih. Selanjutnya didinginkan hingga temperatur ruang dan menyaring ke dalam labu takar 250 mL menggunakan kertas whatman no.42, kemudian diencerkan dengan akuabides (H_2O) sampai tanda batas. Sampel sebelum diukur ditambahkan SnCl_2 sebagai reduktan sebanyak 1 mL. Kemudian sampel siap diukur kadar logam merkuri (Hg) menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) pada panjang gelombang 253,7 nm.

6. Pembuatan Kurva Kalibrasi

a. Pembuatan Larutan baku merkuri (Hg) 100 ppm

Memipet larutan merkuri (Hg) 1000 ppm sebanyak 5 mL ke dalam labu takar 50 mL. Kemudian mengencerkan larutan dengan aquabidest sampai tanda batas lalu menghomogenkan.

b. Pembuatan deret standar merkuri (Hg)

Membuat deret standar dengan konsentrasi 0 ppm (blanko); 4 ppm; 8 ppm; 12 ppm ; 16 ppm dan 20 ppm ke dalam labu takar 50 mL. Kemudian menambahkan akuabides sampai tanda batas kemudian homogenkan. Larutan deret standar siap diukur kadar logam merkuri (Hg) menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

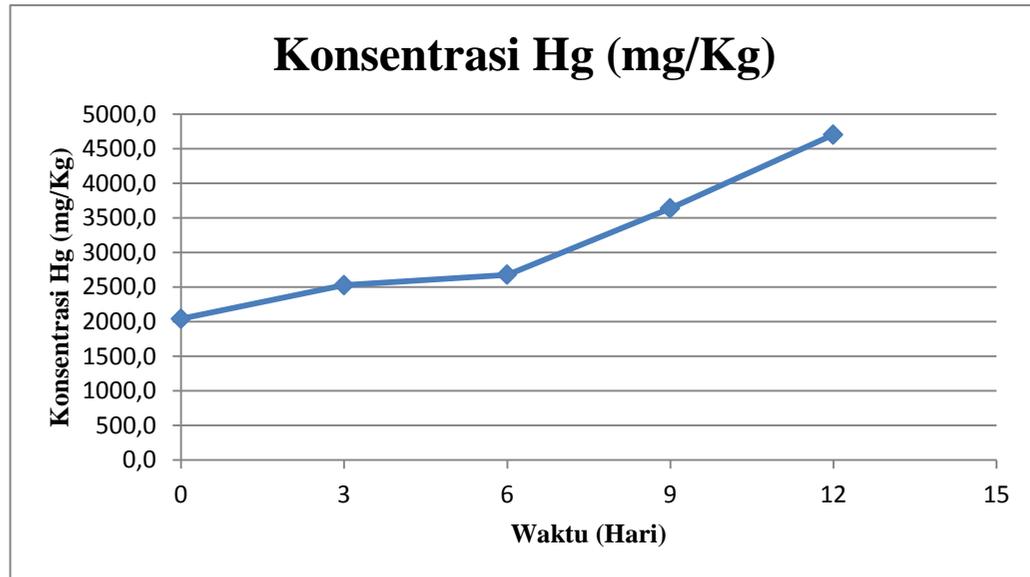
Kandungan Hg yang terserap oleh tanaman paku pakis (*pteris vittata*) dilakukan dengan cara penyiraman langsung menggunakan limbah merkuri (Hg), dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kandungan Hg yang terserap tanaman paku pakis (*pteris vittata*)

Hari	Absorbansi		Konsentrasi (mg/L)		Konsentrasi Rata-rata (mg/L)	Konsentrasi Hg (mg/Kg)	Konsentrasi Hg yang terabsorpsi
	1	2	1	2			
0	0,0336	0,0304	10,6969	9,7272	10,2121	2042,4	0
3	0,0379	0,0421	12,0000	13,2727	12,6364	2527,2	484,8
6	0,0418	0,0439	13,1818	13,7272	13,3854	2677,0	635
9	0,0558	0,06090	17,4242	18,9696	18,1969	3639,4	1579
12	0,0754	0,0764	23,3636	23,6667	23,5152	4703,0	2660,6

Berdasarkan hasil penelitian konsentrasi Hg pada tanaman paku pakis (*pteris vittata*), dapat diketahui bahwa konsentrasi Hg yang terserap tertinggi terjadi pada hari ke- 12 sebesar 2660,6 mg/Kg.

B. Grafik



Grafik 4.1 Penyerapan logam Hg pada tanaman paku pakis (*Pteris vittata*)

C. Pembahasan

Tanaman yang digunakan pada penelitian ini adalah tanaman paku pakis (*pteris vittata*) sebagai tanaman fitoremediasi yang akan menyerap logam merkuri (Hg) dari limbah merkuri (Hg). Tanaman paku pakis jenis *pteris vittata* kebanyakan digunakan oleh masyarakat awam sebagai tanaman hias, namun di satu sisi tanaman ini berpotensi untuk dijadikan sebagai tanaman fitoremediasi karena adanya kandungan protein yang sangat tinggi dibandingkan dengan tanaman hijau yang lain. Hal ini sesuai dengan yang digambarkan oleh Al-Qur'an sejak empat belas abad yang lalu yaitu dalam Firman Allah SWT Q.S. Asy-Syua'ara (26: 7) yang berbunyi:

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ ﴿٧﴾

Terjemahnya:

“Dan Apakah mereka tidak memperhatikan bumi, betapa banyak Kami tumbuhkan di bumi itu berbagai macam tumbuh-tumbuhan yang baik?“(Kementerian Agama RI, 2006: 367).

Ayat di atas di jelaskan yaitu berapa banyak Kami telah tumbuhkan di sana dari setiap pasang tumbuhan dengan berbagai macam jenisnya yang kesemuanya tumbuh subur lagi bermanfaat? Sesungguhnya yang demikian itu hebatnya benar-benar terdapat suatu ayat, yakni tanda membuktikan pula kuasa-Nya menghidupkan dan membangkitkan siapa yang telah mati. Sayang, mereka enggan memperhatikan sehingga mereka tidak menemukan tanda itu dan tidaklah kebanyakan mereka akan termasuk orang-orang yang mukmin (Tafsir Al-Misbah, 2009: 187).

Ayat lain dalam Firman Allah SWT Q.S. Luqman (31: 10), yang berbunyi:

خَلَقَ السَّمَوَاتِ بِغَيْرِ عَمَدٍ تَرَوْنَهَا ^ط وَاللَّيْلِ فِي الْأَرْضِ رَوَاسِيَ أَنْ تَمِيدَ بِكُمْ وَبَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ ﴿١٠﴾

Terjemahnya:

“Dia menciptakan langit tanpa tiang yang kamu melihatnya dan Dia meletakkan gunung-gunung (di permukaan) bumi supaya bumi itu tidak menggoyangkan kamu; dan memperkembang biakkan padanya segala macam jenis makhluk bergerak yang bernyawa di bumi. dan Kami turunkan air hujan dari langit, lalu Kami tumbuhkan padanya segala macam tumbuh-tumbuhan yang baik” (Kementerian Agama RI, 2006: 411).

Setelah menyebutkan beberapa ciptaan Allah, ayat di atas melanjutkan bahwa: Inilah yang sangat dekat kepada kamu yang dapat kamu lihat sehari-hari yang merupakan sebagian ciptaan Allah, bukan ciptaan-Nya yang jauh yang tidak dapat kamu jangkau atau ketahui. Nah jika kamu menduga bahwa ada Tuhan selain Allah atau bahwa berhala-berhala yang kamu sembah memiliki sifat ketuhanan,

maka perlihatkanlah kepada-Ku atau beritahulah Aku apa yang telah diciptakan oleh sembahhan-sembahhan kamu selain Allah! Sebenarnya orang-orang zalim, yang menyembah selain Allah atau mempersekutukan-Nya seperti kaum musyrikin Mekkah itu, berada dalam kesesatan yang nyata (Tafsir Al-Misbah, 2009: 287).

Salah satu ciptaan Allah yang memiliki manfaat yang baik adalah Tumbuhan paku (*Pteris vittata*), yang dijadikan sebagai sampel penelitian. Diambil dari daerah Parangloe, Kab.Gowa. Kemudian dilakukan isolasi pada media tanah yang disediakan selama 30 hari, tujuannya agar tanaman dapat beradaptasi dengan lingkungannya. Tanaman disimpan dalam *green house* fungsinya untuk menjaga kelembaban, dan suhu dari tanaman tersebut serta untuk menghindari dari polusi udara. Sebelum dilakukan fitoremediasi maka terlebih dahulu dilakukan analisis pendahuluan (tanaman kontrol) untuk mengetahui konsentrasinya awal Hg pada tanaman sebelum dilakukan proses fitoremediasi.

Tanaman yang telah dipetik dan dipotong kecil-kecil, fungsinya untuk mempercepat proses destruksi. Kemudian ditambahkan asam nitrat (HNO_3) untuk, mendestruksi dari bentuk logam organik menjadi bentuk logam anorganik. Selanjutnya ditambahkan asam perklorat (HClO_4) untuk mempercepat dan menyempurnakan proses destruksi. Kesempurnaan destruksi ditandai dengan diperolehnya larutan jernih pada larutan destruksi, yang menunjukkan bahwa semua konstituen yang ada telah larut sempurna atau perombakan senyawa-senyawa organik telah berjalan dengan baik.

1. Mekanisme Penyerapan Logam Merkuri (Hg) Oleh Tanaman Paku Pakis (*Pteris vittata*)

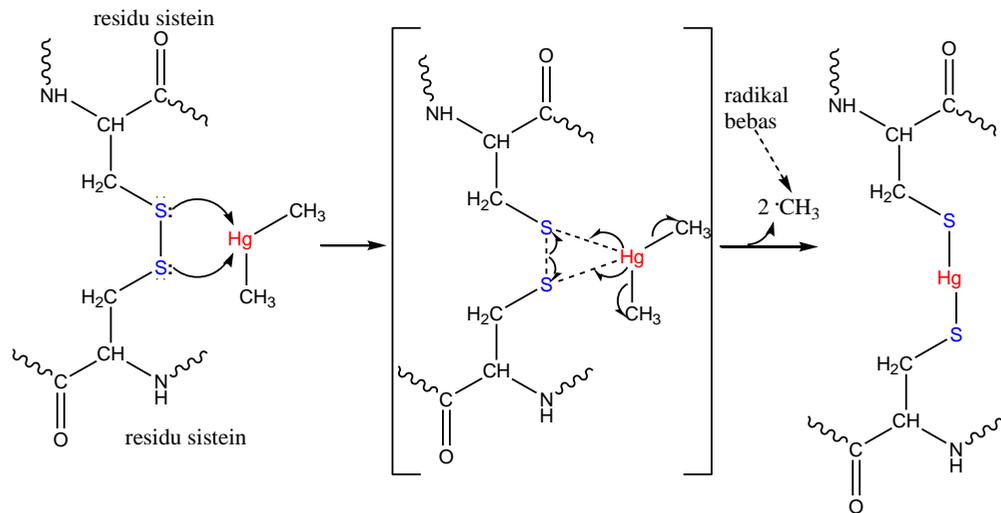
Pada tabel 4.1 dan grafik 4.1 menunjukkan hasil analisis merkuri pada tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) menunjukkan bahwa konsentrasi merkuri pada tanaman sebelum fitoremediasi yaitu diperoleh kadar merkuri sebesar 2042,4 mg/Kg. Sedangkan konsentrasi merkuri pada hari ke- 3 (setelah fitoremediasi) sebesar 2527,2 mg/Kg, sehingga konsentrasi merkuri yang terserap sebesar 484,8 mg/Kg, terjadi penyerapan logam merkuri (Hg) yang cukup signifikan. Hal ini disebabkan tanaman masih tumbuh subur, sehingga kemampuan untuk mengakumulasi dan mentranslokasikan Hg sangat baik, disamping itu dapat disebabkan karena tekstur tanah yang masih lembab yang menyebabkan meningkatnya daya larut logam sehingga akan menaikkan pembebasan logam dalam tanah yang memudahkan tanaman mudah mengakumulasi dan mentranslokasikan logam merkuri (Hg). Pada hari ke- 6, konsentrasi merkuri yang terserap sebesar 635 mg/Kg, peningkatan konsentrasi merkuri yang terserap tidak terlalu signifikan, hal ini dapat terjadi karena adanya perubahan suhu yang berubah-ubah atau tidak menentu sehingga mempengaruhi tanaman dalam mentranslokasikan logam. Pada hari ke- 9 sebesar 1579 mg/Kg dan pada hari ke- 12 sebesar 2660,6 mg/Kg. Pada hari ke- 9 dan hari ke- 12 terjadi peningkatan penyerapan konsentrasi merkuri (Hg) yang sangat signifikan. Hal ini dapat disebabkan karena tingginya konsentrasi merkuri pada tanah, kandungan logam dalam tanah sangat berpengaruh terhadap kandungan logam pada tanaman yang tumbuh di atasnya. Dari data tersebut bahwa merkuri yang terabsorpsi tertinggi terjadi pada pada hari ke- 12 yakni sebesar 2660,6 mg/Kg, dimana penyerapan konsentrasi Hg seakan meningkat seiring dengan lamanya waktu fitoremediasi. Dari data tersebut sangat jelas bahwa terjadi peningkatan konsentrasi

merkuri pada tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) yang cukup tinggi oleh karena adanya penyerapan merkuri dari tanaman pada saat fitoremediasi. Hal ini diperkuat dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Juheiti, (2005) yang menyatakan bahwa akumulasi merkuri pada tanaman secara umum meningkat dengan meningkatnya konsentrasi merkuri pada media tanam dan meningkatnya umur tanaman.

Berdasarkan data yang diperoleh pada penentuan konsentrasi sebelum penyiraman sebesar 2042,4 mg/Kg. Hal ini dapat dinyatakan bahwa tanaman paku pakis mengandung logam Hg sehingga tanaman menyerap logam berat membentuk enzim reduktase di membran akar dan akan terjadi translokasi di dalam tubuh tanaman. Kandungan logam dalam tanah sangat berpengaruh terhadap kandungan logam pada tanaman, kecuali terjadi interaksi diantara logam itu sehingga terjadi hambatan penyerapan logam tersebut oleh tanaman. Akumulasi logam dalam tanaman tidak hanya tergantung pada kandungan logam dalam tanah, tetapi juga tergantung pada unsur kimia tanah, jenis logam, pH tanah dan spesies tanaman (Darmono, 1995: 63). Disamping itu, faktor lain yaitu adanya kandungan konsentrasi logam merkuri (Hg) pada tanaman paku pakis yang digunakan untuk fitoremediasi, sehingga kemungkinan tanaman tersebut sudah terkontaminasi oleh logam merkuri (Hg).

Tingginya konsentrasi merkuri pada tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) juga dapat disebabkan karena tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) mengandung protein 4,5 kali lebih banyak dibandingkan dengan sayuran hijau yang lain. Dengan adanya protein yang terdiri dari gugus asam amino yang mengandung amina dan gugus samping seperti karbamida dan amina yang berpotensi sebagai ligan dalam mengakumulasi logam berat. Salah satu asam amino yang terdapat pada paku pakis (*Pteris vittata*) adalah sistein yang merupakan asam amino yang memiliki gugus

gugus sufuhidril (SH). Gugus polar ini yang akan mengikat logam berat dan didistribusikan ke bagian tanaman (Umacina, 2014: 5).



Gambar 4.1. Reaksi Sistin dengan Merkuri (Setiawan, 2014).

Menurut Kosegeran, (2015). Ada 2 faktor yang mempengaruhi proses penyerapan logam berat yaitu:

1. Perbedaan genetik dalam serapan, translokasi dan menolak atau menyimpan kontaminan oleh tanaman.
2. Faktor lingkungan yaitu umur tanaman juga merupakan salah satu penentu dalam penyerapan merkuri (Hg). Banyaknya serapan logam oleh tanaman tergantung pada umur tanaman, banyak logam dalam tanah dan lamanya waktu tanaman berada pada tanah tercemar.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) dalam mengakumulasi logam berat merkuri (Hg) tertinggi terjadi pada hari ke-12 sebesar 2660,6 mg/Kg. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) dapat digolongkan sebagai tanaman hiperakumulator terhadap

merkuri (Hg) karena mampu menyerap logam merkuri (Hg) sampai pada konsentrasi 10 mg/Kg (Kosegeran, 2015, 61).

Tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) sampai pada hari ke- 12 fitoremediasi, tanaman telah mengalami adanya tanda-tanda keracunan, yang ditandai dengan tanaman layu. Dan pada akhirnya tanaman tersebut mengalami kematian, hal ini disebabkan efek toksisitas dari logam Hg yang menghambat metabolisme dari tanaman. Kemudian disebabkan akibat kekurangan air karena selama proses fitoremediasi tanaman yang digunakan tidak pernah dilakukan penyiraman air, kemudian kekurangan O₂ karena tanaman disimpan dalam *green house* sehingga asupan oksigennya terbatas dan dapat disebabkan akibat perubahan suhu. Dalam Firman Allah dijelaskan Q.S. Al-Hijr (15:19), yang berbunyi:

وَالْأَرْضَ مَدَدْنَاهَا وَأَلْقَيْنَا فِيهَا رَوَاسِيَ وَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ شَيْءٍ مَّوْزُونٍ ﴿١٩﴾

Terjemahnya:

“Dan Kami telah menghamparkan bumi dan Kami pancangkan padanya gunung-gunung serta Kami tumbuhkan di sana segala sesuatu menurut ukuran” (Kementerian Agama RI, 2006: 263).

Dari ayat tersebut dijelaskan bahwa setiap tanaman memiliki kadar unsur tertentu yang harus terpenuhi dan seimbang, yang diperlukan untuk proses pertumbuhannya.

Selain itu juga dapat disebabkan tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) telah berlebihan mendapatkan cahaya sinar matahari. Walaupun lokasi penelitian berada pada tempat yang teduh, namun atap dan dindingnya dari plastik menyebabkan sinar matahari masih mampu menembus sehingga tanaman kelebihan radiasi sinar matahari menyebabkan sintesis klorofil kurang berfungsi dengan baik. Pada hal Al-Qur'an sendiri telah memberikan petunjuknya mengenai peranan penting dari zat

hijau daun (klorofil), sebagaimana difirmankan oleh Allah SWT dalam Q.S. Yasin (36: 80), yang berbunyi:

الَّذِي جَعَلَ لَكُم مِّنَ الشَّجَرِ الْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَا أَنتُم مِّنْهُ تُوقِدُونَ ﴿٨٠﴾

Terjemahnya:

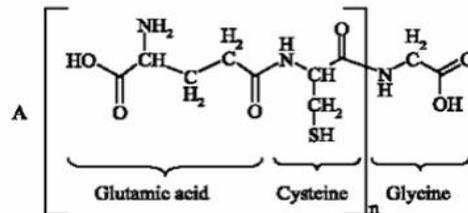
“Yaitu (Allah) yang menjadikan api untukmu dari kayu yang hijau, Maka seketika kamu nyalakan (api) dari kayu itu" (Kementerian Agama RI, 2006: 445).

Ungkapan Al-Qur'an yang mengaitkan zat warna hijau yang dimiliki pepohonan menunjukkan peranan penting zat tersebut bagi kehidupan berbagai tumbuhan-tumbuhan (Basith dan Shiddiq, 2002: 125).

Mekanisme toleransi terhadap logam berat mampu secara enzimatis mensintesis fitokhelatin dari senyawa glutathion. Vakuola merupakan organela utama tempat penyimpanan logam berat yang terserap tumbuhan. Saat ion-ion logam berat masih berada di sitosol, ion-ion ini akan mengaktifkan *fitokhelatin synthase*. Fitokhelatin akan berikatan dengan ion logam dan kemudian tertransport dari sitosol ke dalam vakuola. Selain itu metallothionein juga merupakan protein yang dapat mengikat logam berat dan berfungsi untuk detoksifikasi di dalam sel tumbuhan (Poedjirahajoe, 2012: 45).

Saat proses penyerapan logam berat tumbuhan membentuk suatu enzim reduktase di membran akarnya yang berfungsi untuk mereduksi logam yang kemudian merkuri ditranslokasikan ke bagian lain tumbuhan melalui jaringan pengangkut yaitu xilem dan floem. Untuk meningkatkan efesiensi pengangkutan, logam diikat oleh molekul khelat (molekul pengikat) yang selanjutnya diakumulasikan ke seluruh bagian tanaman yaitu akar, batang dan daun (Gosh dan Singh, 2005: 2-3). Tanaman melakukan mekanisme toleransi penting yang bersifat

induktif terhadap logam berat dengan mensintesis polipeptida pengikat logam, yaitu fitokhelatin. Fitokhelatin terbentuk bersama-sama dengan sintesis enzim *glutathione sintetase*. Fitokhelatin disintesis secara enzimatis oleh fitokhelatin sintase (*γ-glutamylcystein dipeptidyl transpeptidase*) dari glutation. Mekanisme detoksifikasi logam oleh fitokhelatin terjadi dengan jalan fitokhelatin mengikat logam yang selanjutnya akan ditransport ke dalam vakuola tanaman untuk disimpan (Nopriani, 2011: 3).



Gambar 4.2. Struktur Fitokhelatin

Pengikatan logam oleh zat khelat terjadi melalui bulu-bulu akar dan masuk ke sistem penyerapan air dan unsur hara. Pengkhelatan merkuri oleh zat khelat dapat membentuk senyawa kompleks dalam garam. Fitokhelatin juga merupakan enzim sehingga ketika terjadi proses pengkhelatan, merkuri berikatan dengan gugus S (sulfur) pada asam amino fitokhletain. Senyawa kompleks dan garam yang dibentuk selanjutnya yang diserap. Setelah terjadi penyerapan di akar maka selanjutnya akan ditranslokasikan ke bagian organ tumbuhan yang lain melalui jaringan pengangkut secara apoplas.

Pengangkutan secara apoplas ini dikarenakan zat yang akan diangkut berupa logam berat yang membutuhkan zat khelat karena logam berat merkuri tidak dibutuhkan oleh tumbuhan maka dalam proses penyerapannya berbeda dengan berbagai unsur hara seperti P, K, H dan Mg yang pengangkutannya melalui jalur

simples. Sehingga logam berat merkuri diangkut dari luar ke dalam sel melintasi membran, namun proses ini tidak berjalan dengan difusi biasa karena molekul merkuri yang besar sehingga melibatkan protein atau enzim untuk dapat melewati membran. Ketika melibatkan protein atau enzim maka dengan menggunakan ATP, proton dapat dipompa keluar membran menuju daerah apoplas sehingga terjadi perbedaan konsentrasi proton antara di dalam dan di luar membran, kemudian energi dari gradien proton dimanfaatkan untuk menggerakkan ion merkuri ke dalam sel yang selanjutnya ion akan masuk ke dalam sitoplasma dan akhirnya diakumulasi di dalam vakuola (Nopriani, 2011: 3).

Semua yang dijelaskan di atas, telah diterangkan oleh Al-Qur'an sejak empat belas abad yang lalu. Allah SWT berfirman dalam Q.S. Ar-Ra'd (13: 4), yang berbunyi:

وَفِي الْأَرْضِ قِطْعٌ مُتَجَوِّرَاتٌ وَجَنَّاتٌ مِّنْ أَعْنَابٍ وَزُرْعٌ وَنَخِيلٌ صِنَوَانٌ وَغَيْرُ صِنَوَانٍ
يُسْقَىٰ بِمَاءٍ وَاحِدٍ وَنُفِضِلُ بَعْضَهَا عَلَىٰ بَعْضٍ فِي الْأَكْلِ ۗ إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَآيَاتٍ
لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ

Terjemahnya:

“Dan di bumi terdapat bagian-bagian yang berdampingan, kebun-kebun anggur, tanaman-tanaman, pohon korma yang bercabang dan yang tidak bercabang, disirami dengan air yang sama, tetapi Kami lebihkan tanaman yang satu dari yang lainnya dalam hal rasanya. Sesungguhnya pada yang demikian itu terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang berfikir” (Kementerian Agama RI, 2006: 249).

Berdasarkan ayat di atas, kelebihan yang dimiliki oleh salah satu tumbuh-tumbuhan dalam menyeleksi unsur bahan makanan yang diserapnya berpengaruh pada rasa, kualitas dan warna dari buah-buahan yang dihasilkannya (Basith dan Shiddiq, 2002: 125).

Lalu Nabi Saw. bersabda bahwa ada yang pahit, ada yang hambar, ada yang manis, dan ada yang asam. Hadis riwayat Imam Turmuzi, dan ia mengatakan bahwa predikat hadis ini hasan garib. Dengan kata lain, perbedaan pada buah-buahan dan tanam-tanaman ini adalah dalam hal bentuk, warna, rasa, bau, daun-daun, dan bunga-bunganya. Sebagian di antaranya ada yang berasa manis sekali, yang lainnya ada yang sangat kecut, ada yang sangat pahit, ada yang berasa hambar, dan yang lainnya lagi ada yang berasa segar. Ada pula yang pada mulanya berasa kecut, kemudian berubah berasa lain (manis) dengan seizin Allah. Warna masing-masing ada yang kuning, ada yang merah, ada yang putih, ada yang hitam dan ada yang biru (Tafsir Ibnu Kasir).

Demikian pula halnya dengan bunga-bunganya, padahal semuanya menyandarkan kehidupannya dari satu sumber, yaitu air, tetapi kejadiannya berbeda-beda dengan perbedaan yang cukup banyak tak terhitung. Dalam kesemuanya itu terkandung tanda-tanda kekuasaan Allah bagi orang yang menggunakan pikirannya. Keadaan ini termasuk bukti yang paling besar yang menunjukkan akan Penciptanya, yang dengan kekuasaan-Nya dijadikan berbeda segala sesuatunya, Dia menciptakannya menurut apa yang dikehendaki-Nya (Tafsir Ibnu Kasir).

Dari ayat tersebut sangat jelas bahwa Allah SWT telah menjelaskan empat belas abad yang lalu dalam Al-Qur'an tentang segala bentuk kejadian terhadap segala sesuatu, salah satunya adalah pada tumbuh-tumbuhan yang diciptakan oleh Allah SWT yang memiliki banyak manfaat. Seperti tanaman paku pakis (*Pteris vittata*)

yang terbukti secara ilmiah setelah dilakukan penelitian yaitu dapat dijadikan sebagai tanaman hiperakumulator terhadap logam berat merkuri (Hg) sehingga sangat baik digunakan dalam meminimalisir pencemaran logam berat, khususnya logam merkuri (Hg) pada lingkungan.

Allah SWT berfirman dalam Q.S. Al-Baqarah (2: 251) yang berbunyi:

فَهَزَمُوهُمْ بِإِذْنِ اللَّهِ وَقَتَلَ دَاوُدُ جَالُوتَ وَءَاتَاهُ اللَّهُ الْمُلْكَ وَالْحِكْمَةَ وَعَلَّمَهُ
 مِمَّا يَشَاءُ وَلَوْلَا دَفْعُ اللَّهِ النَّاسَ بَعْضَهُم بِبَعْضٍ لَفَسَدَتِ الْأَرْضُ وَلَكِنَّ اللَّهَ ذُو
 فَضْلٍ عَلَى الْعَالَمِينَ ﴿٢٥١﴾

Terjemahnya:

“Maka mereka (tentara Thalut) mengalahkan tentara Jalut dengan izin Allah dan (dalam peperangan itu) Daud membunuh Jalut, kemudian Allah memberikan kepadanya (Daud) pemerintahan dan hikmah [157] (sesudah meninggalnya Thalut) dan mengajarkan kepadanya apa yang dikehendaki-Nya. seandainya Allah tidak menolak (keganasan) sebahagian umat manusia dengan sebagian yang lain, pasti rusaklah bumi ini. tetapi Allah mempunyai karunia (yang dicurahkan) atas semesta alam” (Kementerian Agama RI, 2006: 41).

[157] Yang dimaksud di sini ialah kenabian dan kitab Zabur.

Dan di ayat lain disebutkan dalam Q.S. Al- Hajj (22: 40) yang berbunyi:

الَّذِينَ أُخْرِجُوا مِنْ دِيَارِهِمْ بِغَيْرِ حَقٍّ إِلَّا أَنْ يَقُولُوا رَبُّنَا اللَّهُ وَلَوْلَا دَفْعُ اللَّهِ النَّاسَ
 بَعْضَهُمْ بِبَعْضٍ لَفَسَدَتِ الْأَرْضُ وَلَكِنَّ اللَّهَ ذُو فَضْلٍ عَلَى الْعَالَمِينَ ﴿٤٠﴾
 كَثِيرًا وَلَيَنْصُرَنَّ اللَّهُ مَنْ يَنْصُرُهُ إِنَّ اللَّهَ لَقَوِيٌّ عَزِيزٌ ﴿٤١﴾

Terjemahnya:

“(yaitu) orang-orang yang telah diusir dari kampung halaman mereka tanpa alasan yang benar, kecuali karena mereka berkata: "Tuhan Kami hanyalah Allah". dan Sekiranya Allah tiada menolak (keganasan) sebagian manusia dengan sebagian yang lain, tentulah telah dirobohkan biara-biara Nasrani, gereja-gereja, rumah-rumah ibadat orang Yahudi dan masjid- masjid, yang di dalamnya banyak disebut nama Allah. Sesungguhnya Allah pasti menolong orang yang menolong (agama)-Nya. Sesungguhnya Allah benar-benar Maha kuat lagi Maha perkasa” (Kementerian Agama RI, 2006: 337).

Poin penting yang hendak disampaikan dari kedua ayat di atas adalah bahwa jagat raya yang sebagaimana diciptakan oleh Allah SWT yang memiliki konsep keseimbangan tersendiri dan saling melengkapi antar elemen-elemennya. Apabila salah satu elemennya ada yang melewati batas, niscaya akan ada dari elemen jagat raya itu sendiri yang mampu meredam. Sehingga kemudian segala sesuatunya akan kembali pada tatanan keseimbangan yang adil (Al-Qaradhawi, 2001: 238).

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, kesimpulan yang dihasilkan yaitu:

1. Tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) dapat digolongkan sebagai tanaman hiperakumulator terhadap logam merkuri (Hg) karena dapat mengakumulasi logam sebesar 4703 mg/Kg pada hari ke-12.
2. Penyerapan merkuri (Hg) oleh tanaman paku pakis (*Ptersi vittata*) meningkat dengan bertambahnya waktu fitoremediasi.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian penulis menyarankan penelitian selanjutnya hendaknya dilakukan penentuan konsentrasi optimal logam merkuri (Hg) pada proses fitoremediasi menggunakan tanaman paku pakis (*Pteris vittata*).

DAFTAR PUSTAKA

Al-Quranul Qarim

Al-Qaradhawi, Yusuf. *Islam Agama Ramah Lingkungan*. Jakarta: Dar Asy-Syuruq, 2001.

Al-Turmudzi, Abu 'Isa Muhammad bin Saurah ibn al-Dahhak al-Sulami al-Bughi, *Sunan al-Turmudzi*. Beirut: Dar al-Fiqr, 2005.

Arini, Diah Irawati Dwi dan Kinho, Julianus. "Keragaman Jenis Tumbuhan Paku (Pteridophyta) Di Cagar Alam Gunung Ambang Sulawesi Utara". *Jurnal Balai Penelitian Hehutanan*, Manado, Vol. 2 No.1, 2012.

Aryantha, Nyoman P.,dkk. "Tumbuhan Paku Di Coban Pelangi – Malang". <http://www.sith.itb.ac.id/herbarium>. Bandung, 2012.

Basith, Abdul dan Shidiq, Daliya. *Ensiklopedi Ilmiah Dalam Al-Qura'an dan Sunnah*. Pustaka Al-Kautsar: Jakarta, 2002.

Belami, Yulianti, L. Indah M, dan Sidharta, B. Roy R. "Pemanfaatan Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) Untuk Menurunkan Kadar Merkuri (Hg) Pada Air Bekas Penambangan Emas Rakyat". *Jurnal Fakultas Teknobiologi, Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, 2014.

Chamid, Chusharini, N. Yulianita, P. Renosari. *Kajian Tingkat Konsentrasi Merkuri Pada Rambut Masyarakat Kota Bandung*. Prosiding SnaPP Edisi Eksakta, 2010.

Darmono. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Universitas Indonesia (UI-Press): Jakarta, 1995).

Ernawan, Danang, Sudadi dan Sumami. "Pengaruh Penggenangan Dan Konsentrasi Timbal (Pb) Terhadap Pertumbuhan Dan Serapan Pb *Azolla microphylla* Pada Tanah Berkarakter Kimia Berbeda". *Skripsi Jurusan/Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret*, Surakarta, 2010.

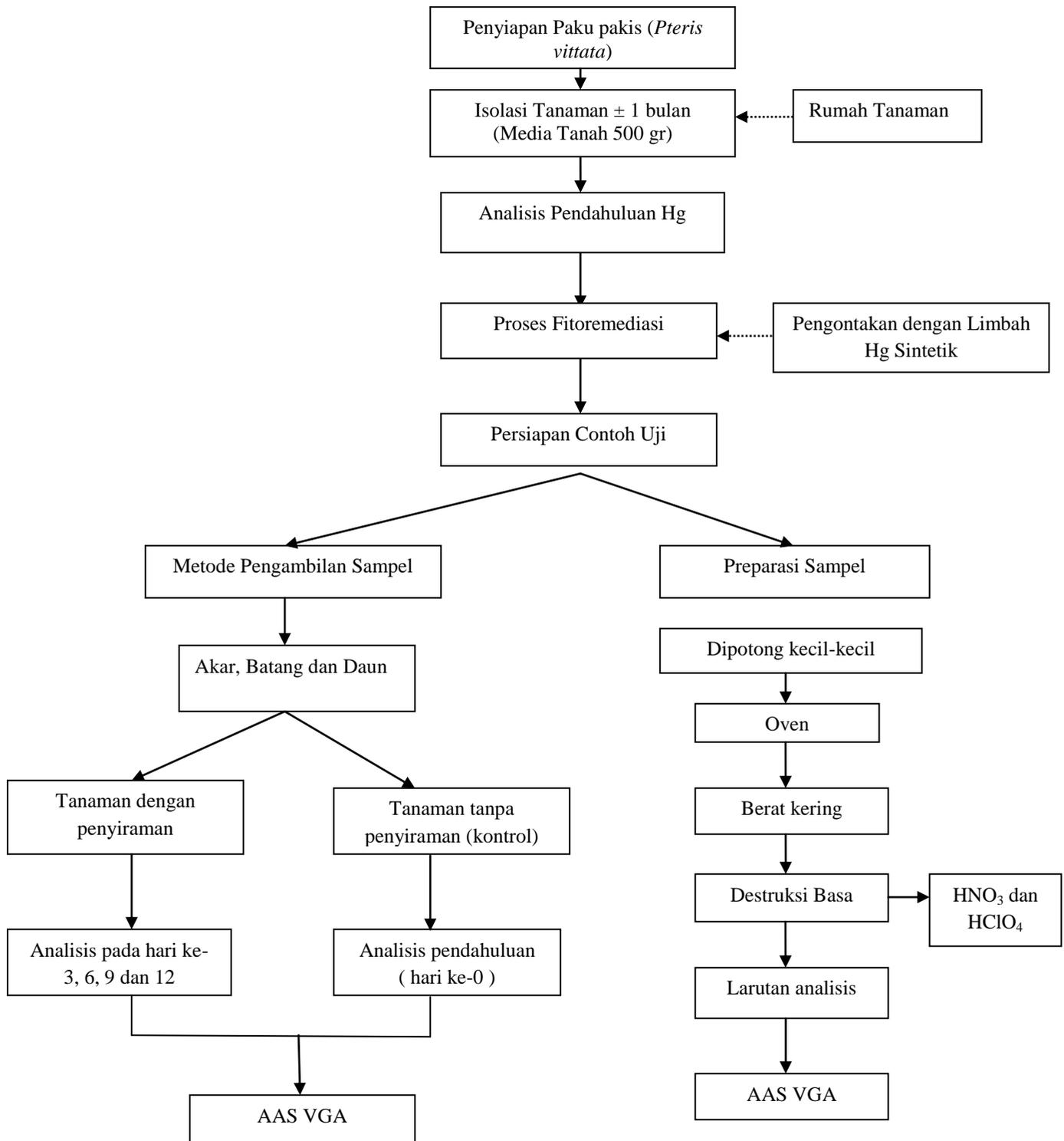
Geo. "Analisis Limbah PT. Freeport Indonesia". *Jurnal Freeport*, 2012.

Hidayati, Nuril. Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator. *Pusat Penelitian Biologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia*. Vol.12, No.1 ISSN 0854-8587, 2005.

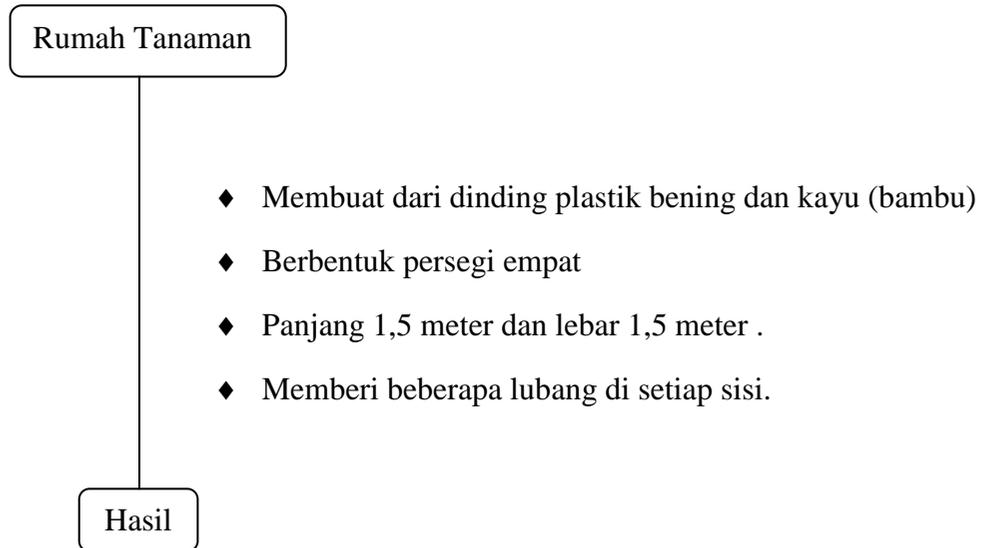
- Ibnu Kasir Ad-Dimasyqi, Al-Imam Abul Fida Isma'il. *Tafsir Ibnu Kasir*.
Kampungsunnah.org.
- Khopkar, S.M. *Basic Concepts Of Analitikal Chemistry*. Terj. Saptorahardjo, A.
Dasar Kimia Analitik. Jakarta: UI Prees. 1990.
- Kosegeran, Altini O, dkk. "Kandungan Merkuri Pada Tumbuhan Paku (*Diplazium
accedens Blume*) Di Daerah Tambang Emas Tatelu-Talawaan, Kabupaten
Minahasa Utara". *Jurnal Ilmiah Sains*, Vol. 15 No. 1, April 2015.
- Laonso, Hasan Erwin, Harianto Tri, Muhiddin Achmad Bakri. "Studi Eksperimental
Tingkat Rembesan Tailing Tambang PT. Freeport Indonesia Dengan Stabilisasi
Tanah Aspal Emulsi". *Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin*,
Makassar, 2010.
- Mahmud, Marike, dkk. "Fitoremediasi Sebagai Alternatif Pengurangan Limbah
Merkuri Akibat Penambangan Emas Tradisional di Ekosistem Sungai Tulabolo
Kabupaten Bone Bolango". *Jurnal Universitas Negeri Gorontalo*, 2012.
- Nurchayati, Nunuk. "Hubungan Kekeabatan Beberapa Spesies Tumbuhan Paku
Familia Polypodiaceae Ditinjau Dari Karakter Morfologi Sporofit dan
Gametofit". *Jurnal Ilmiah Progressif*, Vol. 7 No. 19, 2010.
- Putranto, Thomas Triadi. "Pencemaran Logam Berat Merkuri (Hg) Pada Tanah".
Jurnal Teknik Universitas Diponegoro. Vol. 32 No. 1, ISSN 0852-1697,
2011.
- Setiawan, Tirta. *Biosorpsi Of Heavy Metal Plumbum (Pb) dan Interaksi dengan
Protein*. Institut Pertanian Bogor, 2014.
- Shihab, M Quraish. *Tafsir Al_Misbah Pesan, Kesan dan Keseharian Al-Qur'an*.
Jakarta: Lentera Hati.
- Siahaan, N. H. T. *Hukum Lingkungan dan Ekologi Pembangunan*. Jakarta: Erlangga,
2004.
- Sidauruk, Lamrian dan Sipayung, Patricius. "Fitoremediasi Lahan Tercemar Di
Kawasan Industri Medan Dengan Tanaman Hias". *Jurnal Pertanian Tropik*.
Vol. 2, No.2, ISSN 2356-4725, Agustus, 2015.
- Syamsidar. *Bahan Kimia Berbahaya Pada Makanan Minuman dan Kosmetik*.
Makassar: Alauddin Prees. 2014.

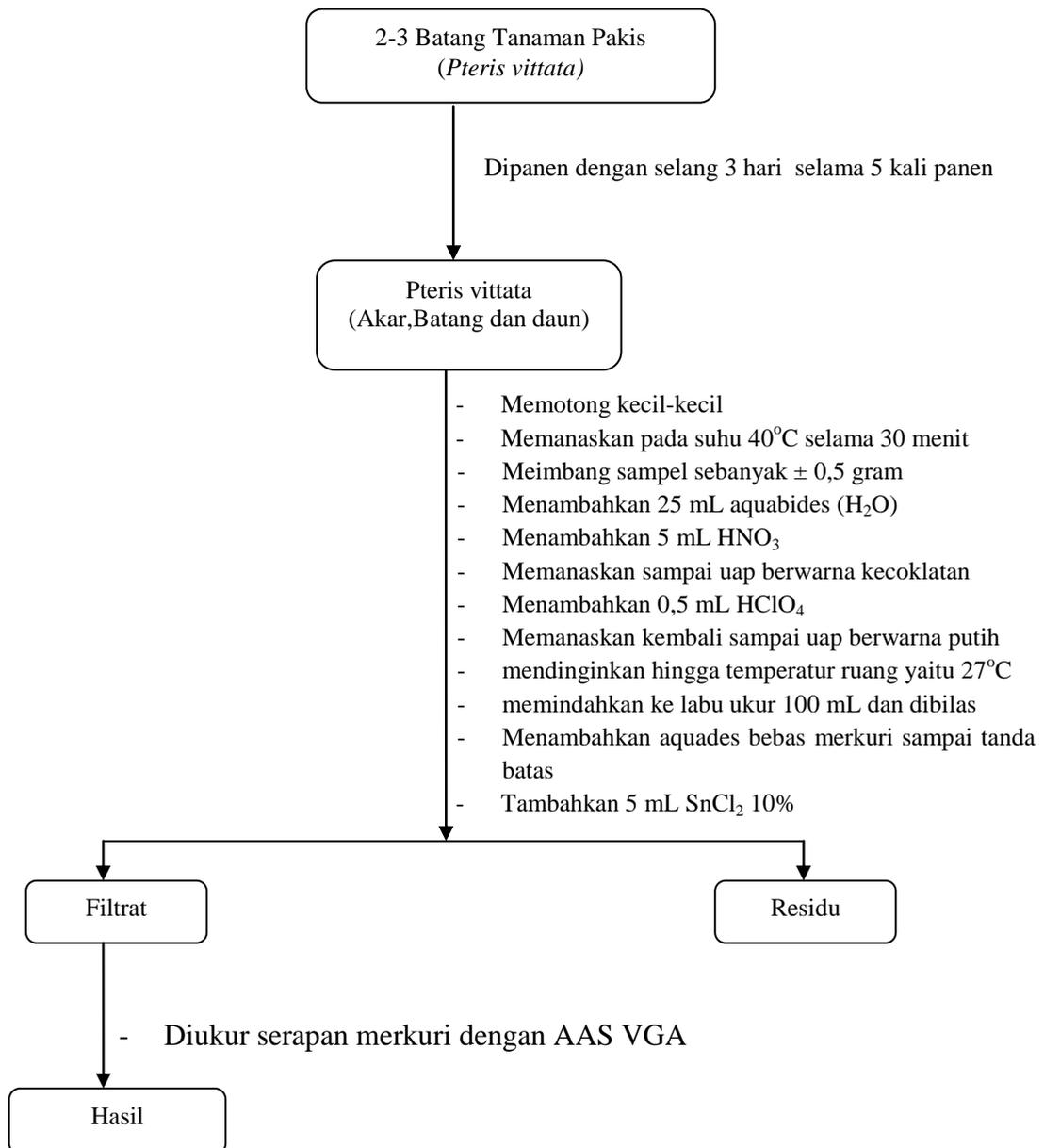
- Umacina, Mirnawati, Liestianty, Deasy dan Muliadi. "Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Tembaga Menggunakan Tanaman Kedelai (*Glycine max (L) merill*) Dengan Penambahan Arang (*Charcoal*)". *Skripsi Universitas Khairun*, 2014.
- Wahidah, Baiq Farhatul. *Pengantar Anatomi Tumbuhan*. Alauddin University Press: Makassar, 2011.
- Warjono, Sumodinoto. "Pasir Sisa Tambang Untuk Konstruksi Perkerasan Bermasalah Dengan Lingkungan, *Jurnal Departemen Pertambangan ITB*, Bandung, 2001.
- Widhiastuti, Retno, dkk. "Struktur dan Komposisi Tumbuhan Paku-Pakuan di Kawasan Hutan Gunung Sinabung Kabupaten Karo". *Jurnal Biologi Sumatera*, Vol. B8 No.2, ISSN 190-5537, Juli 2006

LAMPIRAN 1. SKEMA PENELITIAN



LAMPIRAN 2. PEMBUATAN RUMAH TANAMAN



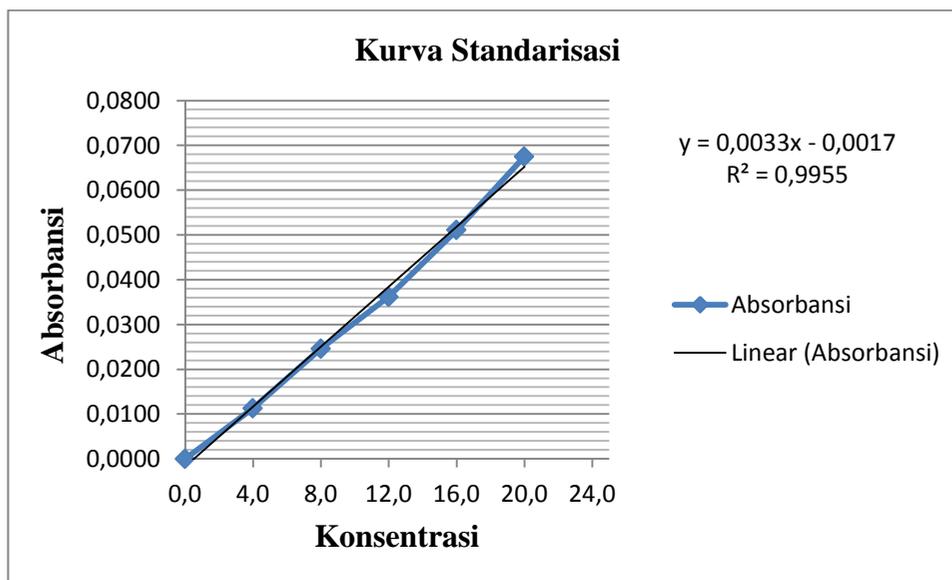
LAMPIRAN 3. SKEMA ANALISIS SAMPEL

LAMPIRAN 4. ANALISIS DATA

1. Data Kurva Standarisasi Larutan Standar

No.	Konsentrasi Standar (x)	Absorbansi (y)	x^2	y^2	x.y
1.	0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0000
2.	4,0	0,0113	16,0	0,00012769	0,0452
3.	8,0	0,0246	64,0	0,00060516	0,1968
4.	12,0	0,0362	144,0	0,00131044	0,4344
5.	16,0	0,0511	256,0	0,00261121	0,8176
6.	20,0	0,0675	400,0	0,00455625	1,3500
N=6	$\Sigma x=60$	$\Sigma y=0,1907$	$\Sigma x^2=$	$\Sigma y^2=0,00921$	$\Sigma x.y=2,8440$

2. Grafik Kurva Standarisasi Larutan Standar



a). Persamaan Garis Linier

$$y = a + bx$$

$$b = \frac{n\sum xy - \sum x \cdot \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{6 \times (2,88440) - (60) \times (0,1907)}{6 \times 880 - (3600)^2}$$

$$b = \frac{17,0640 - 11,4420}{5280 - 3600}$$

$$b = \frac{5,6220}{1680}$$

$$b = 0,003346$$

$$a = y_{rata-rata} - bx_{rata-rata}$$

$$a = 0,031783 - 0,003346 (10)$$

$$a = 0,031783 - 0,03346$$

$$a = -0,0017$$

Jadi, diperoleh persamaan linier adalah $y = 0,0033x - 0,0017$.

b). Nilai Regresi

$$R^2 = \frac{n\sum xy - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{((n\sum x^2) - (\sum x)^2)((n\sum y^2) - (\sum y)^2)}}$$

$$R^2 = \frac{6 \times (2,844) - 60 \times (0,1907)}{\sqrt{((6 \times 880 - (60)^2)((6 \times 0,00921) - (0,1907)^2))}}$$

$$R^2 = \frac{5,622}{\sqrt{(1680) - (0,05526 - 0,036366)}}$$

$$R^2 = \frac{5,622}{\sqrt{(1680)(0,0189)}}$$

$$R^2 = \frac{5,622}{\sqrt{(31,752)}}$$

$$R^2 = \frac{5,622}{5,6348}$$

$$R^2 = 0.997$$

1. Tanaman Sampel Paku

a. Pada hari ke-0

1) Simplo

$$\begin{aligned} y &= bx_1 - a \\ &= 0,0033x_1 - 0,0017 \\ 0,0336 &= 0,0033x_1 - 0,0017 \\ 0,0033 x_1 &= 0,0336 + 0,0017 \\ 0,0033 x_1 &= 0,0353 \\ x_1 &= \frac{0,0353}{0,0033} \\ x_1 &= 10,6969 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

2) Duplo

$$\begin{aligned} y &= 0,0033x_2 - 0,0017 \\ 0,0304 &= 0,0033x_2 - 0,0017 \\ 0,0033x_2 &= 0,0304 + 0,007 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0,0033x_2 &= 0,0321 \\
 x_2 &= 9,7272 \text{ mg/L} \\
 \text{Rata-rata} &= \frac{x_1 + x_2}{2} \\
 &= \frac{(10,6969 + 9,7272) \text{ mg/L}}{2} \\
 &= \frac{20,4241}{2} \\
 &= 10,2121 \text{ mg/L} \\
 \text{mg/Kg berat kering sampel} &= \frac{10,2121 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,1 \text{ L}}{0,0005 \text{ kg}} \\
 &= \frac{1,0212 \text{ mg}}{0,0005 \text{ kg}} \\
 &= 2042,4 \text{ mg/Kg}
 \end{aligned}$$

b. Pada hari ke-3

1. Simplo

$$\begin{aligned}
 y &= 0,0033x_1 - 0,0017 \\
 0,0379 &= 0,0033x_1 - 0,0017 \\
 0,0033 x_1 &= 0,0379 + 0,0017 \\
 0,0033 x_1 &= 0,0396 \text{ mg/L} \\
 x_1 &= 12,0000 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

2. Duplo

$$\begin{aligned}
 y &= 0,0033x_2 - 0,0017 \\
 0,0421 &= 0,0033x_2 - 0,0017 \\
 0,0033x_2 &= 0,0438 \text{ mg/L} \\
 x_2 &= 13,2727 \text{ mg/L} \\
 \text{Rata-rata} &= \frac{12,000 + 13,2727) \text{ mg/L}}{2} \\
 &= \frac{25,2727 \text{ mg/L}}{2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 12,6364 \text{ mg/L} \\ \text{mg/Kg berat kering sampel} &= \frac{12,6364 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,1 \text{ L}}{0,0005 \text{ kg}} \\ &= \frac{1,2636 \text{ mg}}{0,0005 \text{ kg}} \\ &= 2527,2 \text{ mg/Kg} \end{aligned}$$

Keterangan:

Hasil konsentrasi merkuri (Hg) pada hari ke-6, 9 dan 12 dapat dilihat pada tabel 4.1

LAMPIRAN 5. DOKUMENTASI PENELITIAN

A. Pembuatan Rumah Tanaman



1. Pembuatan Rumah Tanaman (*Green House*)



2. Penanaman Tanaman Paku Pakis



3. Isolasi Tanaman Paku Pakis

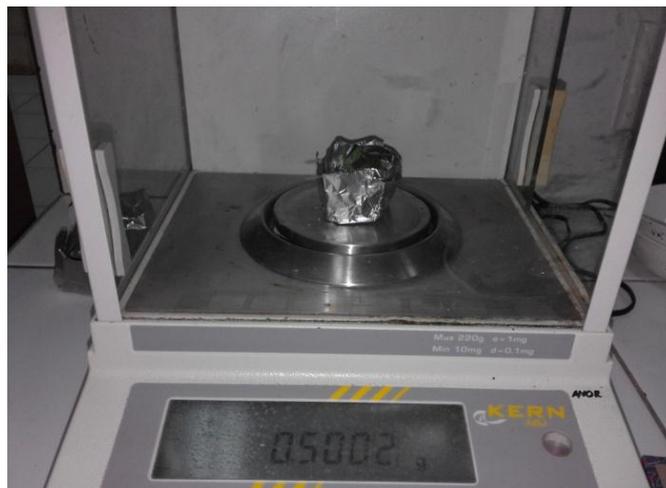


4. Pemaparan tanaman dengan limbah merkuri (Hg)

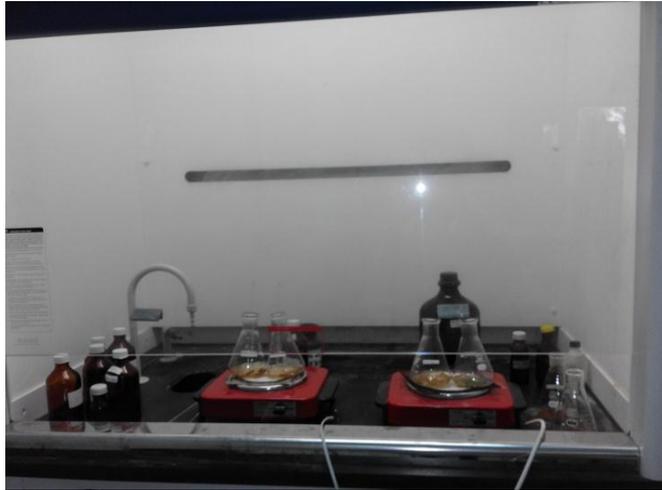
B. Preparasi Sampel



1. Sampel dipotong kecil-kecil



2. Penimbangan sampel



3. Proses destruksi



4. Penyaringan sampel hasil destruksi



5. Larutan siap analisis



6. Deret standar



7. AAS VGA

Rizal Irfandi, Syamsidar HS, Iin Novianty
Fitoremediasi Tanaman Paku Pakis (*Pteris vittata*)
Terhadap Limbah Merkuri Sintetik

**PEMANFAATAN TANAMAN PAKU PAKIS (*PTERIS VITTATA*)
TERHADAP LIMBAH LOGAM BERAT MERKURI (Hg) SINTETIK**

Rizal Irfandi, Syamsidar, dan Iin Novianty
Jurusan Kimia, Fakultas Sain dan Teknologi, UIN Alauddin Makassar
Email: rizalirfandi043@gmail.com

***Abstarct:** Nowadays 35% of Indonesia has been converted into a mining area. This case will change the landscape of Indonesia and gives potential towards the environmental pollution. This research was conducted to influence whether or not the fern nail plant (*Pteris vittata*) can be classified as hyperaccumulator plant to a heavy metal mercury (Hg) and the influence variation of contact time phytoremediation of fern nail plant (*Pteris vittata*) in heavy metals mercury (Hg) absorption. The method used is a method of phytoremediation, which it is principle focused on the use of plants to remediate environment of heavy metal pollution. In this research the writer used fern nail plant (*Pteris vittata*). it contains high protein that will bind the heavy metals thus, it is potentially made as hyperaccumulator plant. The results shown that the fern nail plant (*Pteris vittata*) can be classified as hyperaccumulator plants toward heavy metals mercury (Hg) because it can accumulate 4703 mg/Kg of heavy metals mercury (Hg) at the 12th day and heavy metals mercury (Hg) absorption by fern nail plant (*Pteris vittata*) increased by increasing time of phytoremediation.*

*Keywords: phytoremediation, *Pteris vittata*, hyperaccumulator, mercury (Hg)*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri di Indonesia akhir-akhir ini semakin pesat. Namun Kepentingan usaha pertambangan dan pelestarian lingkungan bagaikan sebuah paradoks. Di satu sisi pertambangan dibutuhkan demi pembangunan, tetapi di sisi lain lingkungan menjadi rusak akibat aktivitas pertambangan yang tidak menerapkan teknologi ramah lingkungan. Dampak kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh kegiatan pertambangan salah satunya adalah pembuangan tailing ke perairan, atau daratan. Ketika tailing dari hasil pertambangan dibuang di badan air atau daratan, maka unsur pencemar kemungkinan tersebar di sekitar wilayah tersebut dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan.

Tailing adalah bahan buangan hasil tambang yang mengandung logam berat berbahaya. Logam berat biasanya bersifat tidak dapat terurai maka akan menumpuk di lingkungan dan kemudian mencemari rantai makanan. Kontaminasi rantai makanan ini menimbulkan resiko bagi kesehatan manusia dan lingkungan (Laonso, dkk, 2010: 2).

Kerusakan yang terjadi di lingkungan seperti, pencemaran logam berat akibat dari limbah tailing yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan merupakan permasalahan yang sangat serius untuk ditangani, karena merugikan lingkungan dan ekosistem secara umum. Sejak kasus merkuri di Minamata Jepang pada 1953, pencemaran logam berat semakin sering terjadi dan semakin banyak dilaporkan. Agen Lingkungan Amerika Serikat (EPA) di dalam Mursyidin, Dindin H. (2006) melaporkan, terdapat 13 elemen logam berat yang diketahui berbahaya bagi lingkungan. Di antaranya merkuri (Hg), arsenik (As), timbal (Pb), dan kadmium (Cd). Logam berat sendiri sebenarnya merupakan unsur esensial yang sangat dibutuhkan setiap makhluk hidup, namun beberapa di antaranya (dalam kadar tertentu) bersifat

racun. Di alam, unsur ini biasanya terdapat dalam bentuk terlarut atau tersuspensi (terikat dengan zat padat) serta terdapat sebagai bentuk ionik (Putranto, 2011: 65).

Merkuri (Hg) dalam proses penambangan emas dimanfaatkan sebagai pelarut emas dan untuk menyatukan bijih-bijih emas kasar menjadi satu bentuk emas yang besar. Setelah itu amalgam (campuran emas dengan merkuri) dibakar untuk memisahkan emas dan merkuri sehingga diperoleh biji emas murni. Pada proses amalgamasi emas, merkuri dapat terlepas ke lingkungan pada tahap pencucian dan penggarangan. Di dalam air, merkuri dapat mengalami biotransformasi menjadi senyawa organik tersebut dan akan terserap oleh jasad renik yang selanjutnya akan masuk dalam rantai makanan dan akhirnya akan terjadi akumulasi dan biomagnifikasi dalam tubuh hewan air seperti ikan dan kerang, yang akhirnya dapat masuk ke dalam tubuh manusia yang mengkonsumsinya (Belami, dkk, 2013, 1-2).

Pemaparan dalam waktu singkat pada kadar merkuri (Hg) yang tinggi dapat mengakibatkan kerusakan paru-paru, muntah-muntah, peningkatan tekanan darah, kerusakan kulit dan iritasi mata. Sedangkan pemaparan dalam waktu yang panjang diantaranya menyebabkan kanker, gangguan sistem reproduksi pada manusia dan lain sebagainya. Semua gejala yang ditimbulkan oleh merkuri (Hg) ini terjadi karena kemampuan merkuri untuk terikat kuat pada protein dalam organisme. Kasus toksisitas merkuri (Hg) anorganik banyak dilaporkan pada abad 18 dan 19 pada karyawan industri logam dengan gejala khas tremor. Penderita biasanya pertama mengalami tremor pada otot muka dan kemudian merembet ke jari-jari dan tangan. Jika keracunan terus berlanjut, tremor terus menjalar ke lidah sehingga pada waktu bicara lidah menjadi kaku (Darmono, 1995: 103).

Mengingat akan hal tersebut, maka penyebaran merkuri ini perlu penanganan untuk menekan jumlah limbah merkuri. Salah satu cara yang sederhana yaitu dengan penanaman tanaman yang hiperakumulator. Pencemaran tersebut akan semakin meningkat dengan meningkatnya produksi suatu industri. Berbagai metode untuk memulihkan lingkungan tercemar dari suatu kontaminan logam berat adalah salah satunya dengan menggunakan tanaman. Metode ini dikenal dengan nama fitoremediasi (Haruna, dkk, 2009: 1). Fitoremediasi dapat diartikan sebagai proses bioremediasi yang menggunakan berbagai tanaman untuk menghilangkan, memindahkan dan atau menghancurkan kontaminan dalam tanah dan air bawah tanah (Ernawan, dkk, 2010: 2). Salah satu tanaman yang dapat digunakan untuk penyerapan logam berat adalah tanaman paku pakis (*Pteris vittata*).

Tumbuhan paku telah banyak dimanfaatkan masyarakat Indonesia diantaranya sebagai tanaman hias, sayuran dan obat-obatan. Sebagaimana hadis riwayat al-Tirmidhi yang artinya sebagai berikut:

“Tidaklah seorang muslim menanam tanaman lalu tanaman itu dimakan manusia, binatang ataupun burung melainkan tanaman itu menjadi sedekah baginya sampai hari kiamat”.

Dari kutipan hadis di atas, dijelaskan bahwa seseorang yang menanam pohon adalah suatu tindakan untuk kelestarian alam dengan bermanfaat juga untuk manusia dengan menghasilkan CO₂ yaitu oksigen yang sehari-hari dibutuhkan manusia. Disamping itu juga dalam ajaran Islam penanaman pohon yang hasilnya dimanfaatkan makhluk hidup lainnya bisa menjadi shadaqah ketika sudah meninggal pemiliknya (Dar al-Fiqr, 2005: 91).

Namun, tumbuhan paku juga memberikan manfaat dalam memelihara ekosistem atau dalam memulihkan lingkungan dari pencemaran logam berat yaitu dimanfaatkan sebagai fitoremediasi. Sebagaimana dijelaskan dalam Firman Allah SWT dalam Q.S. Al-Anbiya' (21 : 16), yang berbunyi:

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا لِعِبِينِ

Terjemahnya:

“Dan Kami tidak menciptakan langit dan bumi dan segala apa yang ada di antara keduanya dengan main-main” (Kementerian Agama RI, 2006: 323).

Ayat di atas menyatakan, Tidak wajar bagi Kami melakukan selain apa telah Kami lakukan itu, yakni menepati janji Kami dan menyiksa para pembangkang, karena tidaklah Kami ciptakan langit dan bumi dan segala yang ada di antara keduanya dengan tata aturan yang demikian rapi, indah dan harmonis dengan bermain-main, yakni tanpa arah dan tujuan yang benar, tetapi itu semua Kami ciptakan untuk membuktikan keesaan dan kekuasaan Kami serta untuk kepentingan makhluk-makhluk Kami (Tafsir Al-Misbah, 2009: 23). Dan kita sebagai seorang hamba-Nya senantiasa berusaha untuk mensyukuri dengan belajar dan memahami kebesaran-Nya, menjaga pemberian-Nya dengan tujuan mempertebal Keimanan kepada Allah SWT. Maka, dilaksanakan pengamatan, identifikasi, dan deskripsi dari tumbuhan-tumbuhan ini juga sebagai bentuk upaya menjaga kelestarian lingkungan, agar mampu mempertahankan spesies tersebut dan tidak punah.

Tumbuhan paku dapat dibedakan menjadi dua bagian utama yaitu organ vegetatif yang terdiri dari akar, batang, rimpang dan daun. Sedangkan organ generatif terdiri atas spora, sporangium, anteridium dan arkegonium. Sporangium tumbuhan

paku umumnya berada dibagian bawah daun serta membentuk gugusan berwarna hitam atau coklat. Gugusan sporangium ini dikenal sebagai sorus. Letak sorus terhadap tulang daun merupakan sifat yang sangat penting dalam klasifikasi tumbuhan paku (Arini, dan Kinho, 2012:18). Tumbuhan paku merupakan tumbuhan berpembuluh yang paling primitif jika dibandingkan dengan tumbuhan berpembuluh lainnya (Nurchayati, 2010: 10). Hasil penelitian menunjukkan tumbuhan paku memiliki sifat hipertoleran karena dapat tumbuh subur di kawasan penambangan emas. Tumbuhan dikatakan hiperakumulator apabila mampu mengakumulasi merkuri (Hg) sebesar 10 mg/Kg berat kering (Kosegeran, dkk, 2015, h.61).

Sidauruk dan Sipayung (2015: 182), melaporkan bahwa tumbuhan *Pteris vittata* merupakan hiperakumulator terhadap arsenik (As) (lebih dari 1000 mg As per Kg berat kering tunas). Anderson dan Walsh (2007) juga pernah mengkaji budidaya hidroponik dan budidaya tanah pakis-rawa *Thelypteris palustris*, untuk menyelidiki potensinya dalam fitoremediasi arsen (As) pada air atau tanah yang tercemar. Hasil analisis ICP-MS menunjukkan bahwa akar dan daun mengakumulasi arsenik hingga 100 kali konsentrasi dalam larutan pengolahan 250 mg/L dan 500 mg/L arsenik. Kemudian Mahmud, (2012:10) juga melaporkan penelitian mengenai penyerapan merkuri oleh tumbuhan paku pakis yang dilakukan pada satu lokasi yaitu daerah sungai Tubalolo Kab. Bone Bolango yaitu diperoleh hasil analisis bahwa serapan merkuri di akar 4867.51 ppb dan di daun sebesar 2150.56 ppb . Namun tumbuhan pakis belum dapat dikategorikan sebagai tumbuhan hiperakumulator terhadap penyerapan logam merkuri (Hg) karena masih membutuhkan data kandungan merkuri di akar dan batang untuk melengkapi syarat menjadi tumbuhan hiperakumuator.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian tentang fitoremediasi tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) terhadap logam berat merkuri (Hg).

2. METODE PENELITIAN

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian adalah Seperangkat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) VGA, oven, alat-alat gelas, neraca analitik, hot plate dan wadah pot bunga.

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian adalah alumunium, asam nitrat (HNO_3) 4 M , asam perklorat (HClO_4) P.a, akuabides (H_2O), rumah tanaman, larutan standar merkuri (Hg), limbah merkuri (Hg) sintetik, kertas saring whatman no.42, stannum klorida (SnCl_2), tanaman paku pakis (*Pteris vittata*).

Prosedur Kerja

Penyiapan Tanaman Paku Pakis (Pteris vittata)

Tanaman paku pakis (*pteris vittata*) diambil di daerah Kab.Gowa, Kec. Parangloe, Desa Belapunranga, Dusun Pappareang dengan tinggi ± 10 cm. Tanaman tersebut ditanam kembali di wadah pot bunga dan diisolasi dengan cara menempatkan pada tempat yang terhindar dari polusi udara selama ± 1 bulan.

Pembuatan Rumah Tanaman

Rumah tanaman dibuat dari dinding plastik bening dan pipa, berbentuk persegi empat seperti rumah dengan ukuran panjang 1,5 meter dan lebar 1,5 meter.

Penyiapan Tanah Tercemar Logam Merkuri (Hg)

Wadah yang disediakan diisi dengan tanah sebanyak ± 500 gr untuk setiap wadah. Setelah proses isolasi, dilakukan penyiraman dengan menggunakan limbah merkuri (Hg) sintetik dengan konsentrasi 10 ppm sebanyak 10 mL setiap wadahnya. Penyiraman dilakukan setiap hari pada pukul 08.00 WITA.

Proses Fitoremediasi Tanaman Paku Pakis (*Pteris vittata*)

Sebelum dilakukan penyiraman limbah merkuri (Hg), dilakukan uji pendahuluan penentuan konsentrasi awal merkuri (Hg) tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) sebagai pengontrol dengan metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) pada panjang gelombang 253,7 nm. Kemudian dilakukan penyiraman limbah merkuri (Hg) terhadap tanaman paku pakis (*Pteris vittata*). Penyiraman dilakukan setiap hari pada pukul 08.00 WITA. Sedangkan untuk pengukuran kadar merkuri (Hg) pada tanaman dilakukan tiap (3, 6, 9, dan 12) hari selama pemaparan.

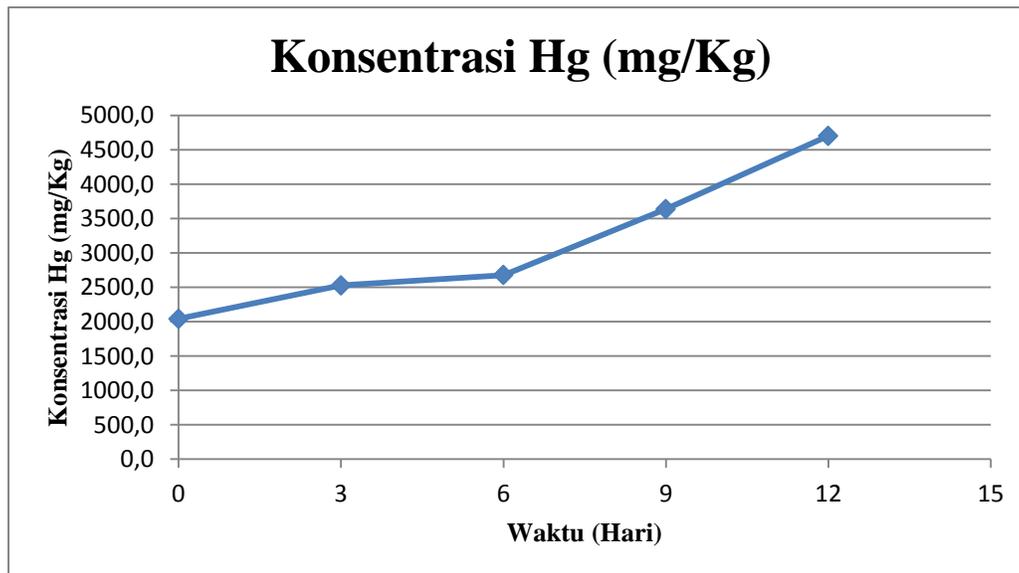
Persiapan Contoh Uji

Sampel yang telah dipetik kemudian dimasukkan ke dalam plastik dan teliti di Laboratorium Anorganik dan Laboratorium Riset Jurusan Kimia. Dimana sampel tersebut dipotong kecil-kecil dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 40°C selama 30 menit dan ditimbang sebanyak $\pm 0,5$ gram sampel, kemudian didestruksi basah dengan menambahkan 25 mL aquabidest (H_2O) dan 5 mL asam nitrat (HNO_3) 4 M sampai menghasilkan warna kecoklatan, kemudian didinginkan serta menambahkan asam perklorat (HClO_4) P.a sebanyak 0,5 mL. Selanjutnya dipanaskan kembali sampai menghasilkan uap berwarna putih. Selanjutnya didinginkan hingga temperatur ruang dan menyaring ke dalam labu takar 250 mL menggunakan kertas whatman

no.42, kemudian diencerkan dengan akuabides (H_2O) sampai tanda batas. Sampel sebelum di ukur ditambahkan $SnCl_2$ sebagai reduktan sebanyak 1 mL. Kemudian sampel siap diukur kadar logam merkuri (Hg) menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) pada panjang gelombang 253,7 nm.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis Kandungan Penyerapan logam Hg pada tanaman paku pakis (Pteris vittata)



Grafik 4.1 Penyerapan logam Hg pada tanaman paku pakis (*Pteris vittata*)

Tanaman yang digunakan pada penelitian ini adalah tanaman paku pakis (*pteris vittata*) sebagai tanaman fitoremediasi yang akan menyerap logam merkuri (Hg) dari limbah merkuri (Hg). Tanaman paku pakis jenis *pteris vittata* kebanyakan digunakan oleh masyarakat awam sebagai tanaman khias, namun di satu sisi tanaman ini berpotensi untuk dijadikan sebagai tanaman fitoremediasi karena adanya kandungan protein yang sangat tinggi dibandingkan dengan tanaman hijau yang lain.

Hal ini sesuai dengan yang digambarkan oleh Al-Qur'an sejak empat belas abad yang lalu yaitu dalam Firman Allah SWT Q.S. Asy-Syua'ara (26: 7) yang berbunyi:

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمَا أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ ﴿٧﴾

Terjemahnya:

“Dan Apakah mereka tidak memperhatikan bumi, betapa banyak Kami tumbuhkan di bumi itu berbagai macam tumbuh-tumbuhan yang baik? “(Kementerian Agama RI, 2006: 367).

Ayat di atas di jelaskan yaitu berapa banyak Kami telah tumbuhkan di sana dari setiap pasang tumbuhan dengan berbagai macam jenisnya yang kesemuanya tumbuh subur lagi bermanfaat? Sesungguhnya yang demikian itu hebatnya benar-benar terdapat suatu ayat, yakni tanda membuktikan pula kuasa-Nya menghidupkan dan membangkitkan siapa yang telah mati. Sayang, mereka enggan memperhatikan sehingga mereka tidak menemukan tanda itu dan tidaklah kebanyakan mereka akan termasuk orang-orang yang mukmin (Tafsir Al-Misbah, 2009: 187).

Ayat lain dalam Firman Allah SWT Q.S. Luqman (31: 10), yang berbunyi:

خَلَقَ السَّمَوَاتِ بِغَيْرِ عَمَدٍ تَرَوْنَهَا وَالْأَرْضِ رَواسِي أَنْ تُمِيدَ بِكُمْ وَبَثَّ فِيهَا مِنْ

كُلِّ دَابَّةٍ وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ ﴿١٠﴾

Terjemahnya:

“Dia menciptakan langit tanpa tiang yang kamu melihatnya dan Dia meletakkan gunung-gunung (di permukaan) bumi supaya bumi itu tidak menggoyangkan kamu; dan memperkembang biakkan padanya segala macam jenis makhluk bergerak yang bernyawa di bumi. dan Kami turunkan air hujan dari langit, lalu Kami tumbuhkan padanya segala macam tumbuh-tumbuhan yang baik” (Kementerian Agama RI, 2006: 411).

Setelah menyebutkan beberapa ciptaan Allah, ayat di atas melanjutkan bahwa: Inilah yang sangat dekat kepada kamu yang dapat kamu lihat sehari-hari yang merupakan sebagian ciptaan Allah, bukan ciptaan-Nya yang jauh yang tidak dapat kamu jangkau atau ketahui. Nah jika kamu menduga bahwa ada Tuhan selain Allah atau bahwa berhala-berhala yang kamu sembah memiliki sifat ketuhanan, maka perlihatkanlah kepada-Ku atau beritahulah Aku apa yang telah diciptakan oleh sembah-sembahan kamu selain Allah! Sebenarnya orang-orang zalim, yang menyembah selain Allah atau mempersekutukan-Nya seperti kaum musyrikin Mekkah itu, berada dalam kesesatan yang nyata (Tafsir Al-Misbah, 2009: 287).

Salah satu ciptaan Allah yang memiliki manfaat yang baik adalah Tumbuhan paku (*Pteris vittata*), yang dijadikan sebagai sampel penelitian. Diambil dari daerah Parangloe, Kab.Gowa. Kemudian dilakukan isolasi pada media tanah yang disediakan selama 30 hari, tujuannya agar tanaman dapat beradaptasi dengan lingkungannya. Tanaman disimpan dalam *green house* fungsinya untuk menjaga kelembaban, dan suhu dari tanaman tersebut serta untuk menghindari dari polusi udara. Sebelum dilakukan fitoremediasi maka terlebih dahulu dilakukan analisis pendahuluan (tanaman kontrol) untuk mengetahui konsentrasi awal Hg pada tanaman sebelum dilakukan proses fitoremediasi.

Tanaman yang telah dipetik dan dipotong kecil-kecil, fungsinya untuk mempercepat proses destruksi. Kemudian ditambahkan asam nitrat (HNO_3) untuk, mendestruksi dari bentuk logam organik menjadi bentuk logam anorganik. Selanjutnya ditambahkan asam perklorat (HClO_4) untuk mempercepat dan menyempurnakan proses destruksi. Kesempurnaan destruksi ditandai dengan diperolehnya larutan jernih pada larutan destruksi, yang menunjukkan bahwa semua

konstituen yang ada telah larut sempurna atau perombakan senyawa-senyawa organik telah berjalan dengan baik.

Mekanisme Penyerapan Logam Merkuri Merkuri (Hg) Oleh Tanaman Paku Pakis (Pteris vittata)

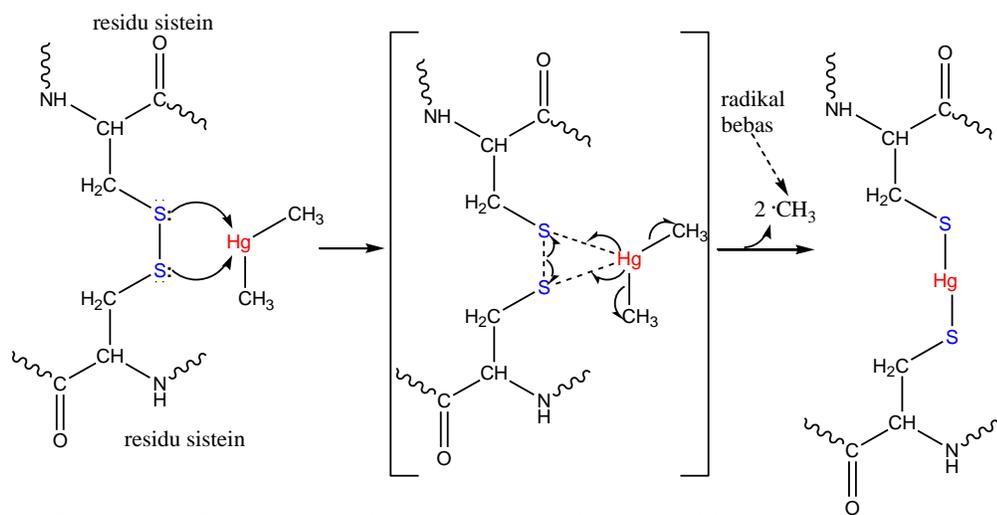
Pada tabel 4.1 dan grafik 4.1 menunjukkan hasil analisis merkuri pada tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) menunjukkan bahwa konsentrasi merkuri pada tanaman sebelum fitoremediasi yaitu diperoleh kadar merkuri sebesar 2042,4 mg/Kg. Sedangkan konsentrasi merkuri pada hari ke- 3 (setelah fitoremediasi) sebesar 2527,2 mg/Kg, sehingga konsentrasi merkuri yang terserap sebesar 484,8 mg/Kg, terjadi penyerapan logam merkuri (Hg) yang cukup signifikan. Hal ini disebabkan tanaman masih tumbuh subur, sehingga kemampuan untuk mengakumulasi dan mentranslokasikan Hg sangat baik, disamping itu dapat disebabkan karena tekstur tanah yang masih lembab yang menyebabkan meningkatnya daya larut logam sehingga akan menaikkan pembebasan logam dalam tanah yang memudahkan tanaman mudah mengakumulasi dan mentranslokasikan logam merkuri (Hg). Pada hari ke- 6, konsentrasi merkuri yang terserap sebesar 635 mg/Kg, peningkatan konsentrasi merkuri yang terserap tidak terlalu signifikan, hal ini dapat terjadi karena adanya perubahan suhu yang berubah-ubah atau tidak menentu sehingga mempengaruhi tanaman dalam mentranslokasikan logam. Pada hari ke- 9 sebesar 1579 mg/Kg dan pada hari ke- 12 sebesar 2660,6 mg/Kg. Pada hari ke- 9 dan hari ke- 12 terjadi peningkatan penyerapan konsentrasi merkuri (Hg) yang sangat signifikan. Hal ini dapat disebabkan karena tingginya konsentrasi merkuri pada tanah, kandungan logam dalam tanah sangat berpengaruh terhadap kandungan logam pada tanaman yang tumbuh di atasnya. Dari data tersebut bahwa merkuri yang terabsorpsi

tertinggi terjadi pada pada hari ke- 12 yakni sebesar 2660,6 mg/Kg, dimana penyerapan konsentrasi Hg seakan meningkat seiring dengan lamanya waktu fitoremediasi. Dari data tersebut sangat jelas bahwa terjadi peningkatan konsentrasi merkuri pada tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) yang cukup tinggi oleh karena adanya penyerapan merkuri dari tanaman pada saat fitoremediasi. Hal ini diperkuat dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Juheiti, (2005) yang menyatakan bahwa akumulasi merkuri pada tanaman secara umum meningkat dengan meningkatnya konsentrasi merkuri pada media tanam dan meningkatnya umur tanaman.

Berdasarkan data yang diperoleh pada penentuan konsentrasi sebelum penyiraman sebesar 2042,4 mg/Kg. Hal ini dapat dinyatakan bahwa tanaman paku pakis mengandung logam Hg sehingga tanaman menyerap logam berat membentuk enzim reduktase di membran akar dan akan terjadi translokasi di dalam tubuh tanaman. Kandungan logam dalam tanah sangat berpengaruh terhadap kandungan logam pada tanaman, kecuali terjadi interaksi diantara logam itu sehingga terjadi hambatan penyerapan logam tersebut oleh tanaman. Akumulasi logam dalam tanaman tidak hanya tergantung pada kandungan logam dalam tanah, tetapi juga tergantung pada unsur kimia tanah, jenis logam, pH tanah dan spesies tanaman (Darmono, 1995: 63). Disamping itu, faktor lain yaitu adanya kandungan konsentrasi logam merkuri (Hg) pada tanaman paku pakis yang digunakan untuk fitoremediasi, sehingga kemungkinan tanaman tersebut sudah terkontaminasi oleh logam merkuri (Hg).

Tingginya konsentrasi merkuri pada tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) juga dapat disebabkan karena tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) mengandung protein 4,5 kali lebih banyak dibandingkan dengan sayuran hijau yang lain. Dengan adanya

protein yang terdiri dari gugus asam amino yang mengandung amina dan gugus samping seperti karbamida dan amina yang berpotensi sebagai ligan dalam mengakumulasi logam berat. Salah satu asam amino yang terdapat pada paku pakis (*Pteris vittata*) adalah sistein yang merupakan asam amino yang memiliki gugus gugus sufhidril (SH). Gugus polar ini yang akan mengikat logam berat dan didistribusikan ke bagian tanaman (Umacina, 2014: 5).



Gambar 4.1. Reaksi Sistin dengan Merkuri (Setiawan, 2014).

Menurut Kosegeran, (2015). Ada 2 faktor yang mempengaruhi proses penyerapan logam berat yaitu:

1. Perbedaan genetik dalam serapan, translokasi dan menolak atau menyimpan kontaminan oleh tanaman.
2. Faktor lingkungan yaitu umur tanaman juga merupakan salah satu penentu dalam penyerapan merkuri (Hg). Banyaknya serapan logam oleh tanaman tergantung pada umur tanaman, banyak logam dalam tanah dan lamanya waktu tanaman berada pada tanah tercemar.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) dalam mengakumulasi logam berat merkuri (Hg) tertinggi terjadi pada hari ke-12 sebesar 2660,6 mg/Kg. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) dapat digolongkan sebagai tanaman hiperakumulator terhadap merkuri (Hg) karena mampu menyerap logam merkuri (Hg) sampai pada konsentrasi 10 mg/Kg (Kosegeran, 2015, 61).

Tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) sampai pada hari ke- 12 fitoremediasi, tanaman telah mengalami adanya tanda-tanda keracunan, yang ditandai dengan tanaman layu. Dan pada akhirnya tanaman tersebut mengalami kematian, hal ini disebabkan efek toksisitas dari logam Hg yang menghambat metabolisme dari tanaman. Kemudian disebabkan akibat kekurangan air karena selama proses fitoremediasi tanaman yang digunakan tidak pernah dilakukan penyiraman air, kemudian kekurangan O₂ karena tanaman disimpan dalam *green house* sehingga asupan oksigennya terbatas dan dapat disebabkan akibat perubahan suhu. Dalam Firman Allah dijelaskan Q.S. Al-Hijr (15:19), yang berbunyi:

وَالْأَرْضَ مَدَدْنَاهَا وَأَلْقَيْنَا فِيهَا رَوَاسِيَ وَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ شَيْءٍ مَّوْزُونٍ ﴿١٩﴾

Terjemahnya:

“Dan Kami telah menghamparkan bumi dan Kami pancangkan padanya gunung-gunung serta Kami tumbuhkan di sana segala sesuatu menurut ukuran” (Kementerian Agama RI, 2006: 263).

Dari ayat tersebut dijelaskan bahwa setiap tanaman memiliki kadar unsur tertentu yang harus terpenuhi dan seimbang, yang diperlukan untuk proses pertumbuhannya.

Selain itu juga dapat disebabkan tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) telah berlebihan mendapatkan cahaya sinar matahari. Walaupun lokasi penelitian berada pada tempat yang teduh, namun atap dan dindingnya dari plastik menyebabkan sinar matahari masih mampu menembus sehingga tanaman kelebihan radiasi sinar matahari menyebabkan sintesis klorofil kurang berfungsi dengan baik. Pada hal Al-Qur'an sendiri telah memberikan petunjuknya mengenai peranan penting dari zat hijau daun (klorofil), sebagaimana difirmankan oleh Allah SWT dalam Q.S. Yasin (36: 80), yang berbunyi:

الَّذِي جَعَلَ لَكُم مِّنَ الشَّجَرِ الْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَا أَنْتُمْ مِّنْهُ تُوقِدُونَ ﴿٨٠﴾

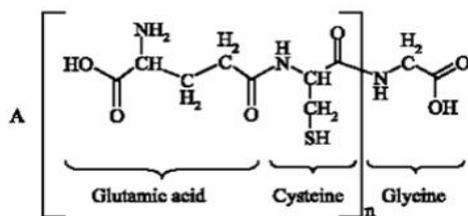
Terjemahnya:

“Yaitu (Allah) yang menjadikan api untukmu dari kayu yang hijau, Maka seketika kamu nyalakan (api) dari kayu itu" (Kementerian Agama RI, 2006: 445).

Ungkapan Al-Qur'an yang mengaitkan zat warna hijau yang dimiliki pepohonan menunjukkan peranan penting zat tersebut bagi kehidupan berbagai tumbuhan-tumbuhan (Basith dan Shiddiq, 2002: 125).

Mekanisme toleransi terhadap logam berat mampu secara enzimatik mensintesis fitokhelatin dari senyawa glutathion. Vakuola merupakan organel utama tempat penyimpanan logam berat yang terserap tumbuhan. Saat ion-ion logam berat masih berada di sitosol, ion-ion ini akan mengaktifkan *fitokhelatin synthase*. Fitokhelatin akan berikatan dengan ion logam dan kemudian ditransportasi dari sitosol ke dalam vakuola. Selain itu metallothionein juga merupakan protein yang dapat mengikat logam berat dan berfungsi untuk detoksifikasi di dalam sel tumbuhan (Poedjirahajoe, 2012: 45).

Saat proses penyerapan logam berat tumbuhan membentuk suatu enzim reduktase di membran akarnya yang berfungsi untuk mereduksi logam yang kemudian merkuri ditranslokasikan ke bagian lain tumbuhan melalui jaringan pengangkut yaitu xilem dan floem. Untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan, logam diikat oleh molekul khelat (molekul pengikat) yang selanjutnya diakumulasikan ke seluruh bagian tanaman yaitu akar, batang dan daun (Gosh dan Singh, 2005: 2-3). Tanaman melakukan mekanisme toleransi penting yang bersifat induktif terhadap logam berat dengan mensintesis polipeptida pengikat logam, yaitu fitokhelatin. Fitokhelatin terbentuk bersama-sama dengan sintesis enzim *glutathione sintetase*. Fitokhelatin disintesis secara enzimatis oleh fitokhelatin sintase (*γ-glutamylcystein dipeptidyl transpeptidase*) dari glutation. Mekanisme detoksifikasi logam oleh fitokhelatin terjadi dengan jalan fitokhelatin mengikat logam yang selanjutnya akan ditransport ke dalam vakuola tanaman untuk disimpan (Nopriani, 2011: 3).



Gambar 4.2. Struktur Fitokhelatin

Pengikatan logam oleh zat khelat terjadi melalui bulu-bulu akar dan masuk ke sistem penyerapan air dan unsur hara. Pengkhelatan merkuri oleh zat khelat dapat membentuk senyawa kompleks dalam garam. Fitokhelatin juga merupakan enzim sehingga ketika terjadi proses pengkhelatan, merkuri berikatan dengan gugus S

(sulfur) pada asam amino fitokhletain. Senyawa kompleks dan garam yang dibentuk selanjutnya yang diserap. Setelah terjadi penyerapan di akar maka selanjutnya akan ditranslokasikan ke bagian organ tumbuhan yang lain melalui jaringan pengangkut secara apoplas.

Pengangkutan secara apoplas ini dikarenakan zat yang akan diangkut berupa logam berat yang membutuhkan zat khelat karena logam berat merkuri tidak dibutuhkan oleh tumbuhan maka dalam proses penyerapannya berbeda dengan berbagai unsur hara seperti P, K, H dan Mg yang pengangkutannya melalui jalur simplas. Sehingga logam berat merkuri diangkut dari luar ke dalam sel melintasi membran, namun proses ini tidak berjalan dengan difusi biasa karena molekul merkuri yang besar sehingga melibatkan protein atau enzim untuk dapat melewati membran. Ketika melibatkan protein atau enzim maka dengan menggunakan ATP, proton dapat dipompa keluar membran menuju daerah apoplas sehingga terjadi perbedaan konsentrasi proton antara di dalam dan di luar membran, kemudian energi dari gradien proton dimanfaatkan untuk menggerakkan ion merkuri ke dalam sel yang selanjutnya ion akan masuk ke dalam sitoplasma dan akhirnya diakumulasi di dalam vakuola (Nopriani, 2011: 3).

Semua yang dijelaskan di atas, telah diterangkan oleh Al-Qur'an sejak empat belas abad yang lalu. Allah SWT berfirman dalam Q.S. Ar-Ra'd (13: 4), yang berbunyi:

وَفِي الْأَرْضِ قِطْعٌ مُتَجَوِّرَاتٌ وَجَنَّاتٌ مِّنْ أَعْنَابٍ وَزُرْعٌ وَنَخِيلٌ صِنَوَانٌ وَغَيْرُ صِنَوَانٍ
يُسْقَى بِمَاءٍ وَاحِدٍ وَنُفِضِلُ بَعْضَهَا عَلَىٰ بَعْضٍ فِي الْأَكْلِ ۚ إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَآيَاتٍ
لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ

Terjemahnya:

“Dan di bumi terdapat bagian-bagian yang berdampingan, kebun-kebun anggur, tanaman-tanaman, pohon korma yang bercabang dan yang tidak bercabang, disirami dengan air yang sama, tetapi Kami lebihkan tanaman yang satu dari yang lainnya dalam hal rasanya. Sesungguhnya pada yang demikian itu terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang berfikir” (Kementerian Agama RI, 2006: 249).

Berdasarkan ayat di atas, kelebihan yang dimiliki oleh salah satu tumbuhan-tumbuhan dalam menyeleksi unsur bahan makanan yang diserapnya berpengaruh pada rasa, kualitas dan warna dari buah-buah yang dihasilkannya (Basith dan Shiddiq, 2002: 125).

Lalu Nabi Saw. bersabda bahwa ada yang pahit, ada yang hambar, ada yang manis, dan ada yang asam. Hadis riwayat Imam Turmuzi, dan ia mengatakan bahwa predikat hadis ini hasan garib. Dengan kata lain, perbedaan pada buah-buahan dan tanam-tanaman ini adalah dalam hal bentuk, warna, rasa, bau, daun-daun, dan bunganya. Sebagian di antaranya ada yang berasa manis sekali, yang lainnya ada yang sangat kecut, ada yang sangat pahit, ada yang berasa hambar, dan yang lainnya lagi ada yang berasa segar. Ada pula yang pada mulanya berasa kecut, kemudian berubah berasa lain (manis) dengan seizin Allah. Warna masing-masing ada yang

kuning, ada yang merah, ada yang putih, ada yang hitam dan ada yang biru (Tafsir Ibnu Kasir).

Demikian pula halnya dengan bunga-bunganya, padahal semuanya menyandarkan kehidupannya dari satu sumber, yaitu air, tetapi kejadiannya berbeda-beda dengan perbedaan yang cukup banyak tak terhitung. Dalam kesemuanya itu terkandung tanda-tanda kekuasaan Allah bagi orang yang menggunakan pikirannya. Keadaan ini termasuk bukti yang paling besar yang menunjukkan akan Penciptanya, yang dengan kekuasaan-Nya dijadikan berbeda segala sesuatunya, Dia menciptakannya menurut apa yang dikehendaki-Nya (Tafsir Ibnu Kasir).

Dari ayat tersebut sangat jelas bahwa Allah SWT telah menjelaskan empat belas abad yang lalu dalam Al-Qur'an tentang segala bentuk kejadian terhadap segala sesuatu, salah satunya adalah pada tumbuh-tumbuhan yang diciptakan oleh Allah SWT yang memiliki banyak manfaat. Seperti tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) yang terbukti secara ilmiah setelah dilakukan penelitian yaitu dapat dijadikan sebagai tanaman hiperakumulator terhadap logam berat merkuri (Hg) sehingga sangat baik digunakan dalam meminimalisir pencemaran logam berat, khususnya logam merkuri (Hg) pada lingkungan.

Allah SWT berfirman dalam Q.S. Al-Baqarah (2: 251) yang berbunyi:

فَهَزَمُوهُم بِإِذْنِ اللَّهِ وَقَتَلَ دَاوُدُ جَالُوتَ وَءَاتَاهُ اللَّهُ الْمُلْكَ وَالْحِكْمَةَ وَعَلَّمَهُ
مِمَّا يَشَاءُ وَلَوْلَا دَفْعُ اللَّهِ النَّاسَ بَعْضَهُم بِبَعْضٍ لَفَسَدَتِ الْأَرْضُ وَلَكِنَّ اللَّهَ ذُو

فَضْلٍ عَلَى الْعَالَمِينَ ﴿٢٥١﴾

Terjemahnya:

“Maka mereka (tentara Thalut) mengalahkan tentara Jalut dengan izin Allah dan (dalam peperangan itu) Daud membunuh Jalut, kemudian Allah memberikan kepadanya (Daud) pemerintahan dan hikmah [157] (sesudah meninggalnya Thalut) dan mengajarkan kepadanya apa yang dikehendaki-Nya. seandainya Allah tidak menolak (keganasan) sebagian umat manusia dengan sebagian yang lain, pasti rusaklah bumi ini. tetapi Allah mempunyai karunia (yang dicurahkan) atas semesta alam” (Kementerian Agama RI, 2006: 41).

[157] Yang dimaksud di sini ialah kenabian dan kitab Zabur.

Dan di ayat lain disebutkan dalam Q.S. Al- Hajj (22: 40) yang berbunyi:

الَّذِينَ أُخْرِجُوا مِنْ دِيَارِهِمْ بِغَيْرِ حَقٍّ إِلَّا أَنْ يَقُولُوا رَبُّنَا اللَّهُ وَلَوْلَا دَفْعُ اللَّهِ النَّاسَ
بَعْضَهُمْ بِبَعْضٍ هَدَمَتْ صَوَامِعُ وَبِيَعٌ وَصَلَوَاتٌ وَمَسَاجِدٌ يُذَكَّرُ فِيهَا اسْمُ اللَّهِ كَثِيرًا
وَلَيَنْصُرَنَّ اللَّهُ مَنْ يَنْصُرُهُ إِنَّ اللَّهَ لَقَوِيٌّ عَزِيزٌ

Terjemahnya:

“(yaitu) orang-orang yang telah diusir dari kampung halaman mereka tanpa alasan yang benar, kecuali karena mereka berkata: "Tuhan Kami hanyalah Allah". dan Sekiranya Allah tiada menolak (keganasan) sebagian manusia dengan sebagian yang lain, tentulah telah dirobohkan biara-biara Nasrani, gereja-gereja, rumah-rumah ibadat orang Yahudi dan masjid- masjid, yang di dalamnya banyak disebut nama Allah. Sesungguhnya Allah pasti menolong orang yang menolong (agama)-Nya. Sesungguhnya Allah benar-benar Maha kuat lagi Maha perkasa” (Kementerian Agama RI, 2006: 337).

Poin penting yang hendak disampaikan dari kedua ayat di atas adalah bahwa jagat raya yang sebagaimana diciptakan oleh Allah SWT yang memiliki konsep keseimbangan tersendiri dan saling melengkapi antar elemen-elemennya. Apabila salah satu elemennya ada yang melewati batas, niscaya akan ada dari elemen jagat

raya itu sendiri yang mampu meredam. Sehingga kemudian segala sesuatunya akan kembali pada tatanan keseimbangan yang adil (Al-Qaradhawi, 2001: 238).

4. PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, kesimpulan yang dihasilkan yaitu:

1. Tanaman paku pakis (*Pteris vittata*) dapat digolongkan sebagai tanaman hiperakumulator terhadap logam merkuri (Hg) karena dapat mengakumulasi logam sebesar 4703 mg/Kg pada hari ke-12.
2. Penyerapan merkuri (Hg) oleh tanaman paku pakis (*Ptersi vittata*) meningkat dengan bertambahnya waktu fitoremediasi.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian penulis menyarankan penelitian selanjutnya hendaknya dilakukan penentuan konsentrasi optimal logam merkuri (Hg) pada proses fitoremediasi menggunakan tanaman paku pakis (*Pteris vittata*).

DAFTAR PUSTAKA

Al-Quranul Karim

Al-Qaradhawi, Yusuf. *Islam Agama Ramah Lingkungan*. Jakarta: Dar Asy-Syuruq, 2001.

Al-Turmudzi, Abu 'Isa Muhammad bin Saurah ibn al-Dahhak al-Sulami al-Bughi, *Sunan al-Turmudzi*. Beirut: Dar al-Fiqr, 2005.

Arini, Diah Irawati Dwi dan Kinho, Julianus. "Keragaman Jenis Tumbuhan Paku (Pteridophyta) Di Cagar Alam Gunung Ambang Sulawesi Utara". *Jurnal Balai Penelitian Hehutanan*, Manado, Vol. 2 No.1, 2012.

- Aryantha, Nyoman P., dkk. "Tumbuhan Paku Di Coban Pelangi – Malang". <http://www.sith.itb.ac.id/herbarium>. Bandung, 2012.
- Basith, Abdul dan Shidiq, Daliya. *Ensiklopedi Ilmiah Dalam Al-Qura'an dan Sunnah*. Pustaka Al-Kautsar: Jakarta, 2002.
- Belami, Yulianti, L. Indah M, dan Sidharta, B. Roy R. "Pemanfaatan Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) Untuk Menurunkan Kadar Merkuri (Hg) Pada Air Bekas Penambangan Emas Rakyat". *Jurnal Fakultas Teknobiologi, Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, 2014.
- Chamid, Chusharini, N. Yulianita, P. Renosari. *Kajian Tingkat Konsentrasi Merkuri Pada Rambut Masyarakat Kota Bandung*. Prosiding SnaPP Edisi Eksakta, 2010.
- Darmono. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Universitas Indonesia (UI-Press): Jakarta, 1995).
- Ernawan, Danang, Sudadi dan Sumami. "Pengaruh Penggenangan Dan Konsentrasi Timbal (Pb) Terhadap Pertumbuhan Dan Serapan Pb *Azolla microphylla* Pada Tanah Berkarakter Kimia Berbeda". *Skripsi Jurusan/Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret*, Surakarta, 2010.
- Geo. "Analisis Limbah PT. Freeport Indonesia". *Jurnal Freeport*, 2012.
- Hidayati, Nuril. Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator. *Pusat Penelitian Biologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia*. Vol.12, No.1 ISSN 0854-8587, 2005.
- Ibnu Kasir Ad-Dimasyqi, Al-Imam Abul Fida Isma'il. *Tafsir Ibnu Kasir*. KampungSunnah.org.
- Khopkar, S.M. *Basic Concepts Of Analytical Chemistry*. Terj. Saptorahardjo, A. *Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI Prees. 1990.
- Kosegeran, Altini O, dkk. "Kandungan Merkuri Pada Tumbuhan Paku (*Diplazium accedens Blume*) Di Daerah Tambang Emas Tatelu-Talawaan, Kabupaten Minahasa Utara". *Jurnal Ilmiah Sains*, Vol. 15 No. 1, April 2015.
- Laonso, Hasan Erwin, Harianto Tri, Muhiddin Achmad Bakri. "Studi Eksperimental Tingkat Rembesan Tailing Tambang PT. Freeport Indonesia Dengan Stabilisasi

- Tanah Aspal Emulsi”. *Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar*, 2010.
- Mahmud, Marike, dkk. “Fitoremediasi Sebagai Alternatif Pengurangan Limbah Merkuri Akibat Penambangan Emas Tradisional di Ekosistem Sungai Tulabolo Kabupaten Bone Bolango”. *Jurnal Universitas Negeri Gorontalo*, 2012.
- Nurchayati, Nunuk. “Hubungan Kekerabatan Beberapa Spesies Tumbuhan Paku Familia Polypodiaceae Ditinjau Dari Karakter Morfologi Sporofit dan Gametofit”. *Jurnal Ilmiah Progressif*, Vol. 7 No. 19, 2010.
- Putranto, Thomas Triadi. “Pencemaran Logam Berat Merkuri (Hg) Pada Tanah”. *Jurnal Teknik Universitas Diponegoro*. Vol. 32 No. 1, ISSN 0852-1697, 2011.
- Setiawan, Tirta. *Biosorpsi Of Heavy Metal Plumbum (Pb) dan Interaksi dengan Protein*. Institut Pertanian Bogor, 2014.
- Shihab, M Quraish. *Tafsir Al_Misbah Pesan, Kesan dan Keseharian Al-Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati.
- Siahaan, N. H. T. *Hukum Lingkungan dan Ekologi Pembangunan*. Jakarta: Erlangga, 2004.
- Sidauruk, Lamrian dan Sipayung, Patricius. “Fitoremediasi Lahan Tercemar Kawasan Industri Medan Dengan Tanaman Hias”. *Jurnal Pertanian T* Vol. 2, No.2, ISSN 2356-4725, Agustus, 2015.
- Syamsidar. *Bahan Kimia Berbahaya Pada Makanan Minuman dan Kosmetik*. Makassar: Alauddin Prees. 2014.
- Umacina, Mirnawati, Liestianty, Deasy dan Muliadi. “Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Tembaga Menggunakan Tanaman Kedelai (*Glycine max (L) merill*) Dengan Penambahan Arang (*Charcoal*)”. *Skripsi Universitas Khairun*, 2014.
- Wahidah, Baiq Farhatul. *Pengantar Anatomi Tumbuhan*. Alauddin University Press: Makassar, 2011.
- Warjono, Sumodinoto. “Pasir Sisa Tambang Untuk Konstruksi Perkerasan Bermasalah Dengan Lingkungan, *Jurnal Departemen Pertambangan ITB*, Bandung, 2001.

Widhiastuti, Retno, dkk. "Struktur dan Komposisi Tumbuhan Paku-Pakuan di Kawasan Hutan Gunung Sinabung Kabupaten Karo". *Jurnal Biologi Sumatera*, Vol. B8 No.2, ISSN 190-5537, Juli 2006

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Rizal Irfandi, biasa dipanggil ical/rizal. Lahir di Sengkang, 19 Desember 1994. Jenjang pendidikan penulis bermula dari Sekolah Dasar di SDN 297 Kampiri. Lalu dilanjutkan di SMPN 1 Pammana, dan kemudian di SMAN 1 Pammana. Kemudian tahun 2012 penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi di UIN Alauddin

Makassar Jurusan Kimia. Dan penulis berhasil menyelesaikan studinya Program Strata 1 Jurusan Kimia pada tahun 2016 dengan menyandang gelar Sarjana Sains (S.Si).