

Kemampuan Adaptasi Tanaman Mahoni (*Swietenia macrophylla*) terhadap Cemaran Merkuri pada *Tailing* Penambangan Emas Skala Kecil

Adaptation Ability of Mahogany (Swietenia macrophylla) against Mercury Contamination from Artisanal and Small-Scale Gold Mining

Oleh:

Beny Kurniawan^{1*}, Duryat¹, Melya Riniarti¹, Slamet Budi Yuwono¹

¹Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Jl Sumantri Brojonegoro, Gedung Meneng, Bandar Lampung 35145, Lampung, Indonesia. Tel.: +62-822-80631409

*email: benykurniawan110497@gmail.com

ABSTRAK

Cemaran merkuri (Hg) dalam limbah penambangan emas ilegal dapat dikurangi dengan cara menanam tanaman. Tujuan penelitian adalah menguji daya adaptasi tanaman mahoni (*Swietenia macrophylla*) pada media tumbuh *tailing* yang terkontaminasi merkuri. *Tailing* berasal dari industri pemurnian emas yang berlokasi di Desa Bunut Kecamatan Padang Cermin Provinsi Lampung. Penelitian ini dirancang dalam rancangan acak lengkap 5 perlakuan dan 4 ulangan menggunakan kombinasi perlakuan *top soil* : *tailing* dengan perbandingan 100%: 0%; 75% : 25%; 50% : 50%; 25% : 75%; dan 0% : 100%. Data diolah dengan analisis ragam pada taraf nyata 0,05 dengan uji lanjut beda nyata terkecil taraf nyata 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman mahoni memiliki kemampuan adaptasi pada media dengan konsentrasi *tailing* maksimal sebesar 75%. Semakin tinggi konsentrasi *tailing* pada media tanam akan cenderung menurunkan persentase hidup, pertambahan diameter, pertambahan jumlah daun, luas daun, pertambahan panjang akar, dan biomassa tanaman mahoni. Konsentrasi *tailing* yang lebih tinggi menghasilkan pertambahan tinggi tanaman yang lebih baik dibandingkan dengan konsentrasi *tailing* yang lebih rendah walaupun semua konsentrasi pemberian *tailing* pada media tanam menurunkan tinggi tanaman mahoni.

Kata kunci: Daya adaptasi, mahoni, merkuri, *tailing*

ABSTRACT

Contamination of mercury (Hg) in illegal gold mining waste could be reduced by the plant. The study aimed to examine the adaptability of mahogany (Swietenia macrophylla) seedling in the growing media of tailings contaminated by mercury. Tailings were taken from the gold refining industry located in Bunut Village, Padang Cermin Sub-district, Lampung Province. The study was designed in a completely randomized design for 5 treatments and 4 replications used combination of topsoil : tailings in a ratio of 100% : 0%; 75% : 25%; 50% : 50%; 25% : 75%; and 0% : 100%. Data were processed by analysis of variance at the 0,05 significance level followed by the Least Significant Difference test. The results showed that mahogany seedling had the adaptability to the media with a maximum tailings concentration of 75%. The higher concentrations of tailings tended to decrease the percentage of life, increment of diameter, increment of the number of leaves, leaf area, increment of root length, and biomass of mahogany. The higher concentrations of tailings resulted in a better plant height increment

compared to the lower concentrations, however all concentrations of tailings in the planting medium reduced the height of the mahogany seedling.

Keywords: *Adaptability, mahogany, mercury, tailing*

PENDAHULUAN

Penambangan emas ilegal atau penambangan emas tanpa izin (PETI) merupakan aktivitas perorangan maupun sekelompok orang/perusahaan untuk usaha pertambangan tanpa adanya izin dari instansi pemerintah pusat ataupun pemerintah daerah setempat. PETI merupakan salah satu ancaman yang serius bagi pencemaran lingkungan dalam kehidupan masyarakat. Hal ini dikarenakan limbah yang dihasilkan mengandung sejumlah bahan beracun dan berbahaya (B3). Salah satu limbah B3 dengan jenis logam berat yang dihasilkan oleh PETI adalah merkuri (Kalimantoro dan Trihadiningrum 2017; Munandar and Alamsyah 2016; Nurhadini and Silalahi 2017; Salatutin et al. 2015; Umboh 2017).

Cemaran limbah merkuri menyebabkan dampak yang kurang baik terhadap kondisi lingkungan sekitarnya (Gani et al. 2017; Ishak 2017; Mahavong et al. 2017; Ricardo 2016). Dampak tersebut berupa keracunan terutama pada anak-anak, menyebabkan kerusakan rambut, alergi pada kulit, merapuhkan gigi, hilangnya daya ingat, terganggunya sistem saraf, penurunan tingkat kecerdasan pada anak-anak bahkan kematian (Begani dan Begani 2017; Hananingtyas 2017). Buruknya dampak yang ditimbulkan akibat cemaran limbah merkuri perlu dilakukan cara untuk mengurangi konsentrasinya agar tidak membahayakan bagi lingkungan sekitarnya dan kesehatan manusia.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi cemaran limbah merkuri yaitu dengan cara fitoremediasi (Baroroh et al. 2018; Nainggolan et al. 2018; Rahmawati et al. 2016; Riswan et al. 2015). Fitoremediasi merupakan teknik mereduksi tanah atau perairan yang terkontaminasi limbah B3 menggunakan tanaman (Bokhari et al. 2016; Novita et al. 2019; Suharto et al. 2018). Cara penyerapan tanaman dalam proses fitoremediasi terdiri atas *phyto-accumulation, rhizoremediation, phytostabilization, phytotransformation, rhizodegradation, phytodegradation, phytovolatilization* (Irawanto 2010; Singh dan Singh 2017). Metode ini sangat inovatif, ekonomis, mudah dilakukan dan relatif lebih ramah terhadap lingkungan sekitarnya (Sidauruk dan Sipayung 2015).

Salah satu jenis tanaman yang berpotensi untuk digunakan dalam fitoremediasi adalah mahoni (*Swietenia macrophylla*) (Hindratmo et al. 2019; Indraningsih et al. 2016; Marrugo-Negrete et al. 2015; Purnomo et al. 2018; Rendra et al. 2018; Setyowati et al. 2018). Mahoni merupakan salah satu jenis tanaman yang memiliki kemampuan tumbuh dan bertahan hidup pada lahan bekas tambang sekitar 88% hingga 95% (Allo 2016). Mahoni juga mudah tumbuh dengan diameter batang dan biomassa yang besar, sehingga kemungkinan dalam menyerap limbah menjadi semakin besar.

Adaptasi merupakan kemampuan tanaman untuk bertahan hidup dengan menyesuaikan kondisi lingkungan sekitarnya. Kemampuan adaptasi tergantung pada jenis tanaman dan konsentrasi logam berat yang terkandung di dalam media tumbuhnya (Anania et al. 2017). Tanaman yang mampu hidup pada kondisi lingkungan tercemar limbah B3 dapat dikatakan bahwa tanaman tersebut bersifat adaptif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji tanaman mahoni terhadap kemampuan adaptasi pada media tumbuh *tailing* yang tercemar merkuri.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Rumah Kaca Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada bulan Januari–April 2019. Peralatan yang digunakan adalah *polybag* ukuran 10 cm x 20 cm, nampan, *caliper*, pita meter, timbangan digital, *leaf area meter* tipe LI-3100C, dan *mercury analyzer*. Objek penelitian berupa bibit mahoni umur 5 bulan. Percobaan dilakukan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) 5 perlakuan dan 4 ulangan. Pada setiap ulangan terdapat 5 tanaman sehingga jumlah satuan unit percobaan adalah 100 tanaman. Jumlah 5 tanaman dalam setiap ulangan bertujuan untuk memperkecil risiko data bias dan meningkatkan keakuratan data yang diperoleh. Perlakuan yang diberikan adalah perbandingan antara persentase tanah lapisan atas (*top soil*) dengan *tailing* (TS : T) yaitu: 100% : 0%, 75% : 25%, 50% : 50%, 25% : 75%, dan 0% : 100%.

Tailing didapatkan dari industri pengolahan emas yang berlokasi di Desa Bunut Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung. *Top soil* diperoleh dari Laboratorium Lapangan Terpadu Universitas Lampung karena lokasi ini dekat dengan tempat pengamatan (rumah kaca) dan jauh dari lokasi pertambangan serta terdapat banyak tanaman yang tumbuh, sehingga dapat menjadi indikasi bahwa lokasi ini memiliki tanah yang subur dan kecil kemungkinan untuk terkontaminasi logam berat. Penanaman semai mahoni dengan media *top soil* dan *tailing* menggunakan *polybag* yang berukuran 10 cm x 20 cm di Rumah Kaca Universitas Lampung. *Polybag* tersebut pada bagian bawahnya diberi nampan untuk menampung aliran air yang keluar pada lubang *polybag* pada saat penyiraman dan airnya dapat digunakan dalam penyiraman selanjutnya. Perawatan tanaman berupa penyiraman dan pembersihan gulma atau hama setiap satu hari sekali pada pagi hari. Kandungan merkuri pada *tailing* dianalisis dengan metode ASTM D 6414-14 dengan alat *Vapor Generation Accessory*. Variabel pengamatan yang digunakan untuk menguji daya adaptasi tanaman mahoni meliputi persentase hidup, penambahan diameter, penambahan tinggi, penambahan jumlah daun, luas daun pengukuran panjang akar, dan biomassa. Pada penambahan diameter batang, penambahan tinggi, panjang akar diukur pada awal penanaman dan akhir periode pengamatan. Pertambahan jumlah daun dihitung setiap satu bulan sekali. Persentase hidup, luas daun, dan biomassa dihitung pada akhir periode pengamatan.

Pengolahan data dilakukan dengan cara uji homogenitas untuk mengetahui variansi populasi. Jika X^2 hitung lebih kecil dari X^2 tabel, artinya sampel bersifat homogen, kemudian dilakukan analisis sidik ragam dengan taraf nyata 0,05 untuk mengetahui ada tidaknya perlakuan yang memberikan perbedaan nyata terhadap pertumbuhan bibit mahoni. Jika hasil perhitungan menunjukkan $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka dilakukan uji lanjut menggunakan Uji BNT (Beda Nilai Terkecil) dengan taraf nyata 5% untuk menentukan perbedaan antar rata-rata dua perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis kandungan merkuri pada *tailing*

Kandungan merkuri (Hg) yang tersimpan dalam *tailing* mencapai 14,00 ppm atau lebih tinggi dari ambang batas (0,01 ppm) berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Beracun dan Berbahaya yang. Faktor penyebab tingginya kandungan merkuri yang tersimpan dalam *tailing* dikarenakan tidak adanya kontrol dalam penggunaan merkuri saat proses amalgamasi. Kegiatan pengolahan emas dilakukan secara terus menerus dan limbahnya dibuang hanya pada satu titik lokasi. Hal ini mengakibatkan limbah hasil pengolahan menjadi semakin bertambah. Pemilik *tailing* dan masyarakat sekitar juga kurang peduli dengan adanya cemaran tersebut, terbukti dari keberadaan limbah yang dibiarkan

begitu saja tanpa upaya penanganan khusus untuk mengurangi dampak cemarannya. Kondisi limbah hasil pengolahan emas dari lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kondisi limbah hasil pengolahan emas.

Tingginya konsentrasi merkuri dalam *tailing* dapat menimbulkan efek yang tidak baik bagi keadaan lingkungan sekitarnya. Apabila kandungan merkuri yang tersimpan dalam *tailing* memiliki konsentrasi yang sama atau melebihi nilai ambang batas, maka *tailing* tersebut merupakan limbah bahan beracun dan berbahaya (B3). Limbah B3 bersifat racun bagi manusia dan lingkungan sekitarnya yang dapat menyebabkan kematian atau sakit serius jika masuk ke dalam tubuh melalui pernafasan, kulit atau mulut.

Analisis Ragam

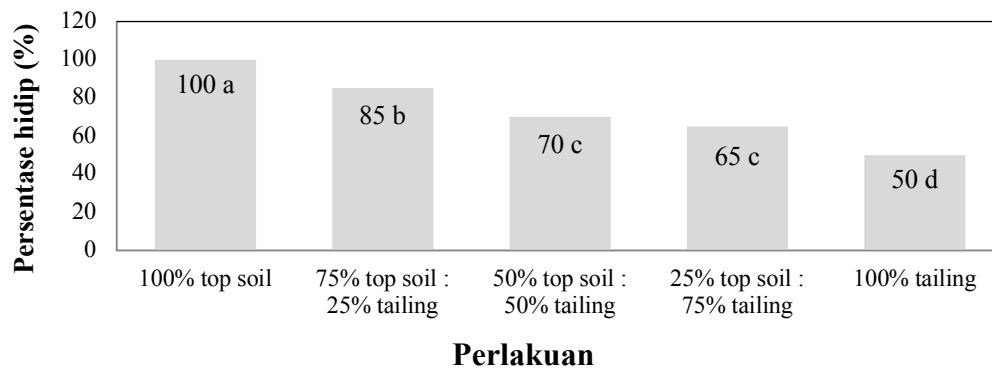
Hasil uji analisis ragam terhadap seluruh parameter pengamatan disajikan pada Tabel 2. Hasil uji analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan memberikan pengaruh nyata terhadap seluruh parameter yang diamati.

Tabel 2. Hasil analisis ragam.

Parameter	Perlakuan		
	F _{hitung} (0,05)	F _{tabel} (0,05)	Keterangan
Persen hidup	3,15*	3,06	Berbeda nyata
Pertambahan diameter	27,33*	3,06	Berbeda nyata
Pertambahan tinggi	4,77*	3,06	Berbeda nyata
Pertambahan jumlah daun	21,82*	3,06	Berbeda nyata
Pertambahan panjang akar	26,70*	3,06	Berbeda nyata
Luas daun	296,9*	3,06	Berbeda nyata
Biomassa	120,34*	3,06	Berbeda nyata

Persentase Hidup

Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase hidup mahoni paling rendah terdapat pada media 100% *tailing* yaitu sebesar 50%. Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia tentang Reklamasi dan Pasca Tambang pada Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara bahwa kriteria keberhasilan pasca tambang dibawah 60% dikatakan gagal. Hasil uji BNT terhadap persentase hidup tanaman mahoni dapat dilihat pada Gambar 2.

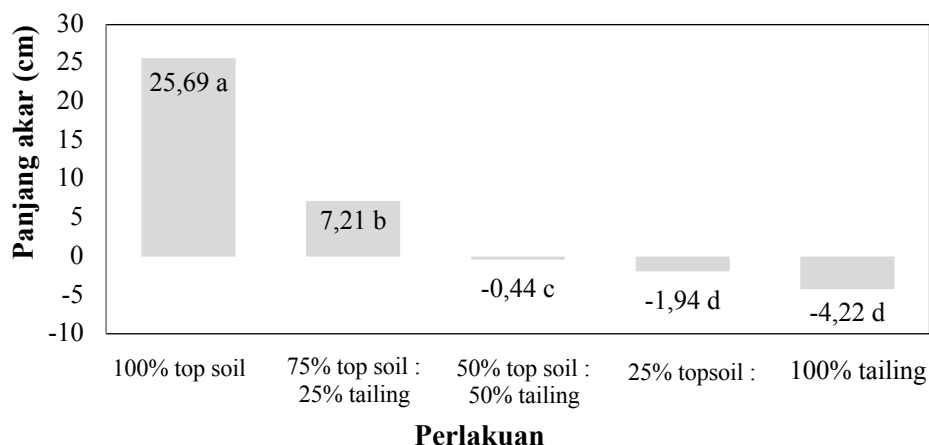


Gambar 2. Persentase hidup tanaman mahoni.

Semakin tinggi kadar *tailing* yang diberikan menyebabkan penurunan terhadap persentase hidup mahoni. Hal ini diduga karena merkuri bersifat racun bagi tanaman, sehingga pada saat meningkatnya kadar merkuri yang diberikan mengakibatkan tanaman menjadi semakin keracunan dan akhirnya mati. Besarnya jumlah *tailing* yang diberikan dapat merusak tanaman melalui proses penyumbatan, menghambat difusi oksigen ke dalam akar dan menyebabkan tanaman menjadi mati (Walhi 2006).

Pertambahan Panjang Akar

Hasil uji BNT terhadap pertambahan panjang akar mahoni dapat dilihat pada Gambar 3.



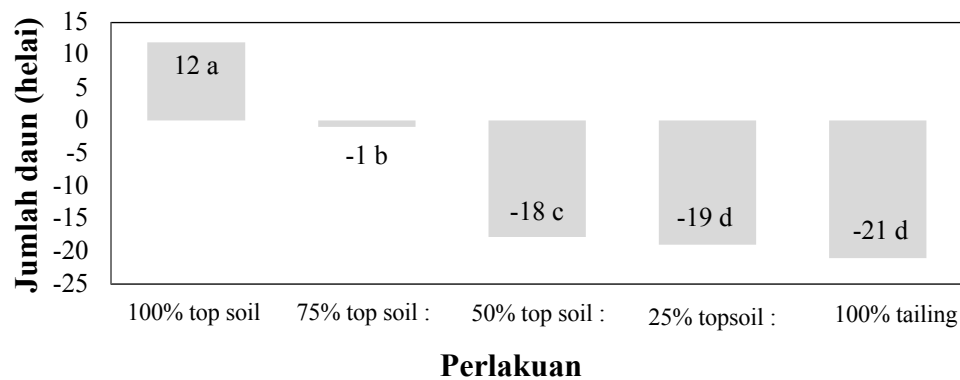
Gambar 3. Pertambahan panjang akar mahoni.

Panjang akar tanaman mahoni mengalami pengurangan seiring dengan meningkatnya kadar *tailing* yang diberikan. Pengurangan terjadi karena akar yang dipindahkan ke media *tailing* mengalami kematian, namun setelah terjadi kematian tumbuh cabang akar baru, oleh karena itu pengukuran panjang akar hidup menjadi berkurang dari pengukuran awal. Kematian pada akar diduga sebagai bentuk penyesuaian terhadap tempat tumbuh baru yang mengandung merkuri di dalamnya dan bersifat racun bagi tanaman. Hal ini sesuai dengan Siahaan et al. (2017) yang menyatakan bahwa adanya cekaman logam berat dapat merusak pertumbuhan dan perkembangan jaringan pada akar sehingga akar tidak mampu menyerap hara dan air secara optimal.

Pertambahan Jumlah Daun

Hasil uji BNT terhadap pertambahan jumlah daun mahoni dapat dilihat pada Gambar 4. Mahoni mengalami kerontokkan daun pada seluruh media yang tercampur dengan *tailing*. Semakin tinggi persentase *tailing* yang diberikan menyebabkan daun semakin cepat mengalami

kerontokkan. Kerontokkan pada daun diduga sebagai akibat keracunan terhadap merkuri dan untuk mengurangi penguapan karena akar tidak mampu menyuplai hara dan air secara optimal. Rupini et al. (2013) menyatakan bahwa bentuk keracunan akibat tingginya konsentrasi merkuri ditandai dengan warna kekuningan sepanjang tulang daun, kemudian muncul bercak coklat pada daun, kemudian daun layu hingga menggugurkan daunnya.

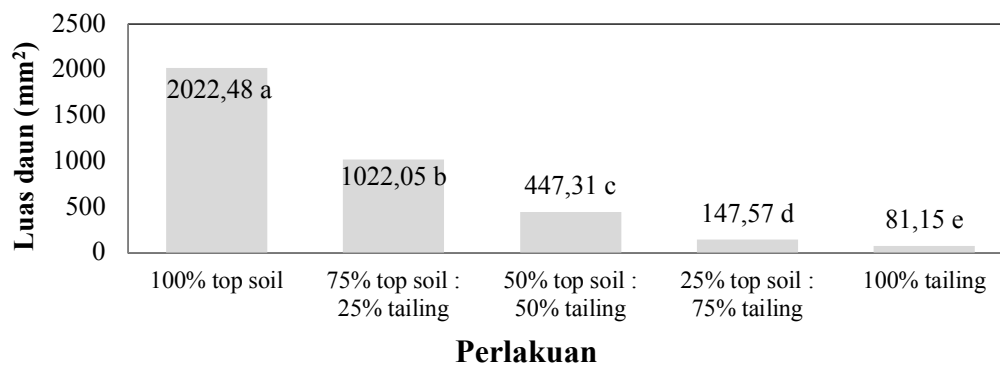


Gambar 4. Pertambahan jumlah daun mahoni.

Setelah terjadi kerontokkan, tanaman memunculkan tunas-tunas yang baru. Semakin tinggi persentase *tailing* yang diberikan menyebabkan penurunan terhadap laju pertumbuhan tunas. Hal ini diduga karena merkuri dalam *tailing* yang bersifat racun bagi tanaman mampu menghambat laju pertumbuhan tunas. Hidayati et al. (2016) melaporkan bahwa semakin tinggi konsentrasi cekaman merkuri pada media tanam mengakibatkan pertumbuhan tanaman menjadi semakin terhambat.

Luas Daun

Hasil uji BNT terhadap luas daun mahoni dapat dilihat pada Gambar 5.

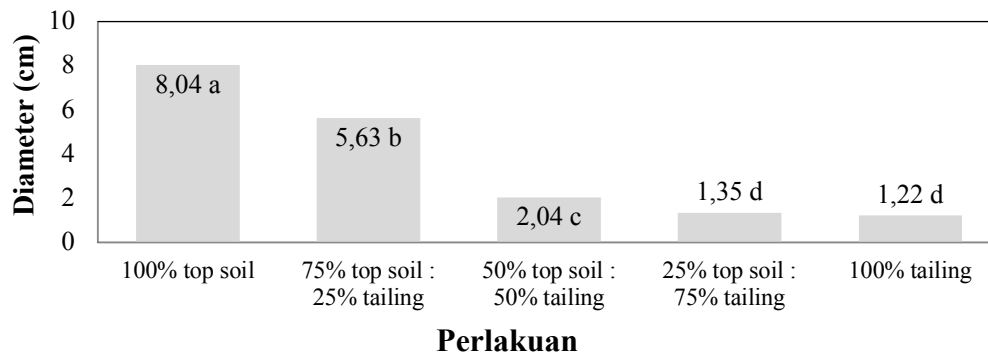


Gambar 5. Luas daun mahoni.

Pengukuran luas daun tanaman mahoni menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase *tailing* yang diberikan menyebabkan pertumbuhannya semakin rendah. Hasil ini sejalan dengan hasil pengukuran pertambahan jumlah daun. Rendahnya penambahan luas daun diartikan sebagai bentuk respon tanaman terhadap cekaman limbah merkuri yang terdapat pada media *tailing*. Hal ini sesuai dengan Ambardini et al. (2018) yang menyatakan bahwa mahoni mampu tumbuh pada media bekas tambang emas meskipun pertumbuhannya lebih lambat. Anggraini et al. (2016) menyatakan bahwa pertumbuhan tanaman yang melambat merupakan bentuk adaptasi untuk bertahan hidup.

Pertambahan Diameter

Hasil uji BNT terhadap pertambahan diameter mahoni disajikan pada Gambar 6.

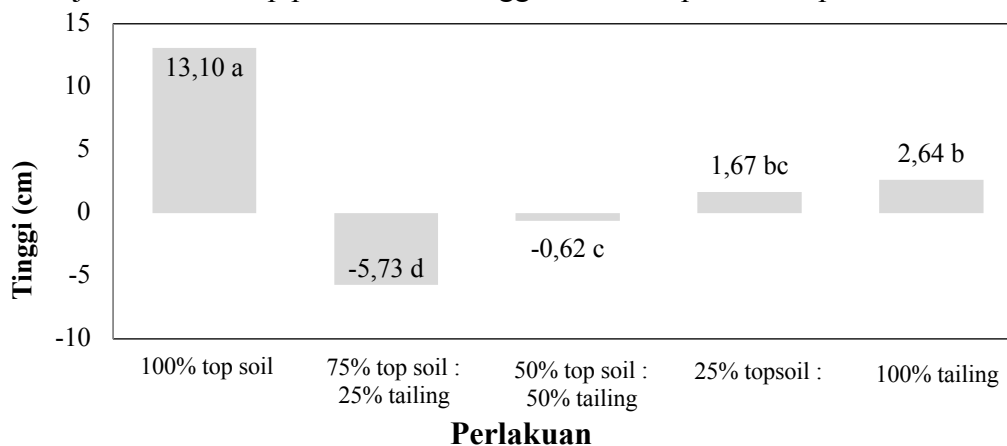


Gambar 6. Pertambahan diameter mahoni.

Pertambahan diameter mahoni menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase *tailing* yang diberikan maka pertambahannya menjadi semakin rendah. Hal ini diduga karena cekaman merkuri dalam *tailing* menyebabkan terjadinya penurunan jumlah daun yang berdampak terhadap laju fotosintesis. Proses fotosintesis menghasilkan zat makanan berupa glukosa yang berfungsi sebagai pembangun zat makanan lain dalam tubuh tumbuhan. Jika laju fotosintesis menurun maka zat makanan yang dihasilkan juga menurun, akibatnya pertumbuhan diameter tanaman menjadi lebih lambat. Hal ini sesuai dengan Kwong (2004) yang menyatakan bahwa penurunan laju fotosintesis menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi lebih lambat.

Pertambahan Tinggi

Hasil uji BNT terhadap pertambahan tinggi mahoni dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pertambahan tinggi tanaman mahoni.

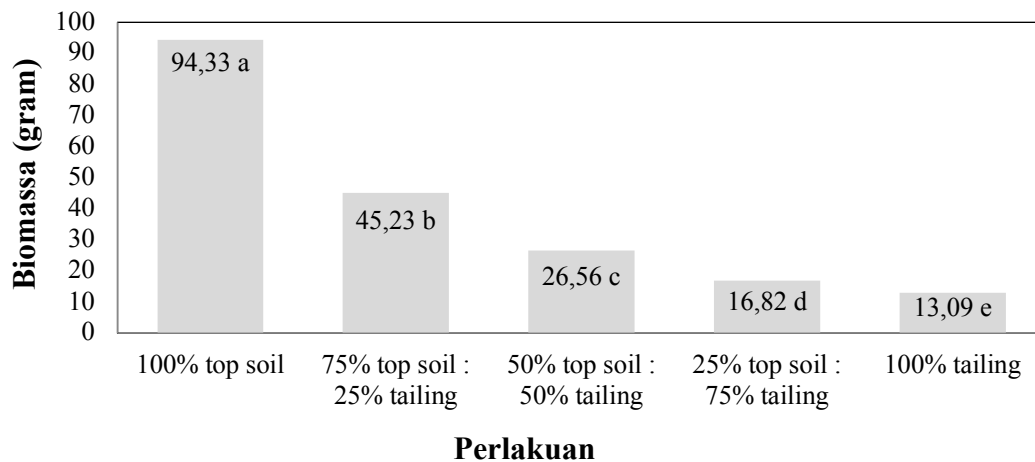
Kemunculan tunas mahoni terletak pada bagian apikal dan aksilar. Pada saat tunas apikal kering dan matimaka suplai auksin dari apikal terhenti sehingga kadar auksin dibawahnya menjadi berkurang yang menyebabkan kemunculan tunas aksilar. Hal ini menyebabkan pengukuran tinggi tanaman menjadi berkurang dari pengukuran awal. Keberadaan *tailing* yang mengandung merkuri diduga menjadi penyebab kematian pada pucuk apikal. Suproborini (2017) menyatakan bahwa kawasan yang tercemar merkuri mengakibatkan tanaman mengalami kerusakan jaringan tanaman dan mati.

Semakin tinggi persentase *tailing* yang diberikan menyebabkan pertumbuhan tunas apikal lebih banyak dibanding dengan pertumbuhan tunas aksilar. Hal ini diduga karena keberadaan merkuri dalam *tailing* mempengaruhi keseimbangan hormon pertumbuhan tanaman. Sebagian

besar pertumbuhan cabang aksilar muncul pada bagian nodus bagian bawah yang jauh dari ujung batang karena pengaruh dominansi apikal akan berkurang seiring dengan semakin jauhnya tunas aksilar. Keseimbangan konsentrasi hormon mempengaruhi dominansi apikal dan pembentukan cabang lateral (Hopkins dan Hüner 2008).

Biomassa

Hasil uji BNT terhadap biomassa tanaman mahoni dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Biomassa tanaman mahoni.

Semakin tinggi persentase *tailing* yang diberikan menyebabkan biomassa mahoni menjadi semakin rendah. Hasil pengukuran biomassa selaras dengan pengukuran persentase hidup, penambahan panjang akar, penambahan jumlah daun, dan penambahan diameter. Hal ini disebabkan oleh keberadaan *tailing* yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman menjadi lebih lambat. Semakin lambatnya pertumbuhan berdampak pada ukuran tanaman menjadi relatif kecil karena menyesuaikan dengan laju pertumbuhannya. Taiz dan Zeiger (2010) menyatakan bahwa gejala umum tanaman terhadap cekaman logam berat adalah terjadinya klorosis, defisiensi nutrisi, dan tanaman menjadi kerdil.

SIMPULAN

Tanaman mahoni mampu beradaptasi pada media dengan konsentrasi *tailing* maksimal 75%. Semakin tinggi jumlah *tailing* yang diberikan pada media tanam mahoni menyebabkan penurunan terhadap persentase hidup, penambahan diameter, penambahan jumlah daun, penambahan panjang akar, luas daun dan biomassa. Semakin tinggi konsentrasi *tailing* menghasilkan pertumbuhan tinggi tanaman yang lebih baik dibandingkan dengan konsentrasi *tailing* yang lebih rendah, namun semua konsentrasi pemberian *tailing* pada media tanam menurunkan tinggi tanaman mahoni.

SANWACANA

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Destia Novasari, Elsa Indryani, Ulfa Luthfiana, dan Widi Dian Fitri yang telah membantu penelitian ini hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- Allo, M. K. 2016. Kondisi Sifat Fisik dan Kimia Tanah pada Bekas Tambang Nikkel serta Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan Trengguli dan Mahoni. *Jurnal Hutan Tropis* 4(2): 207–217.
- Ambardini, S., Ningsih, R., and Kali, Y. R. 2018. Pertumbuhan dan Alokasi Biomassa Organ Tanaman Mahoni (*Swietenia mahagoni*) yang Ditanam pada Tanah Bekas Tambang Emas dengan Perlakuan Pupuk Kandang. *BIONATURE* 19(1): 8–14.
- Anania, A., Mukarlina, M., and Linda, R. 2017. Pertumbuhan dan Kandungan Pigmen Tanaman Keladi (*Caladium bicolor* Aiton Vent) pada Tanah yang Merkuri ($HgCl_2$). *Protobiont* 6(3): 215–221.
- Anggraini, N., Faridah, E., and Indrioko, S. 2016. Pengaruh Cekaman Kekeringan terhadap Perilaku Fisiologis dan Pertumbuhan Bibit Black Locust (*Robinia pseudoacacia*). *Jurnal Ilmu Kehutanan* 9(1): 40–56. DOI: 10.22146/jik.10183
- Baroroh, F., Handayanto, E., and Irawanto, R. 2018. Fitoremediasi Air Tercemar Tembaga (Cu) Menggunakan *Salvinia molesta* dan *Pistia stratiotes* serta Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan Tanaman *Brassica rapa*. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* 5(1): 689–700.
- Begani, R. K., and Begani, A. Z. 2017. Alluvial Gold Mining Sites as Exposure Pathways for Methyl Mercury Toxicity in Children: A Systematic Review. *Health* 9(6): 930–941. DOI: 10.4236/health.2017.96066
- Bokhari, S. H., Ahmad, I., Mahmood-Ul-Hassan, M., and Mohammad, A. 2016. Phytoremediation Potential of *Lemna minor* L. for Heavy Metals. *International Journal of Phytoremediation* 18(1): 25–32. DOI: 10.1080/15226514.2015.1058331
- Gani, P. R., Abidjulu, J., and Wuntu, A. D. 2017. Analisis Air Limbah Pertambangan Emas Tanpa Izin Desa Bakan Kecamatan Lolayan Kabupaten Bolaang Mongondow. *Jurnal Mipa Unsrat Online* 6(2): 6–11.
- Hananingtyas, I. 2017. Bahaya Kontaminasi Logam Berat Merkuri (Hg) dalam Ikan Laut dan Upaya Pencegahan Kontaminasi pada Manusia. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan* 2(2): 38–45. DOI: 10.29080/alard.v2i2.120
- Hidayati, N., Syarif, F., and Juhaeti, T. 2016. Pemanfaatan *Salvinia Molesta* D.S. Mitchell, Akumulator Merkuri di Sawah Tercemar Limbah Penambangan Emas. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 10(3): 249–256. DOI: 10.29122/jtl.v10i3.1470
- Hindratmo, B., Junaidi, E., Fauzi, R., Hidayat, M. Y., and Masitoh, S. 2019. Kemampuan 11 (Sebelas) Jenis Tanaman yang Dominan pada RTH (Ruang Terbuka Hijau) dalam Menjerap Logam Berat Timbel (Pb). *Ecolab* 13(1): 29–38. DOI: 10.20886/jklh.2019.13.1.29-38
- Hopkins, W. G., and Hüner, N. P. A. 2008. *Introduction to Plant Physiology*. John Wiley & Sons.
- Indraningsih, B., Utomo, W., and Handayanto, E. 2016. Effects of Mycorrhizae on Phytoremediation of Soil Contaminated with Small-Scale Gold Mine Tailings Containing Mercury. *International Journal of Research in Agricultural Sciences* 3: 104–109.
- Irawanto, R. 2010. Fitoremediasi Lingkungan dalam Taman Bali. *Local Wisdom-Jurnah Ilmiah Online* 2(4): 29–35.
- Ishak, N. I. 2017. Analisis Risiko Lingkungan Logam Berat Merkuri pada Sedimen Laut di Wilayah Pesisir Kota Makassar. *Promotif: Jurnal Kesehatan Masyarakat* 7(2): 88–92.
- Kalimantoro, T. T., and Trihadiningrum, Y. 2017. Stabilisasi/Solidifikasi Tailing Tambang Emas Rakyat Kulon Progo Menggunakan Semen Portland dan Tanah Tras. *Jurnal Teknik ITS* 5(2): 248–254. DOI: 10.12962/j23373539.v5i2.17099
- Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia. 1999. *Peraturan Pemerintah*

- No. 18 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. 65. Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia. 2010. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 78 Tahun 2010 tentang Reklamasi dan Pascatambang*. 20.
- Kwong, N. K. 2004. *The Effects of Potassium on Growth, Development, Yield and Quality of Sugarcane*.
- Lu, X., Li, L. Y., Wang, L., Lei, K., Huang, J., and Zhai, Y. 2009. Contamination assessment of mercury and arsenic in roadway dust from Baoji, China. *Atmospheric Environment* 43(15): 2489–2496. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2009.01.048
- Mahavong, K., Pataranawat, P., and Chinwetkitvanich, S. 2017. Mercury Contamination in Environment Surrounding Coal-Fired Power Plant. *International Journal of Geomate* 12(33): 71–77.
- Marrugo-Negrete, J., Durango-Hernández, J., Pinedo-Hernández, J., Olivero-Verbel, J., and Díez, S. 2015. Phytoremediation of Mercury-Contaminated Soils by *Jatropha curcas*. *Chemosphere* 127: 58–63. DOI: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2014.12.073
- Munandar, M., and Alamsyah, A. 2016. Kajian Kandungan Logam Berat Merkuri (Hg) pada Kerang Air Tawar (*Anodonta Sp*) di Kawasan Hilir Sub Das Krueng Meureubo, Aceh Barat. *Jurnal Perikanan Tropis* 3(1): 11–19.
- Nainggolan, R., Pratama, A. L., Lopang, I., and Kusumawati, E. 2018. Pengolahan Air Limbah Domestik dengan menggunakan Tanah Gambut dan Tanaman Air. *Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer* 7(26): 183–189.
- Novita, E., Hermawan, A. A. G., and Wahyuningsih, S. 2019. Komparasi Proses Fitoremediasi Limbah Cair Pembuatan Tempe menggunakan Tiga Jenis Tanaman Air. *Jurnal Agroteknologi* 13(1): 16–24.
- Nurhadini, N., and Silalahi, I. H. 2017. Adsorption of Hg(II) By Using *Sargassum crassifolium* With Presence of Pb(II), Cu(II), and Fe(II). *Indo. J. Chem. Res.* 5(1): 419–423. DOI: 10.30598//ijcr.2017.5-nur
- Purnomo, D. W., Fijridiyanto, I. A., and Witono, J. R. 2018. Penilaian Variabel Vegetasi pada Lahan Reklamasi Bekas Tambang Emas di Ratatotok, Minahasa Tenggara. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea* 7(2): 93–108.
- Rahmawati, A., Zaman, B., and Purwono, P. 2016. Kemampuan Tanaman Kiambang (*Salvinia Molesta*) dalam Menyisihkan Bod dan Fosfat pada Limbah Domestik (Grey Water) dengan Sistem Fitoremediasi secara Kontinyu. *Jurnal Teknik Lingkungan* 5(4): 1–10.
- Rendra, T., Duryat, and Bintoro, A. 2018. Analisis Vegetasi di Blok Inti Hutan Lindung Register 21 Kesatuan Pengelolaan Hutan XI Kabupaten Pesawaran. *Jurnal Biologi Eksperimen dan Keanekaragaman Hayati* 5(1): 57–66.
- Ricardo, A. 2016. Pelaksanaan Pengendalian Kerusakan Lingkungan sebagai Akibat Pertambangan Emas Ilegal di Sungai Menyuke Kabupaten Landak, Kalimantan Barat. *Jurnal Pertanahan, Pembangunan dan Lingkungan Hidup* 147–172.
- Riswan, Harun, U., and Irsan, C. 2015. Keragaman Flora di Lahan Reklamasi Pasca Tambang Batubara PT. BA Sumatera Selatan. *Jurnal Manusia dan Lingkungan* 22(2): 160–168.
- Rupini, Wahdina, Suryantini, R., and Ekyastuti, W. 2013. Toleransi Simpur Air (*Dillenia Suffruticosa*) terhadap Berbagai Konsentrasi HgCl₂ di Media Tailing. *Jurnal Hutan Lestari* 1(2): 79–82.
- Salatutin, F. M., Batawi, C. Y., Lessil, C. Y., and Male, Y. T. 2015. Analisis Sebaran Merkuri (Hg) pada Area Irigasi Sungai Waeapo, Kab. Buru, Provinsi Maluku Akibat Penambangan Emas Tanpa Ijin di Areal Gunung Botak. *Indonesian Journal of Chemical Research* 3(1): 270–276.
- Setyowati, R. D. N., Amala, N. A., and Aini, N. N. U. 2018. Studi Pemilihan Tanaman Revegetasi untuk Keberhasilan Reklamasi Lahan Bekas Tambang. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan* 3(1): 14–20. DOI: 10.29080/alard.v3i1.256

- Siahaan, B. C., Utami, S. R., and Handayanto, E. 2017. Fitoremediasi Tanah Tercemar Merkuri menggunakan *Lindernia Crustacea*, *Digitaria Radicosaa*, dan *Cyperus Rotundus* serta Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* 1(2): 35–51.
- Sidauruk, L., and Sipayung, P. 2015. Fitoremediasi Lahan Tercemar di Kawasan Industri Medan dengan Tanaman Hias. *Jurnal Pertanian Tropik* 2(2): 178–186.
- Singh, T., and Singh, D. K. 2017. Phytoremediation of Organochlorine Pesticides: Concept, Method, and Recent Developments. *Journal of Phytoremediation* 19(9): 834–843.
- Suharto, B., Wirosoedarmo, R., and Sulanda, R. H. 2018. Pengolahan Limbah Batik Tulis dengan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*). *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan* 3(1): 14–19.
- Suproborini, A. 2017. Dampak Penambangan Emas Rakyat terhadap Kandungan Hg Tanah, Air, Tanaman, Struktur dan Komposisi Vegetasi di Dusun Mesu Desa Boto Kecamatan Jatiroto Kabupaten Wonogiri. Universitas Sebelas Maret.
- Taiz, L. T., and Zeiger, E. 2010. *Plant Physiology, Fifth Edition*. Sinauer Associates, Inc.
- Umboh, E. 2017. Strategi Batna (Best Alternative to a Negotiated Agreement) dalam Mengatasi Konflik Manajemen Lingkungan di Pertambangan. *Jurnal Green Growth dan Manajemen Lingkungan* 6(2): 1–15.
- Wahana Lingkungan Hidup Indonesia (WALHI). 2006. *Dampak Lingkungan Hidup Operasi Pertambangan Tembaga dan emas Feeport-Rio Tinto di Papua*. Jakarta.