

**STUDI AKUMULASI LOGAM BERAT MERKURI MENGGUNAKAN TANAMAN
AWAR-AWAR (*Ficus Septica Burm F*)**

**Heavy Metal Mercury Accumulation Study Using Awar-awar (*Ficus Septica Burm F*)
Plants**

Abraham Mariwy*, Yeanchon H. Dulanlebit, Fian Yulianti

*Chemistry Education Study Program, Faculty of Education and Teacher Training,
Pattimura University, Kampus Poka Jl. Ir. M. Putuhena, Ambon 97134*

**Corresponding author, e-mail: abrahammariwy@gmail.com*

Received: Jul. 2019 Published: Jan. 2020

ABSTRACT

This research aims to study the ability of awar-awar plants (*Ficus Septica Burm. F*) to accumulate heavy metals. Awar-awar are grown in glass reactors and treated with 10 ppm mercury solution with one, two, and three weeks in time variations. The analysis using CV-AAS showed that the total absorption of mercury heavy metals by awar-awar plants in reactors I, II and III was 81.7%, 34.6% and 85.4% respectively. When the phytoremediation process takes place the plant shows no symptoms of damage or even death even though it has accumulated more than 50% of mercury from the growing media. The BCF value of awar-awar plants in reactor I was 2.79 reactor II was 0.53 and reactor III was 0.55. While the TF values in reactors I, II and III were 0.04; 1.13 and 0.97. The calculation results of BCF and TF values show that Awar-awar plants (*Ficus Septica Burm. F*) can accumulate heavy metals of mercury so it is recommended to be used as a phytoremediation agent in mercury-contaminated soils.

Keywords: *Mercury, Phytoremediation, accumulation, Awar-awar (*Ficus Septica Burm. F*), CV-AAS.*

PENDAHULUAN

Merkuri adalah unsur pertama yang banyak dilakukan studi spesiasinya dalam lingkungan hidup. Hal ini terkait dengan kasus teluk Minamata di Jepang di mana akibat unsur ini terjadi gangguan kesehatan berupa keracunan akut sampai dengan kerusakan genetik yang diakibatkan oleh konsumsi ikan yang mengandung CH_3Hg^+ . Kasus lainnya adalah "Quiet baby syndrome" di Irak pada tahun 1970-an yang menyebabkan sekitar 10.000 bayi di Irak meninggal dunia dan sekitar 100.000 lainnya mengalami kerusakan otak secara permanen akibat masyarakat Irak mengkonsumsi gandum yang mengandung pestisida berbasis dasar merkuri (Bernhoft, 2012).

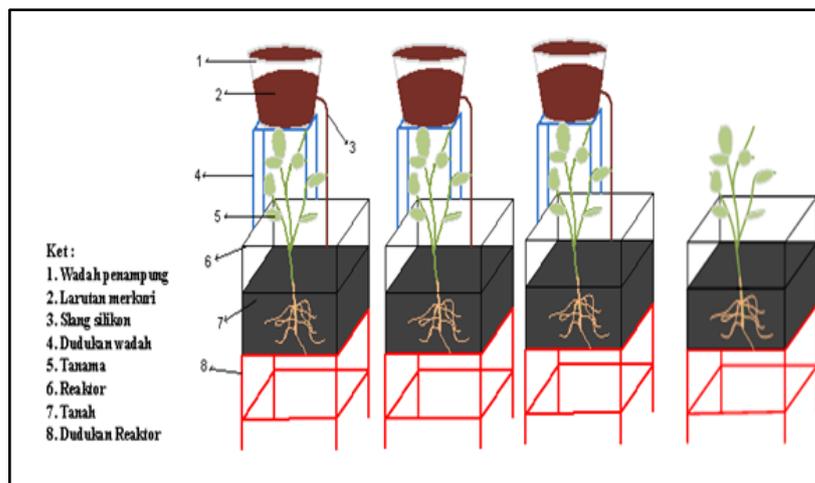
Salah satu penyebab pencemaran lingkungan oleh merkuri adalah pembuangan limbah (*tailing*) pengolahan emas yang diolah secara amalgamasi, di mana ampas yang masih mengandung merkuri tersebut kemudian ditampung dalam bak penampung atau langsung dibuang ke sungai

sehingga berpotensi mencemari lingkungan di sekitar tempat tersebut (Widodo dan Aminudin, 2011). Pada proses amalgamasi yang dilakukan oleh para penambang secara tradisional, material tanah dan batuan yang mengandung emas dicampur dengan merkuri (Hg) dengan media air dan diaduk menggunakan tromol. Teknik ini memanfaatkan putaran yang diberikan oleh tromol untuk menghancurkan tanah dan batuan yang masih bercampur dengan emas sehingga merkuri mengikat emas. Selanjutnya dilakukan pencucian dan pendulangan untuk memisahkan amalgam (campuran Au-Hg) dan limbah (*tailing*) (Cordi dkk, 2011).

Merkuri merupakan logam berat yang murah dan mudah diakses serta banyak digunakan dalam proses ekstraksi emas dari bijihnya. Penggunaan merkuri pada proses ekstraksi emas dapat mempengaruhi populasi manusia serta lingkungan dengan menyebabkan efek yang merugikan kesehatan (Zolnikov, 2012, dalam Salatutin dkk, 2015). Merkuri sebagai limbah

pertambangan emas yang telah terdistribusi ke sungai dan laut dalam jumlah yang besar dapat terakumulasi juga pada manusia melalui rantai makanan (Rumatoras dkk, 2016).

Pada penelitian ini dipelajari kapasitas akumulasi tanaman Awar-awar (*Fictus Septica. Burm.f*) sebagai kandidat fitoremediasi merkuri pada areal bekas pengolahan emas menggunakan



Gambar 1. Ilustrasi reaktor fitoremediasi

Banyak penelitian pada beberapa tahun terakhir dalam bidang lingkungan hidup khususnya pada kasus pencemaran logam berat seperti Pb, Cd dan Hg diarahkan pada upaya remediasi lingkungan tersebut akibat pencemaran yang dilakukan oleh pabrik atau pertambangan yang membuang limbahnya langsung ke lingkungan tanpa melalui treatment tertentu. Upaya remediasi sangat penting dilakukan sebagai bagian dari proses penyelamatan lingkungan dan ekosistem di dalamnya. Beberapa metode yang sering digunakan adalah presipitasi, adsorpsi, filtrat membran dan bioremediasi untuk mereduksi kandungan merkuri dalam perairan/limbah cair sedangkan untuk limbah padat seperti pada kasus pencemaran tanah, maka metode atau teknologi yang sering digunakan adalah solidifikasi/stabilisasi, soil washing, ekstraksi asam, perlakuan termal dan vitrifikasi termasuk fitoremediasi (US.EPA, 2007).

Fitoremediasi adalah teknik untuk memfasilitasi reklamasi tanah dan air oleh tanaman. Reklamasi tersebut dilakukan tanam dengan cara mengakumulasi polutan pada tanaman, mengindikasikan keberadaan polutan, dan/atau mengekstraksi polutan ke permukaan. Polutan yang dimaksud dapat berupa polutan organik atau polutan anorganik. Teknik fitoremediasi terbagi menjadi lima tipe yaitu: fotoekstraksi, rhizofiltrasi, fitostabilisasi, fitodegradasi dan fitovolatilisasi (Surriya dkk., 2015).

teknik amalgamasi. Tumbuhan Awar-awar dipilih karena sifatnya yang mudah tumbuh pada berbagai jenis tanah, tahan kekeringan, mudah didapatkan dan diperbanyak. Selama ini tumbuhan Awar-awar (*Fictus Septica. Burm.f*) hanya dikenal sebagai tumbuhan obat dan belum pernah digunakan dalam teknik fitoremediasi. Hasil penelitian de Padua dkk. (1999) dalam Sudirga (2015) menunjukkan bahwa tumbuhan Awar-awar mengandung saponin dan flavonoid, dan senyawa polifenol. Oleh karena itu sifat maka tanaman ini diharapkan dapat berperan mereduksi kandungan merkuri dalam tanah yang telah tercemar. Penelitian yang dilakukan juga oleh Wahyuni, dkk (2015) menyatakan bahwa tanaman awar-awar merupakan tanaman yang mengandung enzim fisin. Enzim fisin merupakan suatu enzim protease yang dapat diperoleh dari tanaman ficus. Secara kimiawi, enzim fisin digolongkan kedalam enzim protease yang mengandung gugus thiol/sulfidril (-SH) yang merupakan salah satu gugus fungsi yang dapat mengikat logam berat merkuri (Fitokelatin).

METODOLOGI

Alat

Spektrofotometri serapan atom uap dingin (CV-AAS) (*Analytic Jena*), Neraca analitik (*Cyberscan CON 110*) Oven (*memmert*) Mortar dan alu, Reaktor kaca, Peralatan gelas (*pyrex*), dan Hot plate (*Cimarec*)

Bahan

Aquades, HNO_3 pekat 65 %, H_2SO_4 95 %, HCl 1M, KMnO_4 5%, H_2O_2 30%, SnCl_2 , H_2O , *Hydroxyl-aminehydrochloride* 10%, Tanah, tumbuhan awar-awar (*Ficus Septica Burm.F*), Larutan merkuri 10 ppm, Kertas saring *whatman* No 42.

Prosedur Kerja

Pembuatan reaktor

Reaktor terbuat dari bahan kaca yang berbentuk persegi dengan ketebalan 5 mm dengan ukuran 20 x 20 x 20 cm. Dalam penelitian ini digunakan 4 buah reaktor, ketiga buah reaktor untuk proses fitoremediasi dilengkapi dengan tabung untuk menampung larutan merkuri untuk dialirkan pada media tanam, sementara reaktor keempat sebagai reaktor kontrol tidak diberi tabung yang berisi larutan merkuri. Ilustrasi reaktor sebagai media tanam sampel dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan larutan merkuri

Larutan merkuri 10 ppm dibuat dengan memipet 1 ml larutan merkuri 1000 ppm ke dalam labu takar 100 ml, kemudian diencerkan dengan aquades sampai pada tanda batas. Larutan merkuri yang telah diencerkan kemudian dialirkan pada tanah untuk proses remediasi proses fitoremediasi.

Proses fitoremediasi

Pengoperasian reaktor dilakukan dengan tahapan sebagai berikut: Sampel tanaman Awar-awar yang telah berusia 2 bulan dimasukkan ke dalam keempat reaktor yaitu tiga reaktor uji di dalam rumah kaca dan satu reaktor kontrol di luar rumah kaca. Pada minggu pertama dilakukan pengambilan sampel tanah, akar dan batang pada reaktor satu untuk pengukuran kadar merkuri menggunakan CV-AAS, minggu kedua proses yang sama dilakukan pada reaktor dua dan minggu ketiga juga dilakukan proses serupa untuk reaktor tiga. Selama proses fitoremediasi berlangsung dilakukan pengamatan terhadap bentuk fisik tanaman awar-awar (*Ficus septica Burm. F*) yang berada di dalam ketiga reaktor.

Proses preparasi dan destruksi sampel

Setelah proses fitoremediasi dilakukan, kemudian diambil bagian tanah, akar, dan daun untuk dilakukan proses analisis selanjutnya. Pada

tahap pertama, sampel tanah, dipanaskan di dalam oven pada suhu 40 °C, kemudian digerus hingga halus dan dimasukkan ke dalam kertas label. Sedangkan untuk sampel tanaman, diambil akar dan daun. Setelah itu dibersihkan dengan aquades dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 40°C, sampel dipotong hingga berukuran kecil dan dihaluskan menggunakan mortal dan alu dan selanjutnya dimasukkan dalam wadah dan diberi label.



Gambar 2. Tanaman awar-awar (Reaktor 1) (A) pada awal penanaman dan (B) pada saat akan dipanen

Sampel yang telah dihaluskan ditimbang sebanyak 2-gram dan dimasukkan dalam labu alas bulat 250 ml. Setelah itu ditambahkan berturut-turut 30 ml larutan HNO_3 pekat 65 % dan 10 ml larutan H_2SO_4 pekat 95 % sedikit demi sedikit. Larutan yang sudah tercampur dipanaskan pada suhu 100 °C selama satu jam dan ditambahkan 5 ml H_2O_2 30% sedikit demi sedikit sampai larutannya bening. Fungsi H_2O_2 adalah sebagai agen pengoksidasi. Kemudian didinginkan dan disaring dengan kertas saring *Whatman*. Setelah itu, dilakukan pengukuran kadar logam Hg pada panjang gelombang 253,7 nm dengan menggunakan CV-AAS. Sememntara untuk sampel tanah yaitu menimbang tanah yang telah digerus sebanyak 2-gram dan ditambahkan HNO_3 : HCl pekat (3:1) sebanyak 10 ml sambil

diaduk. Setelah itu larutan dipanaskan pada suhu 100 °C selama satu jam dan ditambahkan 5 ml H₂O₂ 30% sedikit demi sedikit sampai larutannya bening. Setelah itu, didinginkan dan disaring dengan menggunakan kertas saring *Whatman*. Pengukuran kadar logam Hg pada panjang gelombang 253,7 nm dilakukan menggunakan CV-AAS.

10 mL dan ditepatkan hingga tanda batas dengan akuades. Larutan ini selanjutnya dituang dalam tabung reaksi dan ditambahkan 0,1 mL KMnO₄ 5%, dikocok, ditambahkan lagi 0,1 mL hidroksilamin hidroklorida 10%, dikocok, dan ditambahkan 0,5 mL SnCl₂ 10%. Masing-masing larutan ini kemudian diukur serapannya pada panjang gelombang 253,7 nm dengan CV-AAS



Gambar 3. Tanaman awar-awar (Reaktor 2) (A) pada awal penanaman dan (B) pada saat akan dipanen

Pembuatan larutan standar Hg

Larutan induk merkuri 1000 ppm, dibuat dengan cara menimbang 1,3539 g HgCl₂ anhidrat, dilarutkan dalam HCl 1 M dan diencerkan hingga tanda batas. Selanjutnya diencerkan hingga 100 ppm. Larutan standar dibuat dari larutan induk merkuri 100 mg/L dengan cara larutan induk Hg 100 ppm dipipet sebanyak 1 mL. Kemudian dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL, dan ditambahkan aquadest hingga tanda batas. Larutan ini mengandung larutan merkuri 1000 ppb. Kemudian dari larutan induk ini, dipipet sebanyak 1 mL dan dimasukkan ke dalam labu takar 10 mL. Larutan ditepatkan dengan akuades hingga tanda batas. Larutan ini mengandung larutan merkuri 100 ppb. Pengenceran secara seri menjadi larutan standar merkuri dengan konsentrasi (ppb): 0,5; 1,00; 2,50; 7,50; 10,00; 15,00 dan 20,00 dengan cara memipet masing-masing (mL) 0,05; 0,10; 0,25; 0,75; 1,00; 1,50 dan 2,00 dari larutan merkuri 100 ppb. Kemudian dimasukkan masing-masing ke dalam labu takar

Analisis Data

Data yang diperoleh dari uji dengan CV-AAS, kemudian ditentukan konsentrasinya berdasarkan persamaan garis regresi linier dari kurva standar. Data pembuatan kurva standar memiliki hubungan antara konsentrasi (C) dan absorbansi (A) maka nilai yang dapat diketahui adalah nilai *slope* (kemiringan) dan *intersep*, kemudian nilai konsentrasi sampel dapat diketahui dengan memasukan kedalam persamaan regresi linear dengan menggunakan hukum *Lambert Beer*, yaitu:

$$y = ax + b \dots\dots\dots (1)$$

Dimana, y = absorbansi sampel, a = *slope* (kemiringan), x = konsentrasi sampel, b = *intersep*.

Data hasil analisis menggunakan CV-AAS kemudian hasil tersebut dianalisis datanya menggunakan analisis BCF (*Bioaccumulation Concentration Factor*), TF (*Translocation Faktor*), dan FTD (*Fitoremediatio*) untuk menghitung translokasi merkuri dari tana ke tumbuhan.

a. BCF (*Bioaccumulation Concentration Factor*)

Analisis BCF dilakukan untuk mengetahui tingkat akumulasi logam berat Hg dari tanah ke tanaman Awar-awar (*Ficus Septica Bum. F*). Rumus perhitungan BCF oleh Yoon *et al* (2006) dan La Nafie dkk (2019) yaitu:

$$BCF = \frac{C_{Hg \text{ pada dalam jaringan tanaman (mg/kg)}}}{C_{Hg \text{ pada tanah/sedimen (mg/kg)}} \dots (3)$$

Dengan katagori tanaman dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Akumulator: Apabila nilai BCF >1
2. Excluder: Apabila nilai BCF <1
3. Indikator: Apabila nilai BCF mendekati 1

b. TF (*Translocation faktor*)

Analisis TF (*Translocation Faktor*) digunakan untuk menghitung proses translokasi

logam berat merkuri (Hg) dari akar ke daun. Perhitungan TF (*Translocation Faktor*) yang digunakan oleh Baker (1981):

$$TF = \frac{C_{Hg \text{ pada daun (mg/kg)}}}{C_{Hg \text{ pada akar (mg/kg)}}} \dots\dots\dots (4)$$

Nilai TF menurut Baker (1981) memiliki kategori yaitu:

- TF >1: Mekanisme fitoekstraksi
- TF <1: Mekanisme fitostabilisasi

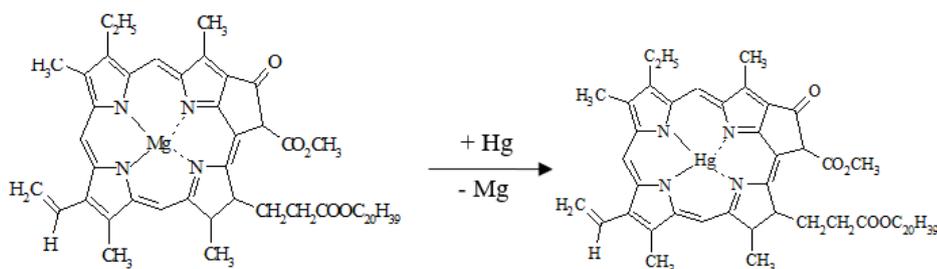
HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Fitoremediasi Merkuri Menggunakan Tanaman Awar-Awar (*Ficus Septica Burm F*)

Dalam proses fitoremediasi larutan merkuri 10 ppm dialirkan pada tiga reaktor uji di dalam rumah kaca, kecuali reaktor kontrol dibiarkan di luar rumah kaca agar tanaman pada reaktor kontrol tidak terkontaminasi merkuri. Tanaman pada reaktor uji diletakkan didalam rumah kaca agar meminimalisir kemungkinan kesalahan yang mungkin terjadi seperti adanya penambahan volume air pada reaktor saat kondisi hujan atau adanya penambahan material yang tidak diinginkan ke dalam reaktor yang berasal dari lingkungan sekitarnya.

dan dan warna daun saat tanaman berada dalam media tanam yang telah terkontaminasi merkuri. Tanaman pada reaktor satu tidak menunjukkan gejala kerusakan daun saat dibiarkan selama satu minggu dalam reaktor yang dialiri merkuri. Hal ini karena pada minggu pertama kadar merkuri yang diserap oleh tanaman masih banyak yang dialokasikan ke akar tanaman dan hanya sedikit yang ditranslokasikan ke daun tanaman awar-awar sehingga daun tanaman awar-awar tidak mengalami kerusakan. Sampel tanaman awar-awar pada reaktor satu ditunjukkan pada Gambar 2.

Pada reaktor dua tanaman mengalami perubahan saat dipanen, dilihat dari bentuk daun yang mengering pada reaktor ke dua. Sampel tanaman awar-awar pada reaktor ke dua ditunjukkan pada ke dua, daun tanaman awar-awar mengalami kerusakan karena tanaman telah terkontaminasi dengan logam Hg. Kandungan Hg yang berlebih berpotensi menurunkan kadar klorofil pada daun. Klorofil merupakan zat hijau daun yang ditemukan didalam kloroplas. Namun, masuknya logam berat yang berlebihan pada tanaman dapat mempengaruhi masuknya nutrisi seperti Mg pada kloroplas karena kandungan Hg dapat menggantikan unsur Mg sehingga menyebabkan perubahan pada volume dan jumlah



Gambar 4. Reaksi Klorofil dengan Hg

Pengambilan akar, tanah dan daun pada setiap reaktor dilakukan setelah tanaman terpapar merkuri selama satu minggu untuk reaktor satu, sementara reaktor dua dibiarkan selama dua minggu, karena setelah tujuh hari tanaman sudah dapat menyerap merkuri pada media tanam. Hal ini, sejalan dengan penelitian yang di lakukan oleh Triastuti (2010) dengan penyerapan pada hari ke tujuh oleh tn akar tanaman Awar-awar mencapai 0,933 ppm pada media tanam yang tercemar merkuri 10 ppm. Dalam proses fitoremediasi ada beberapa ciri fisik yang diperhatikan di antaranya adalah tinggi tanaman

kloroplas. Reaksi merkuri dengan klorofil ditunjukkan pada Gambar 4

Menurut Widowati (2011) Unsur Mg merupakan unsur hara makro dan merupakan penyusun molekul klorofil. Oleh karena itu, serapan logam berat seperti dalam jumlah yang kecil akan menurunkan dan menggantikan Mg dalam klorofil dan yang selanjutnya akan merusak struktur kloroplas sebagai bahan warna hijau pada daun dan batang.

Pada reaktor tiga daun tanaman awar-awar tidak mengalami kerusakan klorosis dan nekrosis walaupun kadar merkuri pada daun mengalami

peningkatan. Tanaman pada reaktor ke tiga ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Tanaman Awar-awar (Reaktor 3) (A) pada awal penanaman dan awar-awar (Reaktor 3) pada (B) minggu kedua proses fitoremediasi

Tanaman pada reaktor ke tiga tidak mengalami kerusakan karena tumbuhan sudah melakukan mekanisme toleransi terhadap logam berat yang di serap. Menurut Junaid (2012) tanaman melakukan mekanisme toleransi dengan mensintesis kembali polipeptida pengikat logam yaitu fitokelatin dan terbentuk bersama glutathione sintetase. Senyawa dimetil merkuri yang terikat dengan fitokelatin, yakni peptida yang memiliki banyak asam amino sistein yang mengandung belerang sangat penting untuk dapat mengikat senyawa metil merkuri yang masuk pada jaringan tumbuhan.

dikarenakan waktu kontak yang lama dengan tanah tercemar sehingga daun tanaman awar-awar juga dapat menyerap logam melalui proses adsorpsi oleh stomata pada daun berupa interaksi tarik menarik (kohesi) antara logam dengan jaringan daun bagian luar. Seperti yang dinyatakan dalam penelitian Dewi dkk. (2013) bahwa proses absorpsi dapat terjadi pada beberapa organ di antaranya akar, daun, dan stomata. Tumbuhan mempunyai kemampuan menyerap ion-ion dari lingkungan ke dalam tubuh melalui membran sel. Dengan sifat tersebut maka tumbuhan dapat mengakumulasi logam berat sampai pada konsentrasi tertentu atau bahkan dapat mencapai tingkat yang lebih besar dari konsentrasi ion logam pada mediumnya.

Selain mempengaruhi bentuk fisik daun, merkuri juga dapat mempengaruhi laju pertumbuhan tanaman awar-awar namun pengaruh tersebut tidak terlalu signifikan. Hal ini ditandai dengan berkurangnya laju pertumbuhan tanaman pada ketiga reaktor yang dialiri merkuri sedangkan pada reaktor kontrol terjadi pertumbuhan tanaman awar-awar yang lebih cepat seperti yang ditunjukkan pada Tabel .1

Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran tinggi tanaman awar-awar sebelum dipanen. Pada minggu ke nol semua tanaman belum dialiri larutan merkuri, sedangkan pada minggu ke satu, dua dan tiga tanaman sudah dialiri merkuri. Tanaman pada reaktor satu dipanen setelah dibiarkan selama satu minggu pada tanah tercemar merkuri, sedangkan tanaman pada reaktor dua dipanen setelah dibiarkan selama dua minggu pada tanah tercemar merkuri dan tanaman pada reaktor tiga dipanen setelah dibiarkan selama tiga minggu pada tanah tercemar merkuri. Tanaman pada reaktor kontrol mengalami peningkatan pertumbuhan yang lebih cepat dibandingkan tanaman pada reaktor satu, reaktor dua, dan reaktor tiga. Hal ini disebabkan karena

Tabel 1. Perubahan tinggi tanaman awar-awar dalam reaktor

Minggu	Tinggi tanaman dalam reaktor (cm)			
	Kontrol	R1	R2	R3
0	37	35	22	28
1	39,5	35,5	24,5	31
2	42		26	33
3	45,5			34

Keterangan: R = Reaktor, Kontrol, R2-R3 = Dialiri merkuri

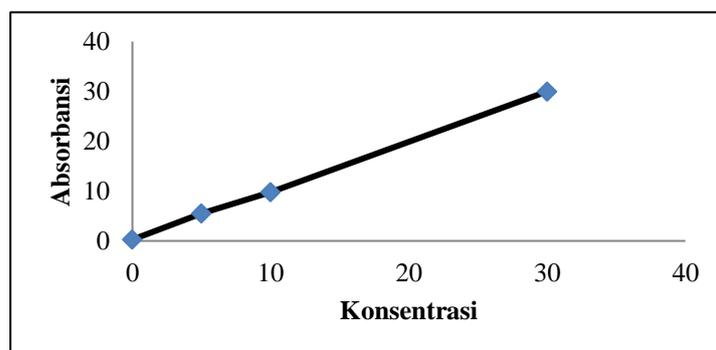
Pada reaktor ke tiga proses penyerapan merkuri pada daun meningkat lebih tinggi hal ini

tanaman pada reaktor satu, reaktor dua dan reaktor tiga telah menyerap merkuri sehingga

menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi terhambat. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilaporkan oleh Raharjo dkk. (2012) yang menyatakan bahwa sawi huma yang menyimpan Hg pada akarnya berdampak pada pertumbuhannya yaitu terjadi kekerdilan pada tanaman. Hal ini terjadi karena akar sudah tidak



Setelah proses analisis maka akan ditampilkan hasil absorbansi standar yang terbaca, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

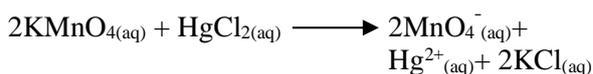


Gambar 6. Kurva kalibrasi larutan merkuri (Hg)

mampu lagi menahan senyawa logam berat yang berada di akar sehingga membuat akar tumbuhan tidak normal.

Pembuatan Kurva Kalibrasi dan Persamaan Regresi

Kurva kalibrasi diperoleh dari hasil serapan larutan standar terhadap konsentrasi yang sudah ditentukan sehingga dari kurva ini diperoleh suatu persamaan regresi. Pembuatan kurva kalibrasi diawali dengan membuat larutan standar merkuri (Hg) untuk mengukur tingkat ketelitian data. Larutan standar, diencerkan dari larutan induk merkuri dengan teliti dan hati-hati, agar kesalahan dalam pengenceran relatif kecil. Pengujian larutan standar menggunakan larutan kalium permanganat untuk mengoksidasi senyawa merkuri klorida, sehingga menjadi ion merkuri. Reaksi kalium permanganat dengan merkuri klorida adalah sebagai berikut:



Untuk analisis kelebihan permanganat dihancurkan dengan hidrosilamin hidroklorida. Selain itu, penggunaan hidrosilamin hidroklorida untuk menghilangkan warna pada KMnO_4 . Larutan standar yang digunakan juga ditambahkan dengan larutan SnCl_2 yang digunakan sebagai pereduksi untuk mengurangi ion merkuri pada raksa.

Dari absorbansi yang diperoleh selanjutnya dibuat kurva kalibrasi yang menyatakan hubungan antara absorbansi (A) dengan konsentrasi (C) dari zat standar yang telah diketahui konsentrasinya. Kurva kalibrasi larutan merkuri ditunjukkan pada Gambar 6.

Dari gambar kurva kalibrasi Gambar 6 diperoleh persamaan regresi $y = 0,9887x + 0,2579$ dengan koefisien korelasi adalah 0,9996. Kurva ini menunjukkan bahwa nilai koefisien korelasi dari variasi konsentrasi terhadap serapan mempunyai hubungan. Semakin tinggi konsentrasi maka semakin tinggi pula absorbansi.

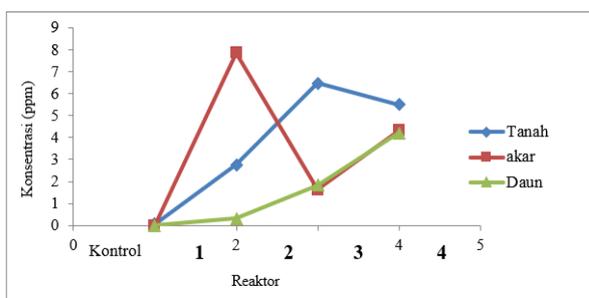
Akumulasi Merkuri (Hg) Pada Tanaman Awar-Awar (*Ficus Septica Burm F*)

Setiap tanaman memiliki perbedaan sensitivitas terhadap logam berat dan memperlihatkan kemampuan yang berbeda dalam mengakumulasi logam berat. Tanaman awar-awar memiliki kemampuan dalam menyerap logam berat merkuri. Hal ini ditunjukkan dengan menurunnya kadar merkuri pada tanah tercemar setelah ditanami dengan tanaman awar-awar. Data kandungan merkuri pada tanah, akar dan daun ditunjukkan pada Tabel 2. Pada reaktor kontrol tidak dialiri merkuri namun akar, daun dan tanah sudah terdapat merkuri. Merkuri yang terkandung pada tanaman dan tana masih di bawah ambang batas yang ditetapkan yaitu sebesar 0,5 ppm.

Tabel 2. Kandungan merkuri pada tanah, akar dan daun

	Kandungan Merkuri (ppm)			
	Kontrol	Reaktor 1	Reaktor 2	Reaktor 3
Tanah	0,07	2,75	6,48	5,50
Akar	0,0003	7,86	1,62	4,33
Daun	0,0003	0,31	1,84	4,21

Menurut Irsyad dkk. (2014) pada umumnya kandungan merkuri berasal dari tanah yang merupakan hasil dari pelapukan batuan. Laju penyerapan merkuri oleh tanaman awar-awar ditunjukkan pada Gambar 7.

Gambar 7. Laju penyerapan Hg oleh tanaman awar-awar (*Ficus septica* Burm F)

Pada reaktor satu kadar merkuri tertinggi terdapat pada akar tanaman awar-awar yaitu sebesar 7,86 ppm. Hal ini disebabkan karena minggu kedua merupakan proses awal pemberian larutan merkuri pada reaktor uji dan akar yang pertama mengalami kontak langsung dengan media tanam yang telah dialiri merkuri. Penyerapan unsur hara dan logam berat dari dalam tanah kemudian disebarkan pada bagian tumbuhan sehingga terjadi penurunan kadar merkuri pada tanah dan meningkatnya kadar merkuri pada akar dan daun. Menurut Hardiani (2009) besarnya akumulasi logam pada akar merupakan salah satu mekanisme detoksifikasi yang dilakukan tanaman untuk menghindari keracunan dan kerusakan oleh logam pada sel tanaman.

Menurut Meager (2000) logam berat yang diserap oleh tumbuhan awar-awar adalah dalam bentuk ion-ion yang larut dalam air. Saat menyerap logam berat akar tanaman awar-awar akan membuat protein regulator di dalam akar sebagai suatu senyawa pengikat (kelat) yang disebut dengan fitokelatin. Menurut Purwani dan Arisusanti (2013) fitokelatin adalah peptida yang mengandung 2-8 asam amino sistein dipusat molekul serta suatu asam glutamat dan glisin pada

ujung yang berlawanan. Fitokelatin berfungsi membentuk senyawa kompleks dengan logam berat dalam tubuh tumbuhan dan berfungsi sebagai detoksifikasi terhadap tumbuhan dari logam berat, jika tumbuhan tidak mensintesis fitokelatin maka akan berujung pada kematian. Fitokelatin dibentuk di dalam nukleus yang kemudian melewati retikulum endoplasma, aparatus golgi, vasikula sekretori untuk sampai pada permukaan sel. Saat fitokelatin berikatan dengan Hg maka fitokelatin akan membentuk ikatan sulfida di ujung belerang pada sistein dan membentuk senyawa kompleks sehingga Hg akan terbawa atau ditranslokasikan kedalam jaringan tumbuhan melalui jaringan pengangkut yaitu xilem dan floem.

Proses translokasi logam ke seluruh bagian tanaman menyebabkan konsentrasi pada akar menjadi menurun dan poses penyerapan menjadi meningkat pada daun seperti yang terdapat pada reaktor dua, kandungan Hg pada daun mulai meningkat karena Hg yang diikat oleh molekul kelat (molekul pengikat) telah di bawa ke tajuk dan keseluruhan bagian tanaman. Menurut Purwani dan Arisusanti (2013) logam dapat masuk kedalam sel dan berikatan dengan enzim yang bertindak sebagai katalisator, sehingga reaksi kimia dalam sel akan terganggu akibat interaksi merkuri dengan gugus sulfhidril (-SH) yang merupakan sisi aktif enzim. Gangguan dapat terjadi pada jaringan epidermis sponsa dan pelipase yang ditandai dengan nekrosis dan klorosis pada tanaman di minggu kedua.

Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) dan *Translocation Factor* (TF)

Kemampuan suatu jenis tanaman dalam mengakumulasi logam dari dalam tanah dapat dihitung dari nilai BCF dan TF. BCF merupakan cara untuk mengetahui akumulasi logam berat Hg dalam tanaman awar-awar. Nilai BCF yang diperoleh akan dibandingkan dengan standar perhitungan BCF yang dikemukakan oleh Yoon *et al* (2006) dimana nilai BCF yang lebih dari satu merupakan tanaman akumulator, sedangkan nilai BCF tanaman yang mendekati satu merupakan tanaman Indikator dan nilai BCF tanaman yang kurang dari satu merupakan Excluder. Hasil perhitungan BCF tanaman awar-awar dapat dilihat pada Tabel 3.

Nilai BCF tertinggi terjadi pada reaktor satu yaitu sebesar 2,97, sedangkan nilai BCF terendah terdapat pada reaktor dua yaitu sebesar 0,53. Nilai BCF pada reaktor kedua mengalami penurunan

karena pada reaktor kedua tanaman mengalami kerusakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 sehingga tanaman tidak dapat menyerap merkuri dengan baik. Namun pada reaktor tiga nilai BCF kembali naik yaitu 1,55. Nilai BCF yang lebih dari satu menunjukkan bahwa tanaman awar-awar merupakan tanaman akumulator merkuri yang dapat digunakan untuk meremediasi limbah merkuri namun tanaman awar-awar merupakan tanaman yang memiliki akumulasi yang lebih tinggi pada bagian akar tanaman. Penelitian yang dilakukan oleh Dewi, dkk (2013) pada tanaman akumulator seperti *R. Mucronata* juga menunjukkan akumulasi Pb yang lebih tinggi pada akar dibandingkan dengan akumulasi Pb pada daun, sehingga tanaman awar-awar dapat digolongkan sebagai tanaman akumulator merkuri. Selain itu, tanaman awar-awar menunjukkan nilai BCF yang lebih dari satu pada reaktor satu dan tiga yang menunjukkan bahwa tanaman ini dapat diajukan untuk agen fitoremediasi merkuri.

Tabel 3. Nilai *Bioconcentrasi Factor* (BCF) tanaman awar-awar

Waktu	C _{Daun + Akar} (ppm)	C _{Tanah} (ppm)	Nilai BCF
Reaktor I	8,17	2,75	2,97
Reaktor II	3,46	6,84	0,53
Reaktor III	8,54	5,50	1,55

Nilai *translocation factor* (TF) digunakan untuk melihat translokasi logam dari akar ke pucuk tanaman, yang dihitung dengan membagi konsentrasi logam dibagian pucuk dengan bagian akar. Nilai TF yang diperoleh akan dibandingkan dengan standar nilai TF yang dikemukakan oleh Baker (1981) bahwa tanaman yang memiliki nilai TF lebih dari satu merupakan tanaman yang memiliki mekanisme fitoekstraksi sedangkan tanaman yang memiliki nilai TF kurang dari satu merupakan tanaman fitostabilisasi. Nilai TF tanaman awar-awar ditunjukkan pada Tabel 4.

Nilai TF pada reaktor satu merupakan nilai TF yang paling rendah karena pada reaktor satu tanaman awar-awar masih mengakumulasi merkuri yang diserap ke bagian akar tanaman, ditunjukkan dengan besarnya nilai BCF pada reaktor satu. Pada reaktor dua nilai TF meningkat hingga 1,13 namun pada reaktor dua nilai BCF mengalami penurunan seperti penelitian yang dilakukan oleh Yoon, *et al* (2006) menyatakan bahwa umumnya nilai BCF berbanding terbalik dengan nilai TF. Nilai BCF akan lebih besar dari

satu sedangkan nilai TF lebih kecil dari satu yang menunjukkan bahwa tanaman mampu untuk mengakumulasi logam berat merkuri namun kemampuan untuk mentranslokasikan logam berat ke seluruh bagian tanaman masih rendah.

Tabel 4. Nilai *translocation Factor* (TF) tanaman awar-awar

Waktu	C _{daun} (ppm)	C _{akar} (ppm)	Nilai TF
Reaktor I	0,31	7,86	0,04
Reaktor II	1,84	1,62	1,13
Reaktor III	4,21	4,33	0,97

Nilai TF yang paling baik pada tanaman awar-awar adalah pada reaktor ke dua, di mana pada reaktor dua tanaman awar-awar dapat dikategorikan sebagai tanaman fitoekstraksi. Karena fitoekstraksi sendiri merupakan proses penyerapan polutan oleh tanaman dari tanah kemudian diakumulasi ke bagian tanaman. Selain itu pada reaktor tiga nilai TF menjadi menurun karena pada akar mempunyai sistem penghentian transport logam menuju daun terutama logam berat sehingga ada penumpukan pada akar. Menurut Susana dan Suswati (2013) nilai TF yang mengalami penurunan pada minggu ke empat menunjukkan bahwa tanaman awar-awar mempunyai kemampuan menahan Hg pada akar lebih besar dibandingkan dengan proses akumulasi pada tajuk, karena akar tanaman tersebut dapat mengenali Hg sebagai unsur toksik sehingga terjadi mekanisme inaktivasi seperti sekuestrasi unsur tersebut di vakuola atau pada dinding sel.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa setelah proses fitoremediasi tanaman awar-awar (*Ficus Septica Burm. F*) dapat mereduksi kandungan logam berat merkuri. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya penyerapan merkuri pada reaktor satu sebesar 81,7%, tanaman pada reaktor dua sebesar 34,6% dan tanaman pada reaktor tiga sebesar 85,4%. Dengan demikian tanaman ini sangat cocok digunakan sebagai fitoremediator untuk mereduksi kandungan logam berat merkuri (Hg) pada lahan yang telah tercemar.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar S., 2017, Fitoremediasi Tanaman Paku Pakis (*Pteris Vitata*) Dengan Penambahan Karbon Aktif Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) Terhadap Limbah Merkuri (Hg), *Skripsi*, Universitas Islam Negeri Alauddin. Makassar.
- Baker A.J., 1981, Accumulators and Excluders-Strategies in The Response of Plants to Heavy Metals. *J. Plant Nutrition*, 3(1), 643–654.
- Bernhoft A.R., 2012, Mercury Toxicity and Treatment: A review of the Literature, *J. Environ. Public Health*, 2012, 1-10
- Cordi. P, Veiga M.M, Salih I, Al-Saadi S, Console S, Garcia O, Mesa L.A, Velasquez-Lopez P.C, Roeser M., 2011, Mercury Contamination from Artisanal Gold Mining in Antioquia, Columbia: The Worlds Highest Per Capita Mercury Pollution, *Science of the total Environment* 410-411, 154-160.
- Dewi A.R, Ria A., Bambang Y., 2013, Studi Akumulasi Logam Timbal Pb dan Efeknya Terhadap Kandungan Klorofil Daun Mangruev (*Rhizophora Macronata*), *J. Marine Research*, 3(1), 44-53.
- Febrian M. Salatutin, Chudeya Y. Batawi, Camellia Y. Lessil, Yusthinus T. Male., 2015, Analisis Sebaran Merkuri (Hg) pada Area Irigasi Sungai Waeapo, Kab. Buru, Provinsi Maluku Akibat Penambangan Emas Tanpa Ijin di Areal Gunung Botak, *Indo. J. Chem. Res.*, 3, 270-276.
- Hardiani, H., 2009, Potensi Tanaman Dalam Mengakumulasi Logam Cu Pada Media Tanah Terkontaminasi Limbah Padat Industri Kertas, *J. Selulosa*, 44(1), 27-40.
- Irsyad M, Sikanna R, Musafira., 2014, Translokasi Merkuri (Hg) Pada Daun Tanaman Duri (*Amaranthus Spinosa* L) Dari Tanah Tercemar. *J. Natural Science*, 3(1), 27-40.
- Jarup Lars., 2003, Hazards of Heavy Metal Contamination, *Br. Med Bull.*, 68,167-82.
- Junaid U. Kandowanko N. Y., Hamidun M.S., 2012, Kandungan Merkuri Pada Tumbuhan Yang Berada Di Kawasan Penambangan Emas Desa Hulawa Kecamatan Sumalata Kabupaten Gorontalo Utara, *Skripsi*, FMIPA, Universitas Negeri Gorontalo.
- Mazyck D.W, Hagan H.M, Byrne H., 2009, Aqueous Phase Mercury Removal: Strategis For A Secure Water Supply, National Institute for Standards and Instrumentation, Technology Innovation Program, *Report*, U.S Department of Commerce
- Meager R.B., 2000, Phytoremediation of Toxic Elemental and Organic Pollutants, *Current Opinion in Plant Biology*, 3, 153-162
- Nafie La N., Syarifuddin Liong, Rizda Arifin., 2019, Fito akumulasi Logam Ni dan Zn dalam Tumbuhan Nipah (*Nypa fruticans*) di Sungai Tallo Makassar, *Indo. J. Chem. Res.*, 7(1), 92-100
- Purwani, Ari S., 2013, Pengaruh Mikoriza *Glomus Fasciculatum* Terhadap Akumulasi Logamtimbal Pb Pada Tanaman Dahlia Pinata, *Sains dan Seni Pomits*, 2(2), 2337-3520
- Raharjo D, Mustamir E, Suryadi U.E., 2012, Uji Efektivitas Beberapa Jenis Arang Aktif dan Tanaman Akumulator Logam Pada Lahan Bekas Penambangan Emas, *J. Perkebunan Dan Lahan Tropika*. 2(2),15-22.
- Rumatoras H., Taipabu, I. M., Lewi Lesiela, Yusthinus T. Male., 2016, Analisis Kadar Merkuri (Hg) Pada Rambut Penduduk Desa Kayeli, Akibat Penambangan Emas Tanpa Ijin di Areal Gunung Botak, Kab. Buru- Provinsi Maluku, *Ind. J. Chem. Res.*, 3, 290-294.
- Sudirga, S. K., 2015, Pemnfaatan Ekstrak Daun Awar-Awar (*Ficus septica burm.f.*) Sebagai Fungisida Nabati Untuk Mengendalikan Jamur *Colletotrichum* sp. Penyebab Penyakit Antraknosa Pada Tanaman Cabai Besar, *Disertasi*, Universitas Udayana Bali.
- Surriya O., Saleem S.S., Waqar K., Kazi AG., 2015, *Phytoremediation of Soils: Prospect and challenges*, Academic Press, 1-36.
- Susana R., Suswati D., 2013, Bioakumulasi dan Distribusi Cd Pada Akar dan Pucuk 3 Jenis Tanaman Famili Brassicaceae: Implementasinya Untuk Fitoremediasi, *J. Manusia dan Lingkungan*, 20(2), 221-228.
- Triastuti., 2010, *Fitoremediasi Tanah Tercemar Merkuri (Hg²⁺) Menggunakan Tanaman Akar Wangi (Vetiver Zizanioides) Pada Lahan EKS-TPA Keputih*, Teknik Lingkungan, ITS.
- U.S EPA., 2007, *Treatment Technologies for Mercury in Soil, Waste and Water*, EPA, USA.
- Wahyuni S., Susanti R., Iswari R.S., 2015, Isolation and Characterization Of Ficin Enzyme From *Ficus Septica* Burm F Stem Lateks, *J. Biotechnology*, 20(2), 161-166.

- Widodo, Aminudin., 2011, Upaya Perolehan Emas dengan Metode Amalgamasi Tidak Langsung. Studi Kasus Pertambangan Rakyat Desa Waluran Kecamatan Waluran Kabupaten Sukabumi, *Buletin Geologi Tata Lingkungan*, 21(2), 83-96.
- Widowati H., 2011, Pengaruh Logam Berat Cd, Pb Terhadap Perubahan Warna Batang Dan Daun Sayuran, *El Hayah*, 1(4), 167-173.
- Yoon J.C., Xinde Z., Qixing, Ma L Q., 2006, Accumulation of Pb, Cu, and Zn in Native Plants Growing on a Contaminated Florida Site, *Science of the Total Environment*, 368(1-3), 456-464.