



Research Articles

Evaluasi Penyerapan Kadar Logam Pada Daun Tanaman Wetland Pasca Pengolahan Limbah Cair Tenun

Evaluation Of Metal Level Absorption in Wetland Plants After Liquid Waste Woven Treatment

M. Gegas Imamuna Al Hidayat*, Joni aldilla Fajri, Dewi Wulandari

Program Studi Megisiter Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia, Jln. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584

*corresponding author email: 23927004@students.uui.ac.id

Manuscript received: 09-01-2024. Accepted: 26-06-2024

ABSTRAK

Pencemaran air dapat disebabkan oleh peningkatan jumlah industri salah satunya industri tekstil. Salah satu upaya untuk mengurangi pencemaran air oleh logam berat dengan memanfaatkan penyerapan oleh tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi polutan logam Cr, Cu, Cd, dan Pb yang diakumulasikan oleh tanaman *Vetiveria zizanioides*. Metode pengujian pada penelitian ini dengan destruksi basah menggunakan larutan asam nitrat (HNO_3) selanjutnya di analisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Berdasarkan hasil penelitian, rata-rata konsentrasi penyerapan logam tembaga (Cu), kromium (Cr), Timbal (Pb), dan kadmium (Cd) pasca pengolahan menggunakan sistem FTW dengan bantuan bakteri dalam pengolahan kadar pada logam tertinggi Pb 0,0007 (mg/Kg berat kering) dan untuk Cu sebesar 0,0001 (mg/Kg berat kering) dan logam Cd sebesar 0,00002 (mg/Kg berat kering) yang terakhir Cr sebesar 0,000001 (mg/Kg berat kering). Dan untuk pengolahan menggunakan sistem FTW tanpa bantuan bakteri dalam pengolahan, rata-rata konsentrasi penyerapan logam Cu, Cr, Pb, dan Cd, kadar logam tertinggi pada Cu 0,0001 (mg/Kg berat kering) dan Pb 0,0003 (mg/Kg berat kering) untuk Cr dan Cd tidak terdeteksi. Penyerapan logam Cu, Cr, Pb, dan Cd tidak mempengaruhi pertumbuhan tanaman.

Kata kunci : *Vetiveria zizanioides*; Tembaga(Cu);Timbal(Pb); Kromium(Cr); Kadmium(Cd)

ABSTRACT

Water pollution can be caused by an increase in the number of industries, one of which is the textile industry. One effort to reduce water pollution by heavy metals is by utilizing absorption by plants. This research aims to determine the concentration of metal pollutants Cr, Cu, Cd, and Pb accumulated by *Vetiveria zizanioides* plants. The test method in this research was wet digestion using a nitric acid solution (HNO_3) which was then analyzed using an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Based on research results, the average metal absorption concentration of copper (Cu), chromium (Cr), Lead (Pb), and cadmium (Cd) after processing using the FTW system with the help of bacteria in processing the highest metal content is Pb 0.0007 (mg /Kg dry weight) and for Cu it is 0.0001 (mg/Kg dry weight) and Cd metal is 0.00002 (mg/Kg dry weight) and finally Cr is 0.000001 (mg/Kg dry weight).

weight). And for processing using the FTW system without the help of bacteria in processing, the average metal absorption concentration of Cu, Cr, Pb, and Cd, the highest metal content at Cu 0.0001 (mg/Kg dry weight) and Pb 0.0003 (mg/ Kg dry weight) for Cr and Cd were not detected. The absorption of Cu, Cr, Pb, and Cd metals did not affect plant growth.

Keywords: *Vetiveria zizanioides*; Copper(Cu); Lead(Pb); Chromium(Cr); Cadmium(Cd)

PENDAHULUAN

Industri tekstil telah memberikan kontribusi yang sangat besar dalam perkembangan ekonomi negara-negara berkembang. Namun, air limbah yang dihasilkan selama proses produksi kain menjadi salah satu pencemar air dan tanah yang sangat merugikan. Air limbah ini mengandung berbagai bahan kimia seperti logam berat, pigmen, garam, deterjen, zat warna, senyawa sulfur, minyak, dan lemak, serta lain-lain (Hussain et al., 2018). Logam berat dapat menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan apabila terakumulasi secara berlebihan dalam tubuh manusia. Dampak yang mungkin timbul meliputi sifat karsinogen yang dapat memicu perkembangan kanker. Limbah logam berat dari industri tekstil terutama berasal dari proses pewarnaan. Beberapa jenis logam berat yang dihasilkan antara lain adalah arsenik (As), kadmium (Cd), kromium (Cr), timbal (Pb), tembaga (Cu), dan seng (Zn) (Kurniasih, 2008).

Dampak buruk logam berat tergantung pada bagian tubuh yang terpapar. Sifat racun yang dimilikinya dapat menghambat kerja enzim, mengakibatkan gangguan pada metabolisme tubuh (Munir, 2018). Penelitian yang dilakukan oleh Nuha *et al.* (2016) terkait toksisitas letal akut limbah cair dari tenun Troso terhadap ikan mas menunjukkan nilai LC50-96 jam sebesar 2,3%, yang berdampak pada peningkatan jumlah mortalitas ikan mas. Selain itu, uji karakteristik limbah cair tenun Troso menunjukkan bahwa parameter TSS, BOD, COD, dan fenol melebihi nilai ambang batas yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, perlu adanya alternatif pengolahan untuk mengatasi permasalahan air limbah tersebut.

Metode yang dapat digunakan untuk mengolah limbah cair secara biologis adalah dengan menggunakan sistem floating treatment wetland yang diinokulasi dengan bakteri endofit, seperti yang telah diteliti oleh Tara *et al.* (2018). Limbah tekstil, yang mengandung berbagai senyawa beracun, dapat menghambat perkembangbiakan mikroba dan pertumbuhan tanaman, sehingga mempengaruhi efisiensi pengolahan. Untuk mengatasi hal tersebut, dapat diterapkan penggunaan bakteri pendegradasi kontaminan pada tanaman melalui sistem wetland. Salah satu tanaman yang dapat digunakan dalam sistem wetland adalah vetiver. *Vetiveria zizanioides* merupakan salah satu spesies *Vetiveria zizanioides* yang sangat penting dan dominan, baik dari segi ekonomi maupun untuk konservasi lingkungan (Ambarawati, 2018). Tanaman ini memiliki kemampuan menyerap berbagai kandungan logam seperti Fe, Pb, Cu, dan Zn, seperti yang dijelaskan oleh Nurtana (2018).

METODE PENELITIAN

Metode, Bahan dan Alat Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode sistematis untuk menganalisis kemampuan rumput *Vetiveria zizanioides* dalam menghilangkan Pb, Cr, Cu, dan Cd dari air limbah industri. Pada penelitian ini, sistem pengolahan yang digunakan adalah *Floating Treatment Wetland* (FTW) dalam skala rumah kaca Laboratorium Kualitas Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Islam Indonesia dengan menggunakan sampel daun tanaman *Vetiveria*

zizanioides. Metode FTW ini memanfaatkan keranjang sebagai wadah, dan media FTW diaplikasikan sebagai kontrol pembanding untuk menguji konsentrasi logam berat. FTW dibuat menggunakan polybag dengan ukuran 25 x 25 cm, dan setiap tabung berisi 5-7 batang tanaman. Media yang digunakan dalam polybag terdiri dari serabut kelapa, kerikil, pasir, dan tanah (Nailis, 2020).

Pelaksanaan Penelitian

*Aklimatisasi Tanaman *Vetivera zizanioides**

Proses aklimatisasi tanaman dilakukan selama 1-2 bulan di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Tahapannya melibatkan aklimatisasi dalam bak reaktor yang berisi media tanaman, campuran air, dan pupuk cair sebelum penelitian dilakukan. Sampel tanaman *Vetivera zizanioides* mengalami aklimatisasi selama periode tersebut. Langkah-langkah aklimatisasi melibatkan persiapan tanaman, dimana 5 hingga 7 batang tanaman *Vetivera Zizanioides* dimasukkan ke dalam polybag yang berisi serabut kelapa, kerikil 1cm, pasir 1,5cm, dan tanah 1,5-2cm. Tahap kedua melibatkan penempatan botol plastik di atas toples kaca yang berisi campuran 500mL air dan pupuk cair. Proses aklimatisasi selanjutnya berlangsung selama 1-2 bulan (Nailis, 2020). Tujuan dari aklimatisasi adalah memastikan bahwa sampel tanaman *Vetivera zizanioides* dapat beradaptasi dengan media dan lingkungan, sehingga dapat menghilangkan kandungan atau senyawa lain yang ada pada daun tanaman tersebut. Dalam proses aklimatisasi ini, umur tanaman yang ditanam pada sistem FTW tidak menjadi fokus perhatian.

Running Reaktor

Tahap selanjutnya melibatkan reaktor yang diinokulasi dengan kombinasi bakteri. Tujuan dari langkah ini adalah untuk menilai apakah bakteri tersebut membantu dalam penyerapan kandungan logam oleh tanaman pada air limbah tenun. Proses running reaktor berlangsung selama 5-6 bulan, dan reaktor yang digunakan adalah box plastik jenis semi batch dengan ukuran panjang 46cm, lebar 31cm, dan tinggi 21 cm. Terdapat dua reaktor yang digunakan, yaitu R1 (tanaman dengan bakteri endofit) dengan total 67 tanaman, terdiri dari 14 rumpun, setiap rumpun terdiri dari 6- 7 tanaman. Rata-rata tinggi tanaman R1 adalah 102cm, dan debitnya mencapai 38,84 mL/s. Sementara itu, R2 (tanaman tanpa bakteri endofit) menggunakan total 78 tanaman atau 16 rumpun tanaman, dengan rata-rata tinggi tanaman sekitar 95cm dan debit 26 mL/s (Nailis, 2020).

*Pemanenan Tanaman *Vetivera zizanioides**

Pertama, tanaman dibersihkan dari kerikil, tanah, dan serabut kelapa yang masih melekat di akar tanaman *Vetivera zizanioides*. Langkah berikutnya melibatkan penimbangan tanaman setelah pembersihan. Selanjutnya, tanaman dikeringkan di bawah sinar matahari selama 3 hari, hingga tanaman tersebut mengering tanpa mengandung air. Proses selanjutnya melibatkan pemanasan tanaman dalam oven selama 3 hari dengan suhu 70°C. Langkah ini bertujuan untuk mengurangi kadar air yang mungkin masih tersisa setelah proses pengeringan pertama. Setelah itu, sampel tanaman ditimbang lagi untuk mengetahui berat keringnya.

Preparasi Sampel

Persiapan dalam penelitian ini melibatkan penyediaan media tanam berupa daun tanaman *Vetivera zizanioides* yang telah terkontaminasi dengan logam berat, termasuk (Cu, Cd, Cr, Pb), yang dikombinasikan dengan bakteri pasca pengolahan limbah cair tenun. Setelah akar tanaman *Vetivera zizanioides* dioksidasi dalam oven, daun tanaman tersebut kemudian dipotong menjadi bagian kecil dengan ukuran 2-3 cm dan berat sekitar ± 10 gram. Selanjutnya, tanaman dimasukkan ke dalam *furnace* dengan suhu mencapai 600°C , proses ini dilakukan hingga sampel tersebut berubah menjadi *ash* (abu).

Destruksi Logam Daun Tanaman *Vetivera zizanioides*

Setelah sampel daun tanaman *Vetivera zizanioides* dikeringkan sekitar $\pm 0,3$ gram, tahap pertama destruksi dilakukan dengan menambahkan aquades sebanyak 30mL dan asam nitrat (HNO_3) sebanyak 10mL. Kemudian, sampel dipanaskan dalam lemari asam pada suhu 150°C . Setelah dipanaskan, sisa sampel yang tersisa sebanyak 25mL, ditambahkan lagi dengan asam nitrat (HNO_3) sebanyak 5mL, dan dipanaskan kembali hingga keluarnya uap putih. Proses ini membuat sisa sampel berkurang menjadi 25mL. Selanjutnya, larutan sampel didiamkan hingga dingin, kemudian disaring menggunakan kertas Whatman No. 42 atau No. 1. Setelah disaring, diambil 10mL sampel dan dilakukan pengenceran sebanyak 25mL.

Analisis Logam Berat

Analisis kadar logam berat seperti Cd, Cr, Cu, dan Pb dilakukan menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). AAS merupakan alat yang umumnya digunakan untuk analisis kuantitatif logam berat dalam sampel lingkungan (Morais *et al.*, 2012). Pemilihan metode ini didasarkan pada sensitivitas, efisiensi, dan keekonomisan yang dimiliki oleh AAS. AAS adalah instrumen yang mampu menentukan kadar suatu unsur dalam senyawa berdasarkan serapan atomnya, khususnya digunakan untuk menganalisis senyawa anorganik atau logam (golongan alkali tanah dan unsur transisi). Penting untuk dicatat bahwa sampel yang diukur harus berada dalam bentuk larutan jernis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

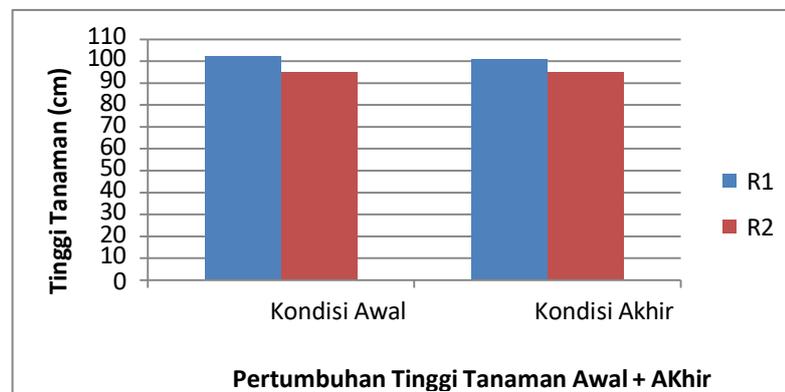
Pertumbuhan Tanaman *Vetivera zizanioides*

Data hasil pertumbuhan sebelum dan setelah proses pengolahan disajikan. R1 memiliki 14 rumpun dengan total 67 tanaman, sementara R2 adalah reaktor yang hanya terdiri dari tanaman tanpa bakteri untuk mengolah limbah, dengan total tanaman 78 dan 16 rumpun. *Vetivera zizanioides* informasi tentang pertumbuhan pada R1 dan R2 dapat ditemukan pada Gambar 1.

Pada Gambar 1, terlihat grafik pertumbuhan tanaman. Dari 10 sampel yang diuji pada setiap reaktor R1 dan R2, pertumbuhan tanaman *Vetiveria zizanioides* di R1 menunjukkan bahwa pada kondisi awal, tinggi rata-rata tanaman adalah 98cm, sementara tinggi rata-rata pada akhir pertumbuhan mencapai 97cm. Pada R2, tinggi rata-rata tanaman pada awalnya adalah 95cm, dan tinggi rata-rata pada akhir pertumbuhan mencapai 96,5cm. Rata-rata pertumbuhan pada R2 tidak menunjukkan

penambahan tinggi tanaman, sementara pada R1, kondisi akhir pertumbuhan mengalami penurunan. Kemungkinan penyebabnya adalah kurangnya nutrisi yang dibutuhkan

oleh tanaman *Vetiveria zizanioides* atau pertumbuhan tanaman yang telah mencapai tinggi maksimal.



Gambar 1 Grafik Pertumbuhan Tanaman

Keterangan :

- R1 : Tanaman dengan bakteri
R2 : Tanaman tanpa bakteri

Dilaporkan bahwa tanaman *Vetiveria zizanioides* dapat tumbuh 0,5m hingga 1,5m dengan karakteristik batang yang kaku, memiliki rumpun besar yang meluas dari akar hingga batang, serta bercabang banyak (Erskine, 1992; Truong, 1999). Dalam penelitian Romi (2017), tinggi tanaman *Vetiveria zizanioides* berkisar antara 22,7cm hingga 44,75cm dari 13 sampel tanaman. Ketika tanaman tumbuh dengan baik, diperlukan penyerapan nutrisi yang lebih besar. Nutrisi dalam air limbah, yang berasal dari dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme alami, akan diserap oleh tanaman *Vetiveria zizanioides* dan berperan sebagai sumber pembentukan jaringan baru (Romi, 2017).

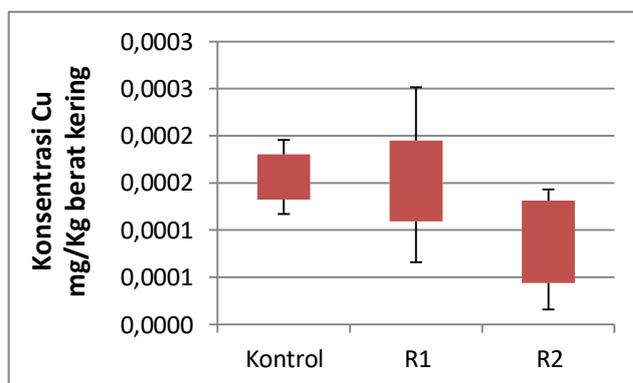
Kebutuhan nutrisi yang terpenuhi dari penguraian bahan organik dalam air kemudian digunakan oleh organisme autotrofik seperti tumbuhan air dan fitoplankton (Effendi *et al.*, 2015). Penggunaan tanaman *Vetiveria zizanioides* dalam pengolahan limbah dengan sistem terapung menunjukkan pertumbuhan normal di sungai yang telah tercemar limbah selama 4 minggu (Chunrong *et al.*, 1998). Dalam remediasi logam menggunakan tanaman, tanaman harus memiliki kemampuan menyerap logam berat yang tinggi dan mampu mengalirkannya ke seluruh jaringan tanaman, termasuk akar, batang, dan daun. Tanaman *Vetiveria zizanioides* merupakan salah satu jenis tanaman yang memiliki sifat hiperakumulasi dan mampu menyerap polutan dalam jumlah besar (Hamzah, 2019).

Kadar Logam Tembaga (Cu)

Data hasil pengujian Cu pada daun tanaman *Vetiveria zizanioides* dapat dilihat pada Gambar 2.

Pada Gambar 2, terlihat hasil konsentrasi pengujian logam Cu. Konsentrasi untuk tanaman kontrol, khususnya sampel tanaman A, adalah sebesar 0,0001 mg/Kg berat kering, sedangkan pada sampel tanaman B mencapai 0,0001 mg/Kg berat kering. Konsentrasi yang diperoleh pada sampel R1 (Tanaman dengan bakteri) memiliki rata-rata sebesar 0,0001 mg/Kg berat kering. Pada sampel dengan kode R1, konsentrasi Cu terendah terdapat pada kode sampel

R1-8, yakni sebesar 0,00003 mg/Kg berat kering, sementara konsentrasi tertinggi terdapat pada kode sampel R1-2, mencapai 0,0002 mg/Kg berat kering.



Gambar 2 Grafik konsentrasi logam Cu

Keterangan :

- Kontrol-1 : Tanaman Kontrol
- R1 : Tanaman dengan bakteri
- R2 : Tanaman tanpa bakteri

Rata-rata konsentrasi yang diperoleh pada sampel R2 (tanaman tanpa bakteri) adalah sebesar 0,0001 mg/Kg berat kering. Untuk sampel dengan kode R2, konsentrasi Cu terendah terdapat pada kode sampel R2-9, yaitu sebesar 0,00001 mg/Kg berat kering, sedangkan yang tertinggi terdapat pada kode sampel R2-1, R2-2, R2-3, R2-4, dan R2-10, yakni 0,0001 mg/Kg berat kering. Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi yang ditemukan lebih rendah daripada yang dilaporkan oleh Wilde *et al.* (2005), di mana tanaman *Vetivera zizanioides* dapat bertahan pada konsentrasi Cu di tanah yang terkontaminasi hingga 1762 mg Cu/Kg. Tanaman *Vetivera zizanioides* juga dapat tumbuh dan bertahan pada tanah yang terkontaminasi oleh limbah Cu dengan konsentrasi 1084 mg/Kg (Chiu *et al.*, 2006). Penelitian Castillo *et al.* (2007) di tambang Anglo di Amerika mencatat bahwa tanaman *Vetivera zizanioides* dapat tumbuh dengan konsentrasi tembaga sebanyak 2600 mg/Kg.

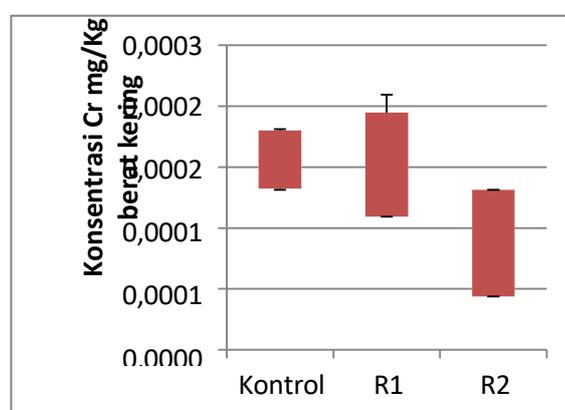
Akumulasi logam berat oleh tanaman melibatkan beberapa tahapan, dimulai dari penyerapan oleh akar, kemudian dipindahkan dari akar menuju jaringan tanaman, dan selanjutnya ditempatkan pada jaringan tertentu. Hal ini bertujuan untuk menjaga agar proses metabolisme tidak terhambat (Ghosh dan Singh, 2005). Tanaman *Vetivera zizanioides* memiliki kemampuan toleransi tinggi terhadap konsentrasi logam berat, seperti Cd, Cu, Cr, As, Pb, Hg, Ni, Se, dan Zn (Truong 2002; Chomchalow 2003; Danh *et al.* 2009; Shu 2003; Truong *et al.* 2010; Vargas *et al.* 2016). Logam Cu akan dipisahkan dari proses seluler dengan cara mengikatnya dengan sulfur organik (Eapen

Cu lebih banyak terjadi pada akar sejumlah 58,7 mg/Kg, sementara pada pucuk tanaman *Vetivera zizanioides* terdapat 3,7 mg/Kg. Pada tanaman *Vetivera zizanioides* yang sudah dikeringkan, akumulasi Cu pada akar dan daun mencapai 820,6 mg/Kg dan 39,3 mg/Kg (Wilde *et al.*, 2007).

Adanya akumulasi logam pada daun *Vetivera zizanioides* menandakan adanya proses fitoremediasi, yaitu fitoekstraksi (Rismawati, 2012). Perbedaan konsentrasi logam pada daun *Vetivera zizanioides* disebabkan oleh berbagai faktor, seperti muatan ion, konsentrasi, serta keberadaan atau tidak adanya transporter dalam sel (Manara, 2012; Szöllôsi *et al.*, 2011). Cu bagi tumbuhan merupakan mikronutrien yang diperlukan oleh tanaman dan memiliki transporter khusus, sehingga mudah diserap oleh tanaman. Penyerapan Cu oleh tanaman dilakukan secara simplas dan apoplas, yang kemudian banyak ditemukan akumulasi Cu pada jaringan pengangkut dan silinder tengah. Mikroba dalam tanah juga berperan dalam membantu proses pengakumulasi logam pada tanaman (Merian, 1994).

Kadar Logam Kromium (Cr)

Data hasil pengujian kadar Cr pada daun tanaman *Vetivera zizanioides* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Grafik konsentrasi logam Cr

Keterangan :

- Kontrol-1 : Tanaman Kontrol
- R1 : Tanaman dengan bakteri
- R2 : Tanaman tanpa bakteri

Pada Gambar 3, terlihat hasil konsentrasi pengujian logam Cr. Konsentrasi kromium (Cr) pada tanaman kontrol, khususnya pada sampel tanaman A, adalah sebesar 0,00001 mg/Kg berat kering, sedangkan pada sampel tanaman B mencapai 0,00001 mg/Kg berat kering. Konsentrasi yang ditemukan pada sampel R1 hanya terdeteksi pada kode sampel R1-4, sebesar 0,00001 mg/Kg berat kering, dan pada kode sampel lainnya tidak terdeteksi logam Cr. Konsentrasi untuk sampel R1 memiliki rata-rata sebesar 0,000001 mg/Kg berat kering.

Pada semua kode sampel R2, tidak terdeteksi adanya konsentrasi Cr. Hasil dari instrumen menunjukkan bahwa konsentrasi Cr dalam daun *Vetivera zizanioides* lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Truong (1999b), di mana konsentrasi Cr yang ditemukan mencapai 600 mg/Kg. Penelitian ini membuktikan bahwa tanaman *Vetivera zizanioides* dapat bertahan di tanah yang terkontaminasi dengan konsentrasi tinggi. Dalam studi yang dilakukan oleh Hoang *et al.* (2007), tanaman *Vetivera zizanioides* dapat bertahan pada konsentrasi Cr sebanyak 2290 mg/Kg. Akumulasi Cr pada akar tanaman *Vetivera zizanioides* mengandung 50 mg/Kg, 200 mg/Kg, dan 600 mg/Kg, sedangkan

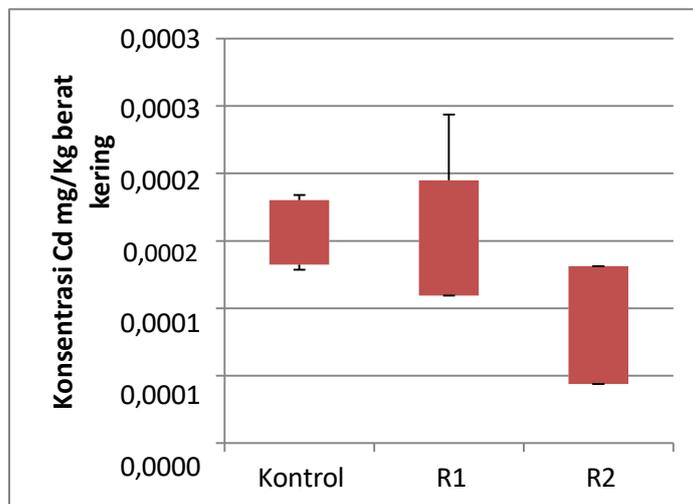
kandungan Cr pada daun sangat berbeda, yaitu 4 mg/Kg, 5 mg/Kg, dan 18 mg/Kg (Truong, 1999).

Perbedaan konsentrasi logam berat pada daun dan akar disebabkan oleh kemampuan akar dalam menyerap dan mengakumulasi logam. Pada bagian daun, akumulasi logam cenderung lebih sedikit karena mobilitas zat yang diperlukan (Laoli dan Djoko, 2021). Berdasarkan penelitian oleh Irhamni, Pandia, Purba, & Hasan (2018), logam berat yang diserap oleh akar dari tanah kemudian disalurkan ke bagian tunas melalui xilem. Faktor translokasi dari akar menjadi faktor utama dalam perbedaan konsentrasi, sementara faktor lainnya adalah penyerapan logam yang berasal dari stomata pada daun. Daun yang memiliki fungsi penyerap CO₂ dapat mengakumulasi logam berat (Darmono, 1995).

Hal tersebut membuktikan bahwa kemampuan akar dalam menyerap Cr lebih unggul dibandingkan dengan kemampuan daun dalam menyerap Cr. Cr merupakan unsur non esensial dan toksik, hal ini mengakibatkan tidak adanya mekanisme dalam menyerap Cr dalam sel tanaman dan proses penyerapan logam Cr melalui pembawa yang digunakan sebagai penyerapan unsur penting dalam proses metabolisme (Hawley, 2009). Terdapatnya kandungan Cr dalam daun dan batang membuktikan bahwa proses penyebaran logam dapat terjadi melalui xilem dan tekanan akar (Shanker, 2005).

Kadar Logam Kadmium (Cd)

Berikut penurunan kadar Cd pada daun tanaman *Vetivera zizanioides* dapat dilihat pada Gambar 4 berikut :



Gambar 4 Grafik Konsentrasi logam Cd

Keterangan :

- Kontrol-1 : Tanaman Kontrol
- R1 : Tanaman dengan bakteri
- R2 : Tanaman tanpa bakteri

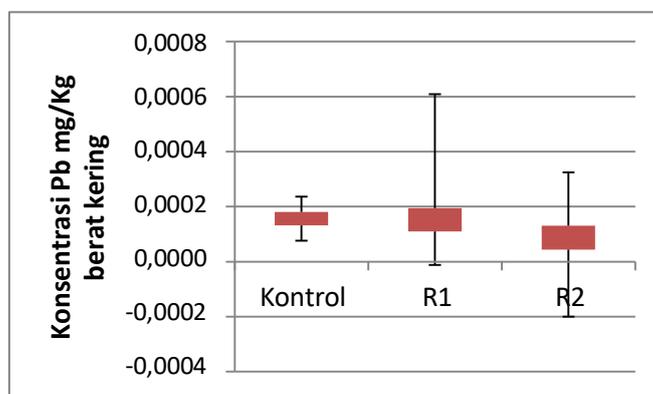
Pada Gambar 4, dapat dilihat hasil konsentrasi logam Cd pada daun *Vetivera zizanioides*. Konsentrasi Cd pada tanaman kontrol, khususnya pada sampel tanaman A, adalah sebesar 0,00002 mg/Kg berat kering, sedangkan pada sampel tanaman B mencapai 0,00003

mg/Kg berat kering. Konsentrasi yang ditemukan pada sampel R1, konsentrasi terendah terdapat pada kode sampel R1-4, yaitu 0,00001 mg/Kg berat kering, sedangkan untuk konsentrasi tertinggi terdapat pada sampel dengan kode R1- 1, sebesar 0,00007 mg/Kg berat kering. Konsentrasi untuk sampel R1 memiliki rata- rata sebesar 0,00002 mg/Kg berat kering. Konsentrasi yang ditemukan pada semua kode sampel R2 tidak terdeteksi adanya konsentrasi Cd. Tanaman memerlukan kandungan Cd untuk pertumbuhan sebesar 1,5 mg/Kg (Baker dan Eldershaw, 2003).

Akumulasi logam yang terjadi pada daun *Vetivera zizanioides* menandakan adanya proses fitoremediasi, atau yang biasa disebut fitoekstraksi (Rismawati, 2012). Perbedaan konsentrasi logam pada daun *Vetivera zizanioides* disebabkan oleh berbagai faktor, seperti muatan ion, konsentrasi, dan keberadaan transporter dalam sel (Manara, 2012; Szôllôsi et al., 2011). Tanaman *Vetivera zizanioides* dapat menerima konsentrasi Cd yang tinggi di tanah, mencapai hingga 60 mg/Kg (Truong, 1999). Tanaman *Vetivera zizanioides* mampu bertahan hidup pada limbah dengan kandungan Cd sebesar 32 mg/Kg (Yang *et al.*, 2003). Akumulasi Cd pada tanaman vetiver, baik pada bagian akar maupun pucuk, dapat meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi Cd di tanah dan lamanya paparan (Vo, 2007). Penelitian yang serupa dilakukan oleh Luu et al. (2009), yang menunjukkan bahwa tanaman *Vetivera zizanioides*, dalam waktu paparan selama 70 hari, memiliki kandungan Cd pada akar dan pucuk antara 0,1417 hingga 0,2252 mg/Kg dan 0,1114 hingga 0,1522 mg/Kg. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kandungan kadmium dalam tanah sebesar 10-40 mg/Kg.

Kadar Logam Timbal (Pb)

Berikut penurunan kadar Pb pada daun tanaman *Vetivera zizanioides* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Grafik Konsentrasi logam Pb

Keterangan :

- Kontrol-1 : Tanaman Kontrol
- R1 : Tanaman dengan bakteri
- R2 : Tanaman tanpa bakteri

Pada Gambar 5, terlihat hasil konsentrasi Pb pada daun *Vetivera zizanioides*. Konsentrasi Pb pada tanaman kontrol, khususnya pada sampel tanaman A, adalah sebesar 0,0002 mg/Kg berat kering, sedangkan pada sampel tanaman B mencapai 0,0005 mg/Kg berat kering. Konsentrasi untuk sampel R1 memiliki rata-rata sebesar 0,0007 mg/Kg berat kering. Pada sampel dengan kode R1, konsentrasi timbal (Pb) terendah terdapat pada kode sampel R1-3 dan R1-4, masing-masing sebesar 0,0003 mg/Kg berat kering, sedangkan kandungan Pb

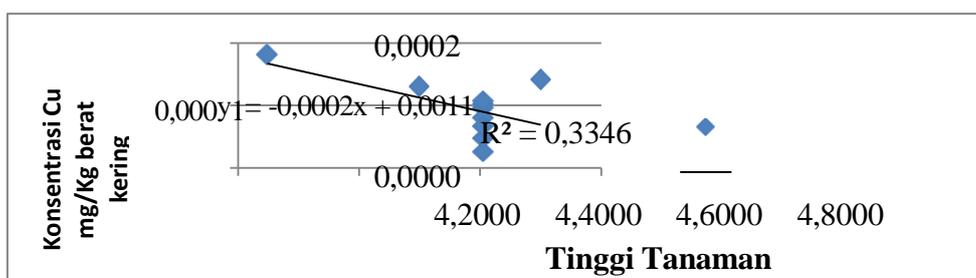
tertinggi terdapat pada kode sampel R1-1, R1-6, R1-7, R1-8, R1-9, R1-10, yaitu 0,001 mg/Kg berat kering. Konsentrasi untuk sampel R2 memiliki rata-rata sebesar 0,0003 mg/Kg berat kering. Pada sampel dengan kode R2, konsentrasi Pb terendah terdapat pada kode sampel R2-4, sebesar 0,0002 mg/Kg berat kering, dan kandungan Pb tertinggi terdapat pada kode sampel R2-3, yaitu 0,0006 mg/Kg berat kering, sementara untuk kode sampel R2-5 dan R2-7 tidak terdeteksi logam timbal oleh instrumen pengujian.

Kemampuan tanaman *Vetivera zizanioides* dalam menerima timbal sangat tinggi, terbukti dengan peluang hidup tanaman *Vetivera zizanioides* mencapai 100%, serta pertumbuhan yang baik pada tanah dengan konsentrasi Pb tinggi, mencapai 10,750 mg/Kg dan di tanah pertambangan yang terkontaminasi timbal sebesar 9,020 mg/Kg (Rotkittikhun *et al.*, 2007). Dalam studi Chen, Shen, dan Li (2004), tanaman *Vetivera zizanioides* menunjukkan pertumbuhan yang baik pada tanah dengan konsentrasi Pb sebesar 5,000 mg/Kg. Hasil serupa juga diperoleh ketika tanaman *Vetivera zizanioides* dibudidayakan pada tanah yang terkontaminasi logam Pb sebesar 3,281,6 mg/Kg (Wilde *et al.*, 2005).

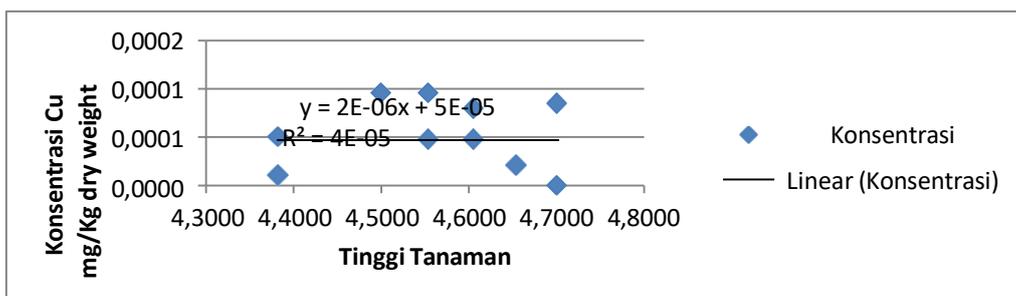
Perbedaan konsentrasi logam pada daun *Vetivera zizanioides* disebabkan oleh berbagai macam faktor, seperti muatan ion, konsentrasi, serta keberadaan atau tidak adanya transporter dalam sel (Manara, 2012; Szöllösi *et al.*, 2011). Jenis logam juga dapat mempengaruhi kemampuan tanaman dalam proses lokalisasi. Kapasitas tanaman untuk melokalisasi logam akan mencerminkan kemampuan tanaman dalam mentoleransi logam berat dan detoksifikasi. Jika proses translokasi logam dari akar ke jaringan tanaman terhambat, tanaman akan lebih mudah melakukan proses detoksifikasi (Indrasti *et al.*, 2006).

Kolerasi Penyerapan Logam Tembaga (Cu) Dengan Pertumbuhan

Berikut kolerasi penyerapan logam Cu dengan pertumbuhan tanaman *Vetivera zizanioides* dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6 Grafik kolerasi panjang tanaman dengan konsentrasi Cu R1



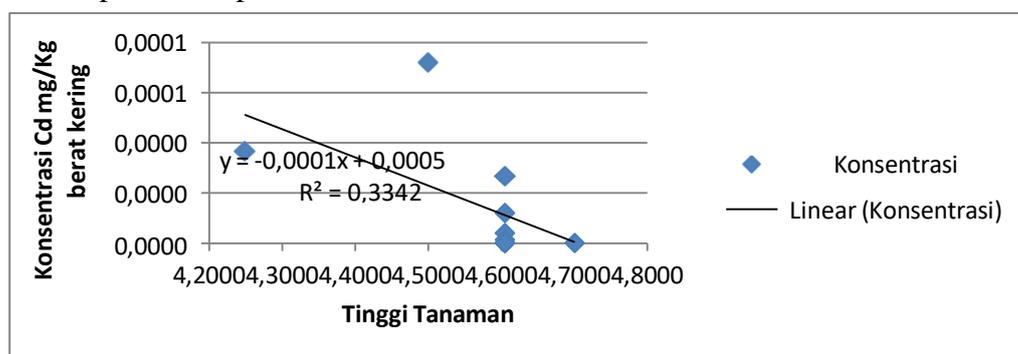
Gambar 7 Grafik kolerasi panjang tanaman dengan konsentrasi Cu R2

Pada Gambar 6 dan 7, dapat dilihat hasil korelasi antara konsentrasi Cu dengan pertumbuhan tanaman. Konsentrasi pada kode sampel R1-8 dengan tinggi tanaman 66 cm memiliki konsentrasi Cu sebesar 0,00003 mg/Kg berat kering, sedangkan untuk kode sampel R1-2 dengan tinggi tanaman 73,77 cm memiliki konsentrasi Cu sebesar 0,0002 mg/Kg berat kering. Kode sampel R2 menunjukkan variasi tinggi tanaman mulai dari 45,1 cm hingga 87,7 cm. Pada kode sampel R2-9, dengan panjang sampel 87,7 cm, memiliki konsentrasi logam terendah, yaitu 0,00001 mg/Kg berat kering. Hal ini menunjukkan bahwa tinggi tanaman tidak terlalu mempengaruhi kemampuan dalam menghilangkan Cu. Sejalan dengan pendapat Yang *et al.* (2003), di mana akumulasi Cu pada akar dan pucuk tanaman *Vetivera zizanioides* mengandung Cu 58,7 mg/Kg dan 3,7 mg/Kg. Tanaman *Vetivera zizanioides* yang telah dikeringkan memiliki akumulasi Cu pada akar dan daun sebesar 820,6 mg/Kg dan 39,3 mg/Kg (Wilde *et al.*, 2007).

Tanaman *Vetivera zizanioides* yang dibudidayakan pada tambang Anglo American El Salado setelah 4 bulan memiliki konsentrasi Cu 69 mg/Kg pada daun dan 371 mg/Kg di akar. Setelah tanaman *Vetivera zizanioides* berumur 10 bulan, konsentrasi pada daun mencapai 65 mg/Kg, dan pada akar mencapai 953 mg/Kg. Hal ini menandakan bahwa tanaman yang lebih tua menyimpan Cu lebih banyak (Castillo *et al.*, 2007). Oleh karena itu, laju serapan Cu lebih tinggi daripada laju fiksasi Cu di akar, dan sejumlah besar Cu lolos dari fiksasi di akar dan tersedia di daun (Truong, 1999). Penyerapan Cu di daun tanaman *Vetivera zizanioides* dapat ditingkatkan dengan mengaplikasikan agen tambahan seperti CDTA, EDTA, EGTA, asam sitrat, asam malik, HEDTA, HEIDA, NTA, dan DPTA. Tentu pengaruh tiap agen tambahan berbeda (Lou *et al.*, 2007; Chiu *et al.*, 2005). HEIDA merupakan zat aditif yang sangat efektif, memberikan kelarutan Cu 2,5 hingga 34 kali lebih tinggi dibandingkan dengan zat penambah lainnya, terutama bila diterapkan pada larutan 20 nmol/Kg (Luu *et al.*, 2009). HEIDA memiliki efek tertinggi pada peningkatan kandungan Cu pada daun tanaman *Vetivera zizanioides* (Lou *et al.*, 2007).

Kolerasi Penyerapan Logam Kadmium (Cd) Dengan Pertumbuhan

Berikut kolerasi penyerapan logam Cd dengan pertumbuhan tanaman *Vetiveria zizanioides* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Grafik kolerasi panjang tanaman dengan konsentrasi Cd R1

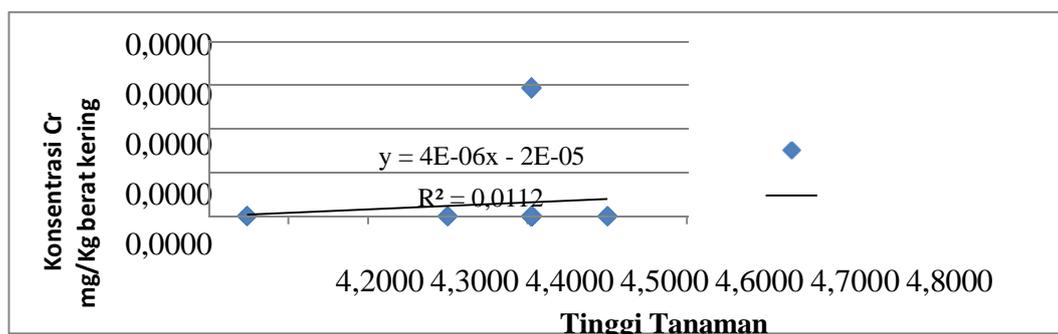
Pada Gambar 8, dapat dilihat hasil korelasi antara konsentrasi Cd dengan pertumbuhan tanaman. Kandungan Cd pada kode sampel R1 menunjukkan konsentrasi terendah pada kode sampel R1-6, yaitu 0,000001 mg/Kg berat kering, dengan tinggi tanaman 69,82 cm. Sementara

itu, konsentrasi tertinggi terdapat pada sampel dengan kode R1-1, sebesar 0,0001 mg/Kg berat kering, dengan tinggi 81,08 cm. Untuk konsentrasi Cd pada semua sampel R2, tidak terdeteksi konsentrasi logam kadmium. Hal ini menunjukkan bahwa tinggi tanaman tidak terlalu mempengaruhi kemampuan dalam menghilangkan logam Cd. Akumulasi kadmium pada tanaman *Vetivera zizanioides* pada bagian akar dan pucuk dapat meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi kadmium di tanah dan waktu pemaparan (Vo, 2007).

Pada tumbuhan *Vetivera zizanioides*, kandungan logam Cd lebih tinggi di akar daripada di daun. Tanaman *Vetivera zizanioides* yang tumbuh di tanah yang terkontaminasi Cd 0,58 mg/Kg - 1,66 mg/Kg memiliki akumulasi Cd pada akar sebesar 7,77 mg/Kg - 14,2 mg/Kg, sedangkan di daun jumlahnya sangat sedikit, yaitu 0,13 mg/Kg - 0,58 mg/Kg (Truong, 1999b). Selain itu, Cd tidak terdeteksi pada daun tanaman *Vetivera zizanioides* yang ditanam pada tanah tailing tambang yang telah terkontaminasi 32 mg/Kg, sementara akar memiliki konsentrasi Cd sebesar 4,98 mg/Kg setelah masa pertumbuhan 20 minggu (Yang *et al.*, 2003). Pengaplikasian EDTA tidak efektif untuk meningkatkan konsentrasi Cd yang terakumulasi di akar dan daun (Zhuang *et al.*, 2005; Lai dan Chen, 2004). Penggunaan EDTA tidak mampu meningkatkan akumulasi Cd (McGrath *et al.*, 2006) dan tidak memperbaiki serapan Cd di akar dan daun (Zhuang *et al.*, 2005).

Kolerasi Penyerapan Logam Kromium (Cr) Dengan Pertumbuhan

Berikut kolerasi penyerapan logam Cr dengan pertumbuhan tanaman *Vetivera zizanioides* dapat dilihat pada Gambar 9 berikut :

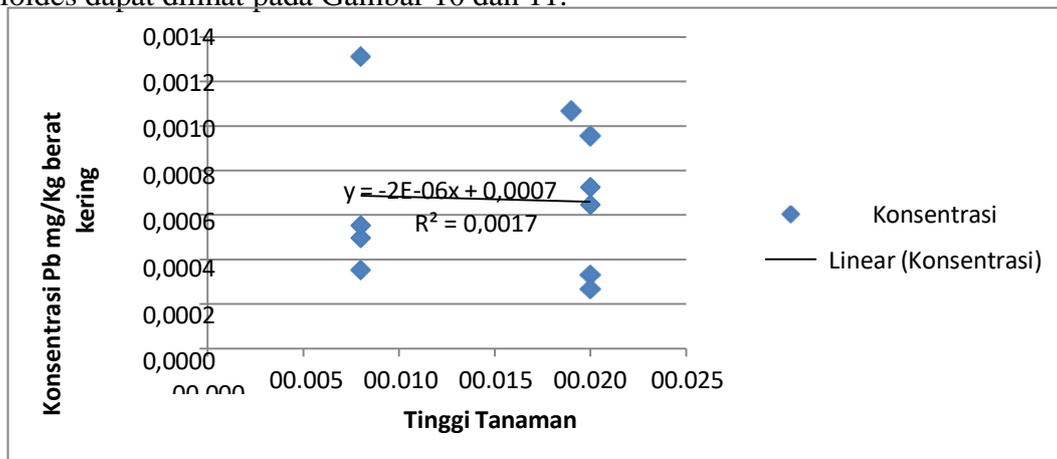


Gambar 9 Grafik kolerasi panjang tanaman dengan konsentrasi Cr R1

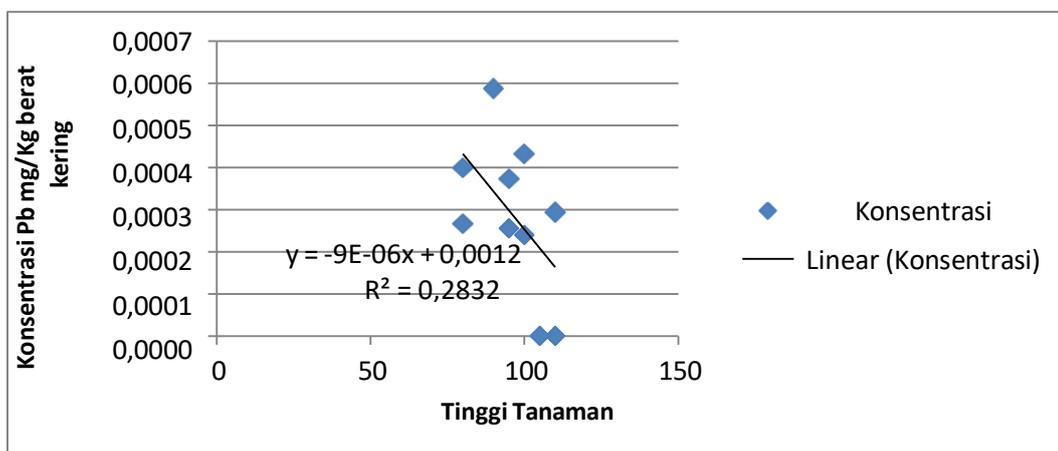
Pada Gambar 9, dapat dilihat hasil korelasi antara konsentrasi Cr dengan pertumbuhan tanaman. Untuk konsentrasi Cr, hanya ditemukan pada kode sampel R1-4 sebesar 0,00001 mg/Kg berat kering dengan tinggi 78,38 cm, sementara pada kode sampel lainnya tidak terdeteksi Cr. Untuk semua kode sampel R2, konsentrasi Cr tidak terdeteksi. Hal ini menunjukkan bahwa tinggi tanaman tidak terlalu mempengaruhi kemampuan dalam menghilangkan logam Cr. Konsentrasi Cr di akar tanaman *Vetivera zizanioides* mengalami peningkatan tiga kali lipat selama 30 hari, dan penyerapan Cr di daun kontan dari waktu ke waktu (Antiochia *et al.*, 2007).

Kolerasi Penyerapan Logam timbal (Pb) Dengan Pertumbuhan

Berikut kolerasi penyerapan logam Pb dengan pertumbuhan tanaman *Vetivera zizanioides* dapat dilihat pada Gambar 10 dan 11.



Gambar 10 Grafik kolerasi panjang tanaman dengan konsentrasi Pb R1



Gambar 11 Grafik kolerasi panjang tanaman dengan konsentrasi Pb R2

Pada Gambar 10 dan 11, dapat dilihat hasil korelasi antara konsentrasi Pb dengan pertumbuhan tanaman. Konsentrasi Pb terendah pada kode sampel R1-4 sebesar 0,0003 mg/Kg berat kering dengan tinggi 78,38 cm, sementara kandungan logam berat Pb tertinggi pada kode sampel R1-9 adalah 0,0013 mg/Kg berat kering dengan tinggi 72,2 cm. Konsentrasi Pb terendah pada kode sampel R2-4 sebesar 0,0002 mg/Kg berat kering dengan tinggi masing-masing 81,2 cm, sedangkan kandungan logam berat Pb tertinggi pada kode sampel R2-3 adalah 0,0006 mg/Kg berat kering dengan tinggi 53,48 cm. Hal ini menunjukkan bahwa tinggi tanaman tidak terlalu mempengaruhi kemampuan dalam menghilangkan logam Pb. Konsentrasi Pb pada daun dan akar tanaman *Vetivera zizanioides* meningkat secara signifikan dengan peningkatan konsentrasi timbal di dalam tanah (Rotkittikhun *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2004; Wong *et al.*, 2007). Sebagian besar Pb yang diserap oleh tanaman *Vetivera zizanioides* terakumulasi di akar, dan umumnya hanya sebagian kecil Pb yang disalurkan ke daun (Luu *et al.*, 2009). Ketika timbal (Pb) memasuki akar tanaman, Pb akan segera terpapar ke larutan di ruang antar sel yang memiliki konsentrasi fosfat tinggi, pH relatif tinggi, dan konsentrasi karbonat-bikarbonat tinggi (Brennan dan Shelley, 1999).

Pembentukan senyawa Pb yang tidak larut mengurangi penyebaran timbal (Pb) pada tanaman (Cunningham dan Berti, 2000). Konsentrasi Pb yang terfiksasi di akar jauh lebih tinggi dibandingkan dengan Pb yang terdapat di daun (Luu et al., 2009). Sebagian besar akumulasi Pb di akar membuat tanaman *Vetivera zizanioides* berguna untuk fitobilisasi, yaitu proses pemanfaatan tanaman untuk imobilisasi kontaminan tanah in situ. Peningkatan penyebaran Pb dari akar dapat ditingkatkan dengan penambahan agen. Penambahan agen meningkatkan akumulasi di bagian atas tanaman (Wu et al., 1999; Ebss dan Kochian, 1998; Blaylock et al., 1997; Huang et al., 1997; Huang dan Cunningham, 1996). Penambahan agen yang terbukti efisien, seperti EDTA, dapat memobilisasi Pb dari berbagai tanah (Shen et al., 2002; Wenzel et al., 2002; Huang et al., 1997). Penyebaran Pb dari akar ke tunas sedikit meningkat dengan penerapan EDTA (Chen et al., 2004). Namun, penggunaan EDTA yang dapat larut ke dalam air tanah menyebabkan pencemaran lingkungan lebih lanjut di daerah sekitarnya (Römken et al., 2002; Barona, Aranguiz, dan Elias, 2001; Kedziorek et al., 1998). Untuk mencegah penyebaran Pb ke dalam tanah, beberapa aspek harus dipertimbangkan dalam merancang program fitoremediasi, seperti lokasi penambahan agen, konsentrasi agen penambah, waktu dan lokasi pengaplikasian agen penambah, serta sistem akar (Chen et al., 2004)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, tanaman *Vetivera zizanioides*, baik yang ditanam dengan atau tanpa bakteri maupun yang menggunakan sistem Floating Treatment Wetland (FTW), efektif dalam mengurangi konsentrasi logam berat seperti Cr, Cd, Cu, dan Pb. Rata-rata penyerapan logam Cu, Cr, Pb, dan Cd pasca pengolahan dengan sistem FTW tertinggi pada R1, dengan nilai logam timbal (Pb) mencapai 0,0007 mg/Kg berat kering, logam tembaga (Cu) sebesar 0,0001 mg/Kg berat kering, logam kadmium (Cd) sebesar 0,00002 mg/Kg berat kering, dan logam kromium sebesar 0,000001 mg/Kg berat kering. Meskipun pertumbuhan tanaman *Vetivera zizanioides* tidak mengalami peningkatan yang signifikan sebelum dan setelah pengolahan, tinggi tanaman tetap sama. Proses transmigrasi logam dari akar ke batang atau daun pada tanaman *Vetivera zizanioides* melibatkan beberapa mekanisme, seperti difikasi asam pada rhizosfer, sekresi ligand oleh rhizosfer yang terhubung dengan mikroorganisme, absorpsi, dan pengangkutan logam ke pucuk tanaman, distribusi, detoksifikasi, dan pemisahan ion logam sejauh mungkin dari proses seluler. Walaupun korelasi antara panjang daun tanaman *Vetivera zizanioides* dengan konsentrasi logam berat menunjukkan dampak yang terbatas, peningkatan removal logam berat di daun dapat dicapai dengan penambahan agen tambahan seperti CDTA, EDTA, EGTA, asam sitrat, asam malik, HEDTA, HEIDA, NTA, dan DPTA.

DAFTAR PUSTAKA

- A. K. Shanker, C. Cervantes, H. Loza-Tavera, S. Avudainayagam. 2005., Chromium Toxicity in Plants, Environ. Int.
- Ambarawati, Yuli., Syaiful Bahri. 2018. Review: Fitoremediasi Limbah Logam Berat dengan Tumbuhan Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides* L) Analit: *Analytical and Environmental Chemistry*.
- Antiochia, R., Campanella, L., Ghezzi, P., and Movassaghi, K. 2007. *The use of Vetiveria zizanioides for remediation of heavy metal soil contamination. Anal. Biochem.*
- Baker, D.E. and Eldershaw, V.J. 1993. *Interpreting soil analyses for agricultural land use in Queensland*. Project Report Series Q093014, QDPI, Brisbane, Australia.

- Blaylock, M.J., Salt, D.E., Dushenkov, S., Zakharova, O., Gussman, C., Kapulnik, Y., Ensley, B.D., and Raskin, I. 1997. *Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soilapplied chelating agents*. Environ. Sci. Technol.
- Brennan, M.A. and Shelley, M.L. 1999. *A model of the uptake, translocation, and accumulation of lead (Pb) by maize for the purpose of phytoextraction*. Ecol. Eng.
- Barona, A., Aranguiz, I., and Elias, A. 2001. *Metal associations in soils before and after EDTA extractive decontamination: implications for the effectiveness of further cleanup procedures*. Environ. Pollut.
- Cunningham, S.D. and Berti, W.R. 2000. *Phytoextraction and phytostabilization: technical, economic and regulatory considerations of the soil-lead issue*. In: *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*, pp 359-376 (Terry, N., Banuelos, G.S., Eds.). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Castillo, M., Fonseca, R., and Candia, J.R. 2007. *Report on the pilot study on the use of Vetiveria zizanioides grass for Cu mine tailings phytostabilisation at Anglo American El Solado mine, Chile*. Fundacion Chile, (report in Spanish).
- Chen, Y., Shena, Z., and Lib, X.D. 2004. *The use of Vetiveria zizanioides grass (Vetiveria zizanioides) in the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals*. Appl. Geochem.
- Chunrong Z, Cong T, Huairnan C (1998) *Preliminary study on purification of eutropic water with vetiver*. In: *Paper presented at the international Vetiveria zizanioides grass technology workshop in Fuxhou, China*
- Darmono. (1995). *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Penerbit UI-Press. Jakarta.
- E. L. Hawley, R. A. Deeb, M. C. Kavanaugh, J. Jacobs. 2004. in *Chromium(VI) Handbook*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Prospects of genetic engineering of plants for phytoremediation of toxic metals*. J. Biotechnology Advances.
- Ebbs, S.D. and Kochian, L.V. 1998. *Phytoextraction of Zn by oat (Avena sativa), barley (Hordeum vulgare) and Indian mustard (Brassica juncea)*. Environ. Sci. Technol.
- Effendi H, Utomo BA, Darmawangsa GM, Hanafiah DA (2015) *Wastewater treatment of freshwater crayfish (Cherax quadricarinatus) culture with lettuce (Lactuca sativa)*. Int J Appl Environ Sci.
- Erskine J M 1992 *Vetiveria zizanioides grass: its potential use in soil and moisture conservation in Southern Africa*. S. Afr. J. Sci.
- Ghosh, M., and Singh, S.P., 2005. *A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its by product*. J. Applied Ecology and Environmental Research.
- Hamzah, Amir. Rossyda Priyadarshini. 2019. *REMEDIASI TANAH TERCEMAR LOGAM BERAT*. Malang: UNITRI Press
- Hoang, T.T.T., Tu, T.C.L., and Dao, P.Q. 2007. *Progress and results of trials using Vetiveria zizanioides for phytoremediation of contaminated canal sludge around Ho Chi Minh City*. Proc. Vetiveria zizanioides Workshop. (May 2007 in Vietnamese), Hanoi, Vietnam.
- Huang, J.W., Chen, J.J., William, R.B., and Scott, D.C. 1997. *Phytoremediation of lead-contaminated soils: role of synthetic chelates in lead phytoextraction*. Environ. Sci. Technol.
- Hussain, Z., Arslan, M., Malik, M. H., Mohsin, M., Iqbal, S., Afzal, M. (2018). *Treatment of the textile industry effluent in a pilot-scale vertical flow constructed wetland system augmented with bacterial endophytes*. Science of the Total Environment.
- Irhamni, Pandia, S., Purba, E., & Hasan, W. (2018). *Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan Air dalam Menyerap Logam Berat secara Fitoremediasi*. Jurnal Serambi Engineering.

- Kurniasih, Y.A., (2008), Fitoremediasi Lahan Pertanian Tercemar Logam Berat Kadmium Dan Tembaga Dari Limbah Industri Tekstil, Skripsi, Departemen Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Kedziorek, M.A.M., Dupuy, A., Bourg, A.C.M., and Compere, F. 1998. Leaching of Cd and Pb from a polluted soil during the percolation of EDTA: laboratory column experiments modeled with a non-equilibrium solubilization step. *Environ. Sci. Technol.*
- Laoli Boris Marselius Sevendu, Kisworo, Djoko Raharjo. 2021. Akumulasipencemar Kromium (Cr) Pada Tanaman Padi Di Sepanjang Kawasan Aliran Sungai Opak, Kabupaten Bantul. Fakultas Bioteknologi. Universitas Kristen Duta Wacana
- Lou, L.Q., Ye, Z.H., and Wong, M.H. 2007. *Solubility and accumulation of metals in Chinese brake fern, Vetiveria zizanioides and Rostrate Sesbania using chelating agents*. *Int. J. Phytorem.*
- Luu Thai Danh , Paul Truong , Raffaella Mammucari , Tam Tran & Neil Foster (2009): *VETIVERIA ZIZANIOIDES GRASS, VETIVERIA ZIZANIOIDES: A CHOICE PLANT FOR PHYTOREMEDIATION OF HEAVY METALS AND ORGANIC WASTES*, *International Journal Of Phytoremediation*.
- Manara A. 2012. *Plants responses in heavy metal toxicity*. *SpringerBriefs in Biometals*.
- Merian, E. 1994. *Metals and Their Compounds in The Environment Occurrence Analysis and Biological Relevance*. UCH Verlagsgeleselicchatt mbH. Weinheim, Germany.
- McGrath, S.P., Lombi, E., Gray, C.W., Caille, N., Dunham, S.J., and Zhao, F.J. 2006. *Field evaluation of Cd and Zn phytoextraction potential by the hyperaccumulators Thlaspi caerulescens and Arabidopsis halleri*. *Environ. Pollut.*
- Floating Treatment Wetland menggunakan Kombinasi Tanaman Vetiveria zizanioides zizanioides dan Bakteri Endofit. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia.*
- Nuha, Agus U., HB, F. Putut M., dan Mubarak, Ibnu. 2016. Toksisitas Letal Akut Limbah Cair Tenun Troso terhadap Ikan Mas (*Cyprinus Carpio L.*). Tugas Akhir. Universitas Negeri Semarang.
- Nurtana, Rizqon. 2018. Analisis Reduksi Logam pada Air Limbah Balai Yasa Yogyakarta PT. Kereta Api Indonesia menggunakan Tanaman Vetiveria zizanioides (Vetiveria Zizanioides) dan Bakteri dengan Metode Floating Treatment Wetland. Yogyakarta.
- Rismawati S. I. 2012. Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Zn Menggunakan Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas*). Skripsi-S1. Jurusan Biologi Fakultas MIPA Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Rotkittikhun, P., Chaiyarat, R., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., and Baker, A.J.M. 2007. *Growth and lead accumulation by the grasses Vetiveria zizanioides and Thysanolaena maxima in lead contaminated soil amended with pig manure and fertilizer: A glasshouse study*. *Chemosph.*
- Römken, P., Bouwman, L., Japenga, J., and Draaisma, C. 2002. *Potentials and drawbacks of chelate enhanced phytoremediation of soils*. *Environ. Pollut.*
- Shen, Z.G., Li, X.D., Chen, H.M., Wang, C.C., and Chua, H. 2002. *Phytoextraction of Pb from a contaminated soil using high biomass species of plants*. *J. Environ. Qual.*
- Szöllösi R, Kálmán E, Medvegyi A, Petôl A, Varga SI. 2011. *Studies on oxidative stress caused by Cu and Zn excess in germinating seeds of Indian mustard (Brassica juncea L.)* *Acta Biol Szeg.*
- Tara, N., Iqbal, M., Khan, Q. M., and Afzal, M. (2018). *Bioaugmentation of Floating Treatment Wetlands for The Remediation of Textile Effluent*. *Water and Environment Journal*.
- Truong P N, 1999 Vetiveria zizanioides grass technology for land stabilisation, erosion and sediment control in the Asia Pacific region. In *Proceedings of First Asia Pacific*

- Conference on Ground and Water Bioengineering for Erosion Control and Slope Stabilisation, Manila, Philippines, April 1999. pp 72-84. International Erosion Control Association, Steamboat Springs, USA.
- Truong, P. 1999. *Vetiveria zizanioides* Grass Technology for Mine Rehabilitation. Pacific Rim *Vetiveria zizanioides* Network Tech.
- Truong, P. (2002). *Vetiveria zizanioides* grass technology. In M. Maffei (Ed.), *Vetiveria the genus Vetiveria*. New York: Taylor & Francis.
- Vo, V.M. 2007. *Uptake potential of cadmium from soil by Vetiveria zizanioides grass (Vetiveria zizanioides (L.) Nash)*. Journal of Science, Da Nang University.
- Wenzel, W.W., Unterbrunner, R., Sommer, P., and Sacco, P. 2002. *Chelate-assisted phytoextraction using canola (Brassica napus L.) in outdoors pot and field-lysimeter experiments*. Plant Soil.
- Wilde, E.W., Brigmon, R.L., and Dunn, D.L. 2005. *Phytoextraction of lead from firing range soil by Vetiveria zizanioides grass*. Chemosph.
- Wu, J., Hsu, F.C., and Cunningham, S.D. 1999. *Chelate-assisted Pb phytoremediation: Pb availability, uptake, and translocation constraints*. Environ. Sci. Technol.
- Yang, B., Shu, W.S., Ye, Z.H., Lan, C.Y., and Wong, M.H. 2003. Growth and metal accumulation in *Vetiveria zizanioides* and two *Sesbania* species on lead/zinc mine tailings. Chemosph.
- Zhuang, P., Ye, Z.H., Lan, C.Y., Xie, Z.W., and Shu, W.S. 2005. Chemically assisted phytoextraction of heavy metal contaminated soils using three plant species. Plant Soil.