

Fitoremediasi Sebagai Alternatif Pengurangan Limbah Merkuri Akibat Penambangan Emas Tradisional di Ekosistem Sungai Tulabolo Kabupaten Bone Bolango

Marike Mahmud, Fitryane Lihawa, Ishak Isa, Indriaty M Patuti

Univrsitas Negeri Gorontalo

ABSTRAK: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan tumbuhan dalam mengakumulasi merkuri dari limbah akibat kegiatan penambangan emas tradisional di Sungai Tulabolo Kecamatan Suwawa Kabupaten Bone Bolango. Mengkaji serapan merkuri dengan sistem fitoremediasi di ekosistem perairan sebagai strategi pengelolaan ekosistem aliran Sungai Tulabolo akibat penambangan emas tradisional untuk mengantisipasi terjadinya pencemaran lingkungan. Mengkaji kondisi ekosistem perairan (tumbuhan, air dan sedimen) sebelum dan setelah dilakukannya adanya fitoremediasi. Penelitian ini berlokasi di penambangan emas tradisional yang berada di Kecamatan Suwawa Timur Kabupaten Bone Bolango yaitu pada Daerah Mohutango di bagian tengah Sub DAS Tulabolo. Pengambilan sampel air dan sedimen dilakukan di Sungai Mohutango dan lokasi pengolahan sekitar daerah Fitoremediasi. Analisis merkuri di air dan sedimen dilakukan di laboratorium Perikanan Provinsi Gorontalo. Analisis merkuri pada tumbuhan dilakukan di laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu Universitas Gadjah Mada. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tumbuhan yang terdeteksi mengakumulasi merkuri terbesar di ekosistem Sungai Tulabolo berturut-turut adalah tumbuhan paku pakis, keladi tikus, *colocasia esculenta red stem*, rumput-rumputan (*paspalum conyugatum*) dan *colocasia esculenta* batang hijau. Tumbuhan *colocasia esculenta* (batang hijau) sangat toleran pada air limbah dan dapat menyerap merkuri dengan baik sehingga cocok digunakan sebagai media fitoremediasi di ekosistem Sungai Tulabolo. Hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi lingkungan setelah fitoremediasi menjadi lebih baik terutama pada sedimen dimana merkuri mengalami penurunan yang sangat baik. Hasil analisis uji beda T-Test dengan paired samples test menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan antara penyerapan merkuri oleh akar tumbuhan sebelum dan sesudah fitoremediasi.

Kata Kunci: fitomediasi, merkuri, penambangan emas tradisional.

PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade ini penelitian penggunaan tumbuhan untuk mengekstrak logam berat dari dalam tanah tercemar telah banyak dilakukan. Teknik ini (fitoekstraksi) menawarkan sejumlah, keuntungan diantaranya biaya lebih murah dan dampak buruk terhadap lingkungan minimal. Ada dua pendekatan yang umum dilakukan untuk fitoekstraksi logam berat yaitu penggunaan tumbuhan hiperakumulator alami yang memiliki kekecualian dalam kapasitasnya mengakumulasi logam berat dan penggunaan tanaman budidaya yang memiliki produksi biomasa tinggi seperti jagung, kacang-kacangan, gandum dan kubis (Jeheiti, *et al*, 2009). Tumbuhan yang hidup di Sub DAS Tulabolo dapat diteliti untuk dijadikan fitoremediasi

sehingga masalah kegiatan tambang tradisional terhadap pencemaran terhadap ekosistem aliran sungai Tulabolo dapat diatasi.

Beberapa jenis tumbuhan yang tumbuh disepanjang sungai yang terkontaminasi merkuri, diketahui mampu mengakumulasi merkuri dalam jumlah yang lebih tinggi dibandingkan jenis lainnya. Sebagai contoh *Paspalum conjugatum* diketahui mampu mengakumulasi 47 mg Hg/kg bobot kering, *Cyperus monocephala* 13,05 mg Hg/kg, *Ipomoea batatas* 18,57 – 22,57 mg Hg/kg, *Zingiber sp* 49,33 mg Hg/kg, *Caladium* 9,12 mg Hg/kg, *Digitaria radicata* 50,93 mg/Hg/kg, *Commelina nuda* 30,37 mg Hg/kg dan *Lindernia crustacea* mampu mengakumulasi hingga 89,13 mg Hg/kg. Potensi daya adaptasi dan daya serap terhadap merkuri dari beberapa jenis tumbuhan tersebut terbukti sangat signifikan. Potensi ini dapat dimanfaatkan lebih lanjut untuk pembersih limbah pada areal yang terkontaminasi melalui teknologi fitoremediasi (Hidayati *et al*, 2006; Juheity *et al.*, 2005 dalam Juhaety *et al*, 2009).

Penelitian yang dilakukan oleh Palapa (2009) menunjukkan bahwa tiga jenis tumbuhan yang digunakan sebagai fitoremediasi yaitu kangkung air, enceng gondok dan teratai. Hasil penelitian pada hari ke 15 perbedaan jenis tumbuhan belum berpengaruh secara nyata ($p > \alpha$ 0,05) pada penurunan konsentrasi Hg. Pada hari ke 30 jenis tumbuhan berpengaruh secara nyata ($p < \alpha$ 0,05). Kemampuan penyerapan merkuri oleh tumbuhan berbeda, paling tinggi kemampuannya adalah kangkung air, teratai dan enceng gondok.

Salah satu dampak negatif yang ditimbulkan akibat penambangan emas oleh rakyat adalah pencemaran merkuri hasil proses pengolahan emas secara amalgamasi. Pada proses amalgamasi emas yang dilakukan oleh rakyat secara tradisional, merkuri dapat terlepas ke lingkungan pada tahap pencucian dan penggarangan. Pada proses pencucian, limbah yang umumnya masih mengandung merkuri dibuang langsung ke badan air. Hal ini disebabkan merkuri tersebut tercampur/terpecah menjadi butiran-butiran halus, yang sifatnya sukar dipisahkan pada proses penggilingan yang dilakukan bersamaan dengan proses amalgamasi, sehingga pada proses pencucian merkuri dalam ampas terbawa masuk ke sungai. Di dalam air, merkuri dapat mengalami biotransformasi menjadi senyawa organik metil merkuri atau fenil merkuri akibat proses dekomposisi oleh bakteri. Selanjutnya senyawa organik tersebut 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 (Widhiyatna, 2005).

Permasalahan konsentrasi merkuri akibat penambangan tradisional di sungai tidak akan teratasi dengan baik apabila kebijakan pengelolaan ekosistem perairan tidak terarah untuk mengatasi bagaimana alternatif pengelolaan sehingga pencemaran terhadap lingkungan perairan tidak akan terjadi. Salah satu cara adalah dengan fitoremediasi. Fitoremediasi adalah konsep

mengolah air limbah dengan menggunakan media tanaman. Penelitian ini bertujuan mengkaji kemampuan jenis-jenis tumbuhan dalam mengakumulasi merkuri dari limbah akibat kegiatan penambangan emas tradisional di Sungai Tulabolo di Kecamatan Suwawa Kabupaten Bone Bolango. Mengkaji serapan merkuri dengan sistem fitoremediasi di ekosistem perairan Sungai Tulabolo sebagai strategi pengelolaan ekosistem aliran Sungai Tulabolo akibat penambangan emas tradisional untuk mengantisipasi terjadinya pencemaran lingkungan. Mengkaji lingkungan ekosistem perairan Sungai Tulabolo (tumbuhan, air dan sedimen) sebelum dan sesudah dilakukannya fitoremediasi.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian fitoremediasi di lapangan dilakukan pada satu lokasi yaitu lokasi yang dinamakan dengan Daerah Mohutango di Sub DAS Tulabolo. Pengambilan sampel tumbuhan dilakukan di Sungai Mohutango dan Sungai Tulabolo. Sungai Mohutango bermuara di Sungai Tulabolo dan akhirnya bermuara di Sungai Bone. Lokasi ini dipilih sebagai lokasi penelitian karena lokasi ini dijadikan masyarakat sebagai salah satu tempat pembuangan akibat limbah aktivitas penambangan rakyat dan memberi tambahan debit terhadap Sungai Bone dimana Sungai Bone dijadikan sebagai sumber air minum masyarakat Gorontalo.

Analisis konsentrasi merkuri di tumbuhan dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu Universitas Gadjah Mada. Analisis konsentrasi merkuri di dalam air dan dalam sedimen dasar dilakukan di laboratorium Pembinaan dan Pengujian Mutu Perikanan Provinsi Gorontalo. Persyaratan umum kompetensi laboratorium pengujian dan laboratorium kalibrasi mengacu pada SNI 19-17025-2000. Lama penelitian sekitar 4 (empat) bulan, meliputi penelitian di lapangan dan di laboratorium.

Alat dan Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah Peta DAS Bone, skala 1: 50.000, peta jenis tanah, skala 1 : 50.000, peta geologi skala 1 : 50.000, peta wilayah administrasi skala 1 : 50.000, data curah hujan, asam nitrat pH < 2. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat komputer + printer + *scanner*, program komputer (perangkat lunak) Arc Gis 93, *Sediment sampler* tipe USDH 48, kantong plastik, spidol dan botol sampel, perahu, GPS, perangkat alat laboratorium, kamera digital, grab sample, batu kerikil, semen, pipaPVC 4", batu alam dan tarpal penutup tanaman.

Prosedur Penelitian

Data utama dalam penelitian ini adalah merkuri pada tumbuhan, merkuri di dalam air, merkuri dalam sedimen dasar. Teknik pengumpulan data primer dilakukan dengan pengukuran dan pengamatan langsung di lapangan. Alat yang dipakai dalam penetapan konsentrasi merkuri adalah spektrofotometri serapan atom tanpa nyala untuk air dan sedimen dan merkury analyzer untuk mengukur merkuri pada tumbuhan.

Pengambilan sampel tumbuhan sebanyak 2 kali yaitu pada kondisi rona awal sebelum fitoremediasi dan sesudah fitoremediasi dengan umur tanam tumbuhan selama 20 hari. Pengambilan sampel air dan sedimen digunakan untuk mengetahui kondisi lingkungan sekitar sebelum dan setelah ada fitoremediasi. Sampel tumbuhan sebanyak 36 sampel (daun dan akar) (sebelum) dan 36 sampel sesudah fitoremediasi. Sampel air sebanyak (5) dan sedimen (5) sampel total 2 kali pengukuran sebanyak 20 sampel.

Analisis Data

- a) Analisis data tentang jenis-jenis tumbuhan air dapat digunakan sebagai fitoremediasi dengan menggunakan grafik dan selanjutnya diinterpretasi.
- b) Analisis tentang fitoremediasi dapat menurunkan konsentrasi merkuri di ekosistem Sungai Tulabolo menggunakan tabel dan grafik selanjutnya diinterpretasi.
- c) Analisis data tentang perbedaan antara konsentrasi merkuri antara sebelum dan sesudah fitoremediasi dianalisis dengan Uji- Beda T-Tes dengan Paired Samples T- Tes.

HASIL DAN PEMBAHASAN

- a. Kemampuan jenis-jenis tumbuhan dalam mengakumulasi merkuri dari limbah akibat kegiatan penambangan emas tradisional akibat penambangan tradisional di Sungai Tulabolo di Kecamatan Suwawa Kabupaten Bone Bolango.

Hasil analisis menunjukkan bahwa secara umum konsentrasi merkuri pada berbagai jenis akar tumbuhan air yang hidup di Sungai Tulabolo berkisar berkisar 35 ppb - 4084 ppb. Pada jenis tumbuhan tertentu seperti akar *colocasia esculenta* (batang hijau) menunjukkan konsentrasi merkuri berkisar 66 – 787 ppb. Tumbuhan *Colocasia esculenta stem red* berkisar 35 – 1379 ppb. Tumbuhan keladi tikus berkisar 144 ppb – 3102 ppb dan tumbuhan paku pakis berkisar 175 ppb – 4084,0 ppb. Hasil analisis ini cenderung sudah berada di atas baku mutu yang ditetapkan oleh baku mutu yang ditetapkan SK Dirjen POM : No:03725/B/SK/VII/89 sebesar 0.5 ppm.

Konsentrasi yang tinggi pada tumbuhan dapat terjadi karena baik konsentrasi di dalam air maupun di dalam sedimen cukup tinggi sehingga mempengaruhi konsentrasi merkuri di akar dan daun tumbuhan. Kegiatan aktivitas tambang membuang tailing hasil pengolahan emas ke dalam suatu tampungan pada suatu kolam pengendapan dan kemudian dialirkan langsung ke Sungai

Mohutango dan Tulabolo. Konsentrasi merkuri yang berada di air dan sedimen akan terserap oleh akar tumbuhan. Hal ini yang menyebabkan konsentrasi merkuri di tumbuhan cukup tinggi. Hal ini didukung oleh hasil analisis yang menunjukkan bahwa konsentrasi rata-rata merkuri di dalam air limbah berkisar 0.0005 – 0.0024 ppm, dalam air sungai berkisar 0– 0.0026 ppm dan sedimen dasar dalam sungai berkisar 16.79- 19.17 ppm dan sedimen dalam tailing berkisar 596.11 – 691.67 ppm.

Hasil analisis konsentrasi merkuri pada berbagai jenis daun tumbuhan air di Sungai Tulabolo menunjukkan bahwa konsentrasi merkuri berkisar 21 – 641 ppb. Konsentrasi merkuri pada masing-masing jenis tumbuhan menunjukkan *colocasia esculenta* (batang hijau) berkisar 21 – 202 ppb, *colocasia stem red* berkisar 49 – 121 ppb, keladi tikus berkisar 20 – 230 ppb dan tumbuhan paku pakis berkisar 63- 641 ppb dan *paspalum conyugatum* sebesar 167 ppb. Hasil analisis konsentrasi merkuri dibandingkan dengan baku mutu ditunjukkan pada Table 1.

Tabel 1. Tolok ukur konsentrasi merkuri pada akar dan daun tumbuhan di Ekosistem Sungai Tulabolo

| No. | Kode | Nama Tumbuhan | akar (ppm) Mg/kg | Daun mg/kg | Baku Mutu : SK Dirjen POM: No:03725/B/SK/VII/89 |
|-----|------|---|------------------------|---------------|--|
| 1 | T1 | <i>colocasia esculenta</i> (batang hijau) | 0.307 | 0.168 | 0.5 mg/kg |
| 2 | T2 | Keladi Tikus | 3.102 | 0.181 | 0.5 mg/kg |
| 3 | T3 | Keladi tikus | 1.634 | 0.230 | 0.5 mg/kg |
| 4 | T4 | <i>colocasia esculenta</i> (batang hijau) | 0,074 | 0.194 | 0.5 mg/kg |
| 5 | T5 | <i>colocasia esculenta</i> (batang hijau) | 0.075 | 0.202 | 0.5 mg/kg |
| 6 | T6 | <i>colocasia esculenta</i> (batang hijau) | 0.066 | 0.159 | 0.5 mg/kg |
| 7 | T7 | <i>colocasia esculenta</i> (batang hijau) | 0.407 | 0.073 | 0.5 mg/kg |
| 8 | T8 | <i>colocasia esculent</i> <i>stem red</i> | 0.522 | 0.067 | 0.5 mg/kg |
| 9 | T9 | <i>colocasia esculenta</i> <i>stem red</i> | 0.035 | 0.049 | 0.5 mg/kg |
| 10 | T10 | Keladi Tikus | 0.144 | 0.020 | 0.5 mg/kg |
| 11 | T11 | <i>Colocasia esculenta</i> <i>stem red</i> | 1.379 | 0.121 | 0.5 mg/kg |
| 12 | T12 | <i>paspalum</i> <i>conyugatum</i> | 1.198 | 0.167 | 0.5 mg/kg |
| 13 | T13 | Paku pakis | 0.851 | 0.114 | 0.5 mg/kg |
| 14 | T14 | Paku pakis | 0.175 | 0.063 | 0.5 mg/kg |
| 15 | T15 | Paku pakis | 0.311 | 0.264 | 0.5 mg/kg |
| 16 | T B | <i>colocasia esculenta</i> (batang hijau) | 0.787 | 0.021 | 0.5 mg/kg |
| 17 | TC | Paku pakis | 4.084 | 0.641 | 0.5 mg/kg |

Hasil analisis laboratorium Tahun 2012

Konsentrasi merkuri yang sangat tinggi terutama tanaman paku pakis sebesar 641 ppb pada daun dan 4084 ppb pada akar. Peninggian merkuri pada tanaman ini karena tanaman ini hidup pada lokasi tambang sehingga sering terpapar merkuri. Jenis-jenis tanaman uji diambil di pinggiran Sungai Tulabolo. Sungai Tulabolo menerima limbah dari aktifitas tambang di sekitarnya. Sehingga fluktuasi konsentrasi merkuri berbeda-beda. Sungai Tulabolo merupakan pertemuan sungai-sungai kecil yang menerima limbah tambang dari lokasi berbeda-beda sehingga merupakan campuran dari sungai-sungai lainnya. Sehingga konsentrasi merkuri dapat berfluktuasi. Tumbuhan yang hidup di lokasi pertemuan Sungai Tulabolo dan Sungai Mohutango menyebabkan serapan merkuri oleh tanaman keladi tikus mencapai 3012 ppb pada akar dan 230 ppb pada daun. Hal ini diperkuat dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Juheiti *et al*, (2005) yang menyatakan akumulasi merkuri pada tanaman secara umum meningkat dengan makin meningkatnya konsentrasi merkuri pada media tanam dan makin meningkatnya umur tanaman.

Berdasarkan hasil analisis ini maka tumbuhan yang terdeteksi mengakumulasi merkuri terbesar di ekosistem Sungai Tulabolo berturut-turut adalah tumbuhan paku air dengan konsentrasi merkuri terbesar di akar sebesar 4084 ppb dan didaun sebesar 641 ppb, tumbuhan keladi tikus di akar sebesar 3102 ppb dan di daun sebesar 230 ppb, tumbuhan *colocasia esculenta red stem* di akar terbesar 1379 ppb dan di daun sebesar 121 ppb, *paspalum conjugatum* di akar sebesar 1198 dan di daun sebesar 167 dan *colocasia esculenta* (batang hijau) di akar sebesar 787 ppb dan di daun sebesar 202 ppb.

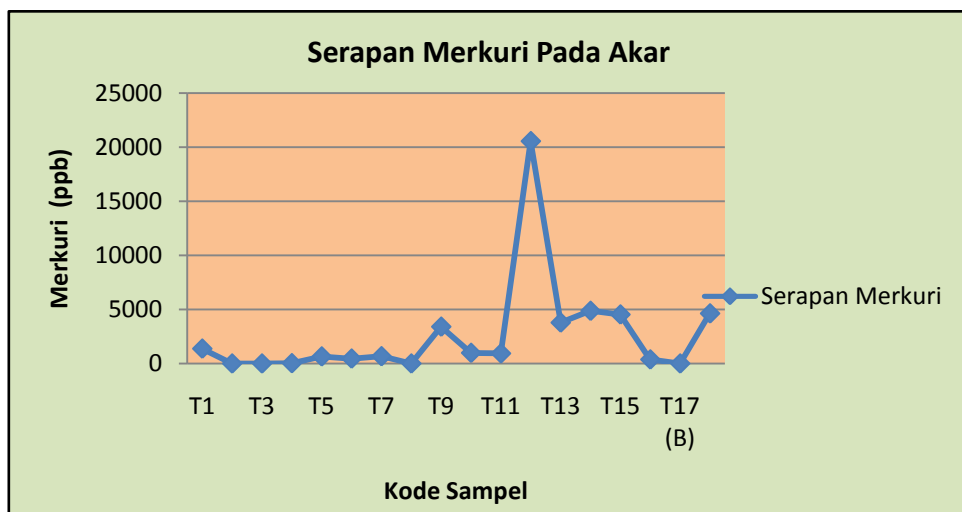
Berdasarkan hasil ini maka ke 5 jenis tumbuhan ini diuji serapannya pada umur tanam 20 hari untuk mendapatkan serapan terbaik dengan konsentrasi limbah yang berasal dari satu unit limbah dengan 1 unit terdiri atas 10 buah tromol.

b. Serapan merkuri dengan sistem fitoremediasi di ekosistem perairan Sungai Tulabolo

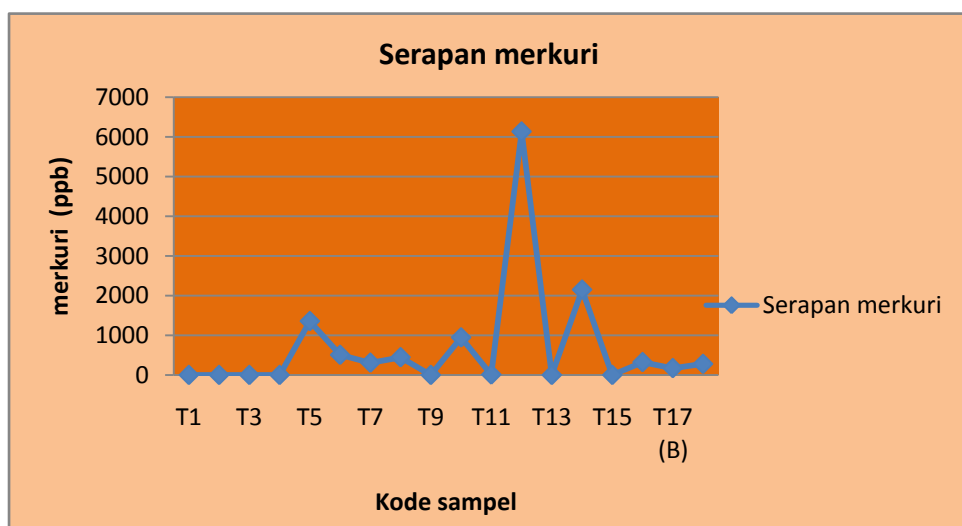
Proses fitoremediasi dilakukan pada bak kedap air dengan ukuran bak 2 x 3 m dan dalamnya 1 m dengan ketinggian air 5 cm diatas permukaan batu dan pasir. Aliran air limbah dialirkan melalui pipa 4 inci dan terlebih dahulu dimasukkan ke kolam pengendapan dan selanjutnya masuk ke bak fitoremediasi. Kolam pengendapan berukuran 0.5 x 0.75 dan dalamnya 1 m untuk menghindari pengendapan pada bak fitoremediasi. Aliran yang masuk ke bak pipa fitoremediasi berasal dari 1 unit pengolahan emas. Dimana 1 unit pengolahan emas terdiri atas 10 tromol.

Khusus Daerah Mohutango Kabupaten Bone Bolango pada bulan Agustusn 2012 terdapat 7 unit tromol tetapi yang beroperasi 2 unit pengolahan. Setiap unit pengolahan terdiri dari 10 buah tomol. Sedikitnya unit pengolahan yang aktif karena ciri jumlah emas yang ditemukan di daerah itu mengalami penurunan. Ciri khas tambang tradisional adalah berfluktuasi

dari waktu ke waktu tergantung jumlah emas yang ditemukan. Masing masing tromol menggunakan 1 kg Hg sekali putaran. Kisaran waktu pengolahan untuk satu tromol mencapai 4 jam, sehingga proses pengolahan dalam kurun waktu 24 jam, intensitas usaha mencapai 5 – 7 kali proses. Berdasarkan data ini dalam 1 bak fitoremediasi maka terdapat 10 tomol dengan 10 kg Hg yang di pakai setiap kali putaran. Setiap 1 kg Hg, yang menjadi limbah adalah 10 gram Hg maka diperkirakan limbah yang terbuang ke lingkungan sebesar $10 \text{ Kg Hg} \times 0,01 \text{ kg Hg}$ maka akan ada 0.1 kg Hg yang terbuang ke lingkungan untuk satu kali putaran. Untuk 6 kali putar setiap harinya maka akan ada 0.6 kg Hg limbah yang dialirkan masuk ke bak fitoremediasi. Hal ini dapat meningkatkan serapan merkuri pada akar dan daun tumbuhan yang dijadikan sebagai fitoremediasi. Umur tanam untuk fitoremediasi selama 20 hari masa tanam. Hasil serapan merkuri pada akar dengan adanya fitoremediasi ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil serapan merkuri pada daun dengan adanya fitoremediasi ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Grafik hasil serapan merkuri pada akar tumbuhan di ekosistem Sungai Tulabolo



Gambar 2. Hasil serapan merkuri pada daun tumbuhan

Hasil analisis menunjukkan bahwa serapan merkuri terbesar berturut-turut yaitu tumbuhan rumput-rumputan (*Paspalum conjugatum*) di akar sebesar 20555.44 ppb dan di daun sebesar 6135.53 ppb, tumbuhan paku pakis di akar 4867.51 ppb dan di daun sebesar 2150.56 ppb, *Colocasia esculenta* (batang hijau) di akar sebesar 4628.92 ppb dan di daun sebesar 1356.76 ppb, tumbuhan *Colocasia esculenta red stem* di akar sebesar 3438.62 ppb dan di daun sebesar 945.84 ppb dan pada keladi tikus di akar sebesar 984.53 dan di daun sebesar 945.84 ppb. Berdasarkan hasil analisis ini maka ke lima jenis tumbuhan yang cukup toleran terhadap air limbah dan mampu menyerap merkuri dengan baik. Hasil analisis menunjukkan dari ke 5 jenis tumbuhan walaupun mampu menyerap merkuri dengan baik tetapi yang cukup toleran dan cocok tumbuh di lokasi tambang tradisional adalah tanaman *Colocasia esculenta* (batang hijau). Hasil uji 2 kali masa tanam pada umur 20 hari tanaman ini dapat mengakumulasi merkuri dan dapat bertahan cukup baik pada limbah dengan 0,6 kg merkuri (1 unit pengolahan dengan 10 tromol) yang masuk ke bak fitoremediasi tersebut. Tumbuhan ini dapat digunakan oleh penambang untuk dijadikan media fitoremediasi. Tanaman ini dapat hidup subur di lokasi ini dan mudah didapatkan sehingga memudahkan para penambang membuat bak fitoremediasi pada lokasi tambang sekitar. Perbedaan karakteristik limbah yaitu limbah aliran tambang dan limbah yang masuk ke sungai akan mempengaruhi serapan merkuri dan daya toleran tanaman. Hal ini yang menyebabkan jenis tumbuhan ini dapat hidup subur pada aliran air di sungai dan menyerap merkuri dengan baik dan tidak toleran pada air limbah langsung yang dialirkan ke tumbuhan. Mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dibagi menjadi tiga proses yang berkesinambungan yaitu (i) penyerapan oleh akar lewat pembentukan suatu zat khelat yang disebut fitosiderofor yang terbentuk ini akan mengikat logam dan membawanya ke dalam sel akar melalui peristiwa transport aktif ; (ii) translokasi logam dari akar ke bagian lain tumbuhan melalui jaringan pengangkut yaitu xilem dan floem dan (iii) lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut (Priyanto dan Prayitno (2004) dalam Syahputra (2005)).

c. Kondisi lingkungan ekosistem perairan Sungai Tulabolo (tumbuhan, air dan sedimen) sebelum dan sesudah dilakukannya fitoremediasi

Hasil analisis konsentrasi merkuri di dalam air pada lokasi sebelum bak fitoremediasi menunjukkan konsentrasi merkuri sebesar 0,0012 – 0,0024 mg/l. Konsentrasi merkuri di air pada bak fitoremediasi sebesar 0,0013mg/l – 0.005 mg/l. Tingginya konsentrasi merkuri pada lokasi ini karena pengambilan sampel yang diambil merupakan sampel air permukaan yang belum meresap masuk ke dalam batuan dan akar tanaman, pengambilan hanya diambil pada permukaan air. Demikian pula sesudah fitoremediasi air yang dijadikan sampel dilakukan pada sisa keluaran

dari bak fitoremediasi. Dalam penelitian ini masih merupakan gambaran secara umum karakteristik konsentrasi merkuri pada air pada lokasi sebelum, pada bak dan sesudah fitoremediasi.

Hasil analisis konsentrasi merkuri di sedimen di lokasi sekitar bak fitoremediasi berkisar antara 596.11 – 691.67 mg/kg dan sedimen di dalam sungai berkisar 16.79 – 19.17 mg/kg. Apabila baku mutu *European Safety Standard* dijadikan sebagai pembanding maka nilai ambang batas maksimum untuk logam adalah 2 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa merkuri di sedimen dasar baik di tailing maupun di sedimen dasar sungai sudah melebihi ambang batas yang ditetapkan

Ikatan merkuri di sedimen di aliran permukaan merefleksikan ciri-ciri dari kontaminan yang dilalui meliputi : (i) deposit dan masuknya merkuri merupakan mobilisasi hasil dari proses pembakaran dan penguapan dari amalgam (ii) masukan partikulat merkuri akan terurai yang berasal dari proses pencucian kontaminan mineral pada prosesing di tailing (iii) sisa-sisa merkuri dari pemecahan dari penyerapan di permukaan (Appleton *et al*, 2001). Merkuri di mineral logam umumnya lebih rendah dari merkuri di sedimen dasar ditandai banyaknya merkuri yang tersebar di dalam lingkungan perairan. Merkuri ini merupakan serapan partikel halus yang masuk dari proses mineral partikel itu sendiri dari logam merkuri atau dari amalgam.

Hasil analisis merkuri pada sedimen menunjukkan bahwa konsentrasi merkuri pada lokasi sebelum fitoremediasi dilakukan pada dua kali sampling menunjukkan kadar merkuri berkisar 596.11 - 691,67 ppm. Hasil ini berada di atas baku mutu yang ditetapkan. Demikian pula konsentrasi merkuri pada bak fitoremediasi sebelum fitoremediasi sebesar 609.23 ppm dan sesudah dilakukan fitoremediasi sebesar 12,40 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi pengurangan merkuri yang cukup tinggi pada sedimen. Hal ini dapat terjadi karena merkuri sudah terserap oleh akar tumbuhan sehingga menyebabkan pengurangan merkuri di sedimen dasar. Pada lokasi sesudah fitoremediasi, konsentrasi merkuri pada sedimen pada awal sebelum fitoremediasi sebesar 596.11 ppm dan sesudah fitoremediasi sebesar 2,42 ppm. Hal ini mengindikasikan telah terjadi pengurangan merkuri yang cukup tinggi oleh karena adanya serapan akar tumbuhan pada uji fitoremediasi.

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 (Williams, 1979). Logam berat yang masuk ke perairan akan dipindahkan ke badan air melalui tiga proses yaitu pengendapan, adsorpsi dan absorpsi oleh organisme-organisme perairan (Bryan, 1976).

Tumbuhan yang dijadikan sampel diambil dari Sungai Tulabolo. Sebelum dilakukan fitoremediasi maka terlebih dahulu diukur kadar merkuri awal untuk tumbuhan. Selama umur tanam 20 hari tanaman dialirkan limbah dari 1 unit pengolahan sebesar 0.6 kg merkuri setiap harinya. Besarnya merkuri diukur dan didapat hasil serapan merkuri setelah dilakukan fitoremediasi. Untuk mengetahui apakah kelompok konsentrasi merkuri pada akar tumbuhan sebelum fitoremediasi maupun sesudah fitoremediasi berbeda secara signifikan maka di uji dengan *Paired Samples Test*. Hasil Uji *T-Test Paired Samples Test* menunjukkan bahwa ada perbedaan antara konsentrasi merkuri pada tumbuhan baik sebelum maupun sesudah fitoremediasi. Hasil analisis tingkat signifikansi $\alpha 0.035 < 0,05$ yang menunjukkan bahwa adanya perbedaan antara kelompok rata-rata konsentrasi merkuri pada tumbuhan sebelum dan sesudah fitoremediasi. Walaupun sampel dilakukan pada 4 jenis tumbuhan yang berbeda-beda tetapi jumlah serapan merkuri sebelum dialirkan dan sesudah dialirkan limbah adalah berbeda. Konsentrasi merkuri lebih terserap oleh akar dan kemudian masuk ke bagian lain tumbuhan.

Untuk mengetahui apakah kelompok konsentrasi merkuri pada daun tumbuhan sebelum fitoremediasi maupun sesudah fitoremediasi berbeda secara signifikan maka di uji dengan *Paired Samples Test*. Hasil Uji *T-Test Paired Samples Test* menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan antara konsentrasi merkuri pada tumbuhan baik sebelum maupun sesudah fitoremediasi. Hasil analisis tingkat signifikansi $\alpha 0.058 > 0.05$ yang menunjukkan bahwa tidak adanya perbedaan antara kelompok rata-rata konsentrasi merkuri pada tumbuhan sebelum dan sesudah fitoremediasi dikarenakan sampel dilakukan pada 4 jenis tumbuhan yang berbeda-beda menyebabkan serapan merkuri pada ke empat tumbuhan berbeda-beda juga. Hal lainnya tidak signifikannya hasil konsentrasi merkuri pada daun karena merkuri lebih banyak terserap pada akar di bandingkan pada daun.

SIMPULAN

1. Berdasarkan hasil analisis ini maka tumbuhan yang terdeteksi mengakumulasi merkuri terbesar di ekosistem Sungai Tulabolo berturut-turut adalah tumbuhan paku pakis, tumbuhan keladi tikus, tumbuhan *colocasia esculenta red stem paspalum conyugatum* dan *colocasia esculenta* (batang hijau) sehingga dapat dijadikan sebagai media fitoremediasi dilokasi tambang emas tradisional.
2. Hasil analisis menunjukkan bahwa serapan merkuri terbesar berturut-turut yaitu tumbuhan rumput-rumputan (*paspalum conyugatum*) di akar sebesar 20555.44 ppb dan di daun sebesar 6135.53 ppb, tumbuhan paku pakis di akar 4867.51 ppb dan di daun sebesar 2150.56 ppb, *colocasia esculenta* batang hijau di akar sebesar 4628.92 ppb dan di daun sebesar 1356.76 ppb, tumbuhan *colocasia esculenta red stem* di akar sebesar 3438.62 ppb dan di daun sebesar

945.84 ppb dan pada keladi tikus di akar sebesar 984.53 dan di daun sebesar 945.84 ppb. Berdasarkan hasil analisis ini maka ke lima jenis tumbuhan yang cukup toleran terhadap air limbah dan mampu menyerap merkuri dengan baik. Hasil analisis menunjukkan dari ke 5 jenis tumbuhan walaupun mampu menyerap merkuri dengan baik tetapi yang cukup toleran dan cocok tumbuh di lokasi tambang tradisional adalah tanaman colocasia batang hijau. Hasil uji 2 kali masa tanam pada umur 20 hari menunjukkan tanaman ini dapat mengakumulasi merkuri dan dapat bertahan cukup baik pada limbah dengan 0,6 kg merkuri (1 unit pengolahan dengan 10 tromol) yang masuk ke bak fitoremediasi tersebut. Tumbuhan ini dapat digunakan oleh penambang untuk dijadikan media fitoremediasi. Tanaman ini dapat hidup subur di lokasi ini dan mudah didapatkan sehingga memudahkan para penambang membuat bak fitoremediasi pada lokasi tambang sekitar.

3. Hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi lingkungan setelah fitoremediasi menjadi lebih baik terutama pada sedimen dimana merkuri pada sedimen di lokasi bak fitoremediasi mengalami penurunan yang sangat baik yang semula 609.22 menjadi 12.40 ppm. Demikian juga pada *effluent* yang semula 596.11 menjadi 2.42 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa sistem fitoremediasi dapat digunakan untuk mengurangi limbah merkuri, sehingga menjadi salah satu acuan bagi pemerintah untuk mengurangi pencemaran akibat kegiatan tambang tradisional. Untuk mengetahui apakah kelompok konsentrasi merkuri sebelum dan sesudah fitoremediasi maka hasil uji pada akar tumbuhan sebelum maupun sesudah fitoremediasi berbeda secara signifikan menggunakan Uji Beda T Tes dengan *Paired Samples Test*. Hasil ini menunjukkan bahwa telah terjadi serapan merkuri yang baik terutama pada akar setelah dilakukannya fitoremediasi sehingga jenis-jenis tanaman ini dapat digunakan untuk meremediasi merkuri akibat aktivitas tambang tradisional. Pada daun tumbuhan tingkat signifikansi $\alpha 0.058 > 0.05$ yang menunjukkan bahwa tidak adanya perbedaan antara kelompok rata-rata konsentrasi merkuri pada tumbuhan sebelum dan sesudah fitoremediasi dikarenakan sampel dilakukan pada 4 jenis tumbuhan yang berbeda-beda. Sehingga serapan merkuri pada ke empat tumbuhan berbeda-beda juga. Hal lain karena konsentrasi merkuri lebih banyak terserap pada akar. Berdasarkan hasil ini maka diharapkan sistem fitoremediasi dapat menjadi salah satu alternatif pemecahan masalah pencemaran merkuri akibat tambang tradisional sehingga dapat menjadi acuan bagi pemerintah untuk mengurangi limbah merkuri di ekosistem Sungai Tulabolo.

DAFTAR PUSTAKA

- Appleton, J.D., Williams, T.M., Orbea, H, and Carrasso, M. Fluvial Contamination Associated With Artisanal Gold Mining in The Ponce Enriquez, Portovelo-Zaruma And Nambija Areas, Equador. *Water, Air, and Soil Pollution* 131 : 19 – 39, 2001.
- Bryan, G.W.1976. *Heavy Metal Contaminan in The Sea dalam* R.Johson (Ed). Marine Pollution. London Academic Press.
- Connell, D.W., dan Miller, G.J. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Hidayati, N., Syarif F & Juheity T, 2006. Potensi Centrocema Pubescence, Calopogonium Mucunoides dan Micania Cordata Dalam Membersihkan Logam Kontaminan Pada Limbah Penambang Emas. *Jurnal Biodivrsitas Vol 7, No 1. Hal 4-6*. ISSN 1412-033x.
- Juhaeti, T., Hidayati N, Syarif F dan Hidayat S. 2009. Pertumbuhan dan Akumulasi Merkuri Berbagai Jenis Tumbuhan yang di Tanam di Media Limbah Penambangan Emas dengan Perlakuan berbagai Tingkat Konsentrasi Merkuri dan Kelat Amonium Tiosulfat. *Jurnal Berita Biologi* 9(5)- Agustus 2009. Hal 529 -538.
- Juhaeti, T, Syarif N, Sambas E.N. Hoesen, DSH, 2005. Karakteristik Jenis Tumbuhan pada Vegetasi di Lokasi Tailing Pond Pasir Gombang PT.ANTAM dan Penambangan Emas Tanpa Izin (PETI) Cikotok. Laporan Teknik, 2005. Bidang Botani, Pusat Penelitian Biologi – LIPI
- Palapa ,T.M. 2009. Bioremediasi Merkuri (Hg) dengan Tumbuhan Air Sebagai Salah Satu Alternatif Penanggulangan Limbah Tambang Emas Rakyat. *Jurnal : Agritek Vol.17 No.5*, September 2009. Hal 918-931.
- Syahputra R, 2005. Fitoremediasi Logam Cu dan Zn dengan Tanaman Enceng Gondok. *Jurnal LOGIKA Vol 2, No 2 Juli 2005*. Hal 57 – 67. ISSN : 1410 – 2315 Vol 2. Fakultas MIPA Jurusan Kimia. Universitas Islam Indonesia Yogyakarta..
- Widhiyatna, D.2005. Pendataan Penyebaran Merkuri Akibat Pertambangan Emas di Daerah Tasikmalaya, Propinsi Jawa Barat. Kolokium Hasil Lapangan-DIM 2005.
- Willians, J. 1979. *Introduction to Marine Pollution Control*. New York : A Willey Interscience Publication. 173 hal.