

## **FITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR LOGAM Cr DENGAN TUMBUHAN AKAR WANGI PADA MEDIA TANAH BERKOMPOS**

Moh. Prayudi T.A.<sup>1</sup>

D 121 10 275

Achmad Zubair<sup>2</sup>

Iskandar Maricar<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa S1 Program Studi Teknik Lingkungan Jurusan Sipil Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin

<sup>2,3</sup> Staf pengajar Jurusan Sipil Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

### **Abstrak**

Pencemaran logam berat merupakan masalah yang serius terhadap kondisi lingkungan saat ini. Kadmium (Cd) dan kromium (Cr) merupakan buangan limbah berbahaya yang mencemari lingkungan, untuk itu tindakan pemulihan perlu dilakukan agar tanah yang tercemar dapat digunakan kembali dengan aman melalui proses fitoremediasi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besarnya penurunan logam berat Cd dan Cr pada tanah lanau setelah proses fitoremediasi menggunakan tanaman akar wangi (*Vetivera Zizanioides*), dan menganalisis pengaruh variasi jumlah tanaman terhadap efektivitas tanaman akar wangi (*Vetivera Zizanioides*) dalam penyerapan logam berat Cd dan Cr dalam tanah.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang terdiri dari 4 variabel penelitian. Pertama, variasi konsentrasi Cd dan Cr yang digunakan yaitu 60 ppm dan 80 ppm untuk logam Cd, 600 ppm dan 800 ppm untuk logam Cr. Kedua, variasi jumlah tanaman yaitu 3 batang, 6 batang, dan 9 batang. Ketiga, variasi waktu tinggal yaitu selama 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari. Keempat, Tanaman kontrol (Q) yang dilakukan pada konsentrasi Cd 80 ppm dan Cr 800 ppm dengan jumlah tanaman 6 batang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara penurunan kadar logam Cd dan Cr pada tanah dan penyerapan logam Cd dan Cr pada tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) dimana semakin tinggi penurunan kadar Cd dan Cr pada tanah diikuti oleh peningkatan kadar Cd dan Cr pada tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*). Untuk penurunan kadar logam Cd terbaik diperoleh pada perlakuan jumlah tanaman 9 batang dengan waktu detensi 28 hari, yaitu dengan penurunan kadar logam Cd 20,2 ppm (78,60%) untuk kadar logam pencemar Cd 60 ppm dan dengan penurunan kadar logam Cd 29,88 ppm (73,88%) untuk kadar logam pencemar Cd 80 ppm, sedangkan penurunan Cr terbaik diperoleh pada perlakuan jumlah tanaman 9 batang dengan waktu detensi 28 hari, yaitu dengan penurunan kadar logam Cr 170,75 ppm (73%) untuk kadar logam pencemar Cr 600 ppm dan dengan penurunan kadar logam Cr 197,91 ppm (76,26%) untuk kadar logam pencemar Cr 800 ppm.

Kata Kunci :Cd, Cr, Fitoremediasi, Akar Wangi, Tanah Lanau

### **Pendahuluan**

Tanah adalah salah satu sistem bumi, yang bersamaan dengan sistem bumi yang lain yaitu air dan atmosfer, menjadi inti, fungsi, perubahan dan kemandirian ekosistem. Tanah berkedudukan khas dalam masalah lingkungan hidup, merupakan kimia lingkungan dan membentuk landasan hakiki bagi manusia (Notohadiprawiro, 1998). Tanah merupakan sumber daya alam yang sangat berfungsi penting dalam

kelangsungan hidup makhluk hidup. Bukan hanya fungsinya sebagai tempat berjangkarnya tanaman, penyedia sumber daya penting dan tempat berpijak tetapi juga fungsinya sebagai suatu bagian dari ekosistem. Selain itu, tanah juga merupakan suatu ekosistem tersendiri. Penurunan fungsi tanah tersebut dapat menyebabkan terganggunya ekosistem di sekitarnya termasuk juga di dalamnya juga manusia (Sutanto, 2005).

Pencemaran pada tanah oleh logam berat merupakan salah satu persoalan lingkungan yang sangat serius. Toksikannya yang sangat berbahaya umumnya berasal dari buangan industri, terutama yang melibatkan logam berat dalam proses produksinya (Palar, Sudarso, 1997). Beberapa jenis logam berat yang mencemari lingkungan dan perairan Indonesia diantaranya adalah Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb dan Zn. Menurut Machbub dan Mulyadi (2000), cemaran logam berat yang paling dominan mencemari lingkungan serta perairan di Indonesia dan telah melampaui ambang batas sesuai PP no.82 Tahun 2001 adalah Cr dan Mn.

Logam Cr atau krom merupakan unsur penting dalam makanan tetapi bila kelebihan terjadi pada penderita diabetes, malnutrisi dan mereka yang mendapat makanan melalui parenteral. Faktor utama terjadinya toksisitas dari krom adalah oxidation state dan daya larutnya. Krom mudah menembus membran sel dan akan terjadi reduksi didalamnya. Organ utama yang terserang karena krom adalah terhisap oleh paru-paru, organ lain yang bias terserang adalah ginjal, liver, kulit dan system imunitas. Dampak kesehatan akibat kromium ini yakni efek fisiologi, efek pada kulit, efek pada saluran pernapasan, efek pada ginjal, efek pada hati, karsinogenik, pertumbuhan dan reproduksi (Candra dkk, 2007).

Beberapa metode remediasi logam berat yang ada saat ini antara lain adalah metode isolasi, imobilisasi, penurunan toksisitas/mobilitas, pemisahan fisika dan metode ekstraksi. Salah satu metode penurunan toksisitas/mobilitas logam berat yang aplikatif baik secara in situ maupun ex situ, mudah pengerjaannya, relatif murah dan bersahabat dengan lingkungan adalah teknik fitoremediasi.

Keuntungan utama dari aplikasi fitoremediasi dibandingkan dengan sistem remediasi lainnya menurut Miller (1996) adalah kemampuannya untuk menghasilkan buangan sekunder yang lebih rendah sifat toksisitasnya, lebih bersahabat dengan lingkungan serta lebih ekonomis. Kelemahan fitoremediasi adalah dari segi waktu yang dibutuhkan lebih lama dan juga terdapat kemungkinan masuknya kontaminan ke dalam rantai makanan

melalui konsumsi hewan dari tanaman tersebut.

Keuntungan fitoremediasi selain mudah juga merupakan alternatif yang murah dibandingkan dengan cara remediasi fisik-kimia maupun bioremediasi yang menggunakan mikroorganisme (bakteri, kapang dan jamur). Adapun keterbatasan sistem fitoremediasi adalah terutama yang berhubungan dengan batasan konsentrasi kontaminan yang dapat ditolerir oleh tanaman, masalah kebocoran kontaminan yang sangat larut dalam air dan lamanya waktu yang diperlukan pada fitoremediasi tanah yang tercemar (Subroto, 1996). Ada banyak tanaman yang dapat dipakai sebagai tanaman fitoremediasi, salah satunya adalah tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*).

Akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*) merupakan tanaman tahunan berbentuk rumpun dengan perakaran yang rimbun dan tumbuh lurus kedalam tanah. Tanaman ini berasal dari negeri India, Asia Tenggara dan Afrika bagian tropis (Maffei, 2002). Tanaman ini tahan terhadap logam berat, salinitas dan dapat tumbuh pada pH antara 3-11,5 sehingga dapat digunakan untuk merehabilitasi kondisi fisik dan kimia tanah yang rusak. Selain itu, dengan perakarannya yang rimbun, tanaman ini dapat digunakan sebagai penahan erosi.

Olehnya itu peneliti berkeinginan untuk mencoba melakukan penelitian, yaitu : "Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Cr dengan Tumbuhan Akar Wangi Pada Media Tanah Kompos".

## **Metode**

### **A. Jenis Penelitian**

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimen yang dilanjutkan dengan analisis sampel di Laboratorium untuk mengetahui kemampuan pengolahan tanah lanau yang tercemar logam berat Cd (kadmium) dan Cr (krom) dengan memanfaatkan tanaman Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*).

### **B. Waktu dan Lokasi Penelitian**

Penelitian ini dilakukan sampai tanaman mencapai titik jenuh yang dimulai bulan Februari 2015. Lokasi aklimatisasi tanaman, pembuatan limbah pencemar, pengambilan sampel, pemeriksaan sampel

sebelum dan sesudah pengolahan dilakukan di Laboratorium Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Maros – Sulawesi Selatan.

### C. Desain Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan metode penelitian eksperimental, yaitu mengadakan percobaan untuk melihat pengaruh variabel yang diteliti. Adapun variabel penelitian adalah sebagai berikut :

1. Variasi Konsentrasi Pencemar
  - a) K1 = Cr 600 ppm
  - b) K2 = Cr 800 ppm
2. Variasi Kompos
  - a) M1 = Kompos 40 : 60 Tanah
  - b) M2 = Kompos 60 : 40 Tanah
3. Variasi Jumlah Tanaman
  - a) R1 = 3 batang
  - b) R2 = 6 batang
  - c) R3 = 9 batang
4. Variasi Waktu Tinggal
  - a) T1 = 7 hari
  - b) T2 = 14 hari
  - c) T3 = 21 hari
  - d) T4 = 28 hari
  - e) T5 = 35 hari

### E. Metode Kerja

Pelaksanaan penelitian terdiri dari tujuh tahapan yaitu :

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan yakni mengumpulkan teori melalui jurnal-jurnal ilmiah, skripsi, tesis, penelitian terdahulu, dan buku teks yang relevan dengan penelitian, yakni mengenai fitoremediasi, pencemaran tanah, logam berat Cr, serta tanaman akar wangi (*Vetivera zizanioides*).

#### 2. Persiapan Alat dan Bahan

Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan reaktor proses berupa pot 20 buah dengan dimensi diameter 20 cm dan tinggi 16 cm, serta berat tanah 4 kg. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah buatan sendiri yakni Krom (Cr) dengan konsentrasi 600 ppm dan 800 ppm. Pemilihan konsentrasi tersebut merujuk pada penelitian yang dilakukan sebelumnya.

Tanaman akar Wangi (*Vetivera Zizanioides*) diambil dari Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Maros. Ukuran tanaman akar wangi yang digunakan dengan tinggi yang seragam.

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

- a) Alat :
  - 1) Reaktor Proses
  - 2) Spoit
  - 3) Timbangan
  - 4) Mistar
- b) Bahan:
  - 1) Tanah lanau sebagai media tanam
  - 2) Tanaman akar wangi
  - 3) Limbah buatan yang berasal dari larutan induk dengan konsentrasi Cd (Cadmium) dengan konsentrasi 60 ppm dan 80 ppm, Krom (Cr) dengan konsentrasi 600 ppm dan 800 ppm.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah buatan sendiri (artifisial) yakni air limbah yang dibuat dengan melarutkan sejumlah logam pencemar ke dalam air sehingga didapatkan konsentrasi yang diinginkan.

Limbah buatan dari air limbah = 2 liter air mengandung logam berat Cr pada penelitian ini dilakukan berdasarkan rumus pengenceran yaitu :

$$e) T5 = \frac{M_1 \cdot V_1}{M_2 \cdot V_2}$$

### 3. Penelitian Pendahuluan

#### a. Tahap Aklimatisasi

Tujuan tahap ini agar tumbuhan uji tersebut dapat menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan tempat percobaan. Proses aklimatisasi dilakukan dengan cara penanaman tumbuhan selama 1 bulan pada media tanah tanpa pencemar untuk mengkondisikan tumbuhan agar stabil. Tanaman disiram 100 ml per hari agar pertumbuhan tanaman dapat cepat mencapai kondisi normal.

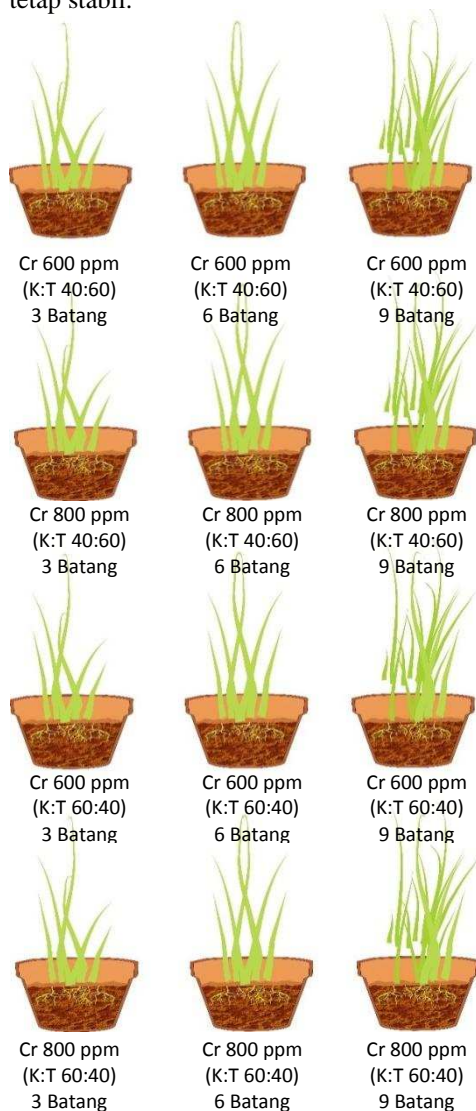
#### b. Pengujian Awal Fisik Media Tumbuh dan Tanaman

Tahap ini merupakan pemeriksaan sampel tanah tercemar. Pengukuran karakteristik fisik pada media tumbuh dilakukan untuk mengetahui kandungan logam Cr yang terdapat di dalam tanah sebelum dilakukan pencemaran dengan limbah buatan serta untuk mengetahui jenis tanah sebagai media tumbuh. Pengukuran karakteristik fisik pada tanaman untuk mengetahui kandungan logam dalam tanaman sebelum dan sesudah diberikan perlakuan penambahan limbah buatan. Pemeriksaan sampel dilakukan di

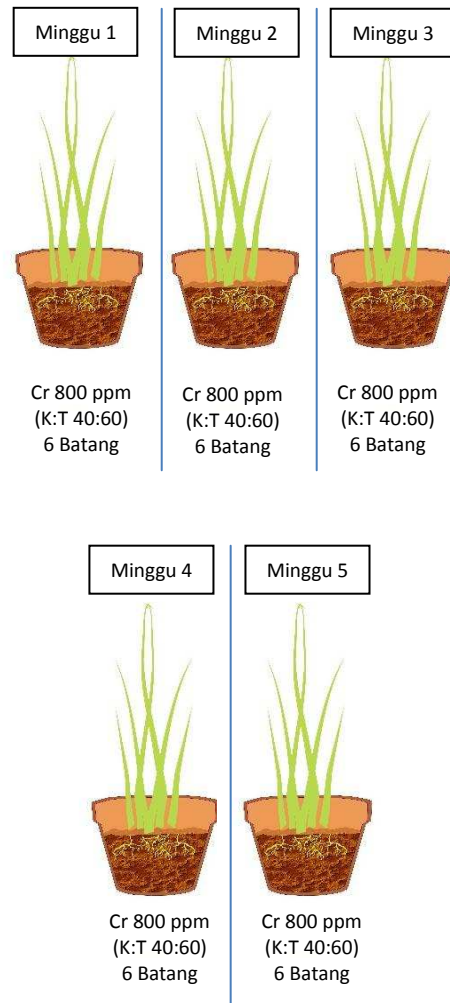
Laboratorium Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Maros – Sulawesi Selatan.

#### 4. Perlakuan

Pada penelitian ini, pencemar berupa larutan induk logam Cr dimasukkan kedalam reaktor proses berupa pot dengan cara diinjeksikan menggunakan spoit secara merata pada media tanam. Volume pencemar yang digunakan sebesar 100 ml untuk setiap media tanam pada pot berbeda. Setiap minggu tanaman akar wangi disiram dengan air sebanyak 150 ml per minggu untuk menjaga kondisi tanaman agar tetap stabil.



Gambar 1. Ilustrasi tanaman yang diberi perlakuan



Gambar 2. Ilustrasi tanaman kontrol tiap minggu

#### 6. Pengujian

Pada penelitian ini pengujian akan dilakukan 7 hari sekali dengan pengamatan berupa penurunan konsentrasi Cr didalam media tumbuh dan tanaman kontrol yang diuji setiap 7 hari sekali sampai penyerapan logam pada tanah mencapai titik jenuh atau tanaman mengalami kematian dan analisa berat kering tumbuhan yang dilakukan di minggu terakhir perlakuan. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara mengambil sampel tanah pada 20 titik yang tersebar dalam satu pot. Aspek yang diuji berupa pengujian konsentrasi logam Cr di media tanam dan pada hari ke- 35 (tanaman telah mati) akan dilakukan pengukuran kadar logam Cr pada tanaman, serta analisa berat kering tanaman tersebut. Setiap 7 hari dari dimulainya diberi bahan pencemar pada media tanam, t (konsentrasi tertinggi dari

logam Cr) yang diuji kandungan logamnya diluar dari 12 pot yang setiap 7 hari diambil sampel tanahnya.

Selanjutnya masing-masing sampel akan diuji dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Adapun prosedur pengujian yaitu sampel dicampur rata dan diambil 0,5 gr, kemudian ditambahkan dengan 0,5 ml  $\text{HClO}_4$  dan 5 ml  $\text{HNO}_3$ , setelah itu sampel diaduk rata dan didestruksi sampai larut sempurna, kemudian sampel yang telah didestruksi disaring dengan kertas saring, kemudian sampel diencerkan sampai 10 ml dan ditambahkan dengan aquabides sampai garis batas pada labu ukur. Sampel siap dianalisis dengan menggunakan alat AAS.

Cara uji kadar logam berat Cr dilakukan berdasarkan Soil Survey Laboratory Method Manual USDA 2004 p.167-365, 616-643.

## 7. Analisa Data

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, akan didapatkan beberapa data primer melalui pemeriksaan kadar Cr pada media tanam dan tanaman itu sendiri. Pengujian dilakukan di Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Maros, Sulawesi Selatan.

Dari penelitian tersebut akan dilakukan analisis dan grafik menggunakan perangkat lunak (software) EXCEL untuk membandingkan data yang tersedia. Dan didapatkan data sekunder melalui penelusuran kepustakaan berupa referensi hasil penelitian sebelumnya serta laporan – laporan pemeriksaan kadar parameter yang diuji.

Data-data yang dianalisis meliputi pengaruh jumlah tanaman dan waktu detensi terhadap penurunan kadar logam pada tanah, pengaruh efisiensi penyerapan logam terhadap waktu detensi, Pengaruh jumlah tanaman terhadap kadar logam pada tanaman akar wangi

Berdasarkan grafik dari hasil analisa data akan diperoleh bentuk persamaan garis sesuai dengan model yang digunakan dan regresi dihitung berdasarkan kuadrat terkecil (least square). Untuk menguji apakah hubungan antar variabel y dan x tersebut kuat atau malah tidak ada korelasi, dapat dilakukan dengan perhitungan koefisien regresi atau koefisien korelasi yaitu ( $R^2$ ).  $R^2$  merupakan perbandingan antara varian y terhadap varian x.

Bila harga  $R^2$  mendekati angka 1, terdapat hubungan yang sangat kuat antara y dengan x. Hubungan kategori sedang bila nilai  $R^2$  antara 0,4 s/d 0,6, sedangkan bila harga  $R^2 < 0,4$  hubungan antara y dengan x sangat lemah (Purwanto, 2003 dalam Supradata, 2005).

### a) Efektivitas Fitoremediasi

Efektivitas Fitoremediasi merupakan tingkat keberhasilan tanaman dalam menyerap kadar logam Cr dan Mn dengan konsentrasi yang berbeda. Hal ini dapat dilihat dari besarnya nilai removal effectivity (efektifitas penyisihan) logam Cr dan Mn pada tanah. Efektifitas penyisihan kadar logam pada proses fitoremediasi tanah tercemar logam Cr dan Mn dihitung dengan menggunakan rumus :

$$RE(\%) = \frac{\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir}}{\text{konsentrasi awal}} \times 100 \%$$

### b) Efektifitas Penyerapan Tanaman

Efektifitas penyerapan oleh tanaman merupakan informasi selanjutnya yang menggambarkan kemampuan tanaman dalam menyerap logam Cr dan Mn. Perhitungan efisiensi penyerapan didasarkan pada konsentrasi logam Cr dan Mn dalam tanaman serta konsentrasi logam Cr dan Mn yang ditambahkan ke dalam tanah. Adapun rumus yang digunakan adalah :

$$\text{Efektifitas Penyerapan} = \frac{\text{Konsentrasi Penyerapan Logam dalam tanaman}}{\text{Konsentrasi Penurunan Logam dalam Media Tanam}} \times 100\%$$

## Hasil dan Pembahasan

### A. Analisis Pendahuluan

Sebelum dilakukan penelitian, terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap media tanam (tanah berkompos) dan tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) untuk mengetahui kandungan logam yang terdapat pada tanah dan tanaman. Pengujian awal kadar logam berat Cr pada tanaman diperlukan untuk mengetahui besarnya nilai konsentrasi kadar logam berat Cr pada tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) yang akan digunakan dan juga untuk mengetahui apakah tanah dan tanaman yang akan digunakan layak untuk diteliti.

Keberadaan logam Cr di tanah sangat berpengaruh dengan berbagai aktivitas

manusia disekitarnya. Besarnya konsentrasi logam berat Cr di dalam tanah sangat mempengaruhi pertumbuhan tanaman untuk melakukan proses fitoremediasi, oleh karena itu sangat perlu dilakukan pengujian kadar logam berat Cr sebelum dimulainya perlakuan dalam penelitian.

Pengujian dilakukan di Laboratorium Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Maros - Sulawesi Selatan. Dalam proses penelitian ini, digunakan 12 pot dengan 1 logam masing-masing 2 konsentrasi, variasi kompos dan variasi jumlah tanaman.

Hasil pengujian laboratorium terhadap pengukuran konsentrasi logam berat Cr yang terdapat pada tanah dan tanaman sebelum perlakuan dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1. Pengamatan awal kadar logam berat Cr dan pada tanah dan tanaman akar wangi

Logam Pencemar	Analisis	Konsentrasi Logam (ppm)
Cr	Tanah Berkompos (Tanah 40:60 Kompos)	33,02
	Tanaman Akar Wangi	57,84
Cr	Tanah Berkompos (Tanah 60:40 Kompos)	30,72
	Tanaman Akar Wangi	57,84

(Sumber : Hasil Penelitian, 2015)

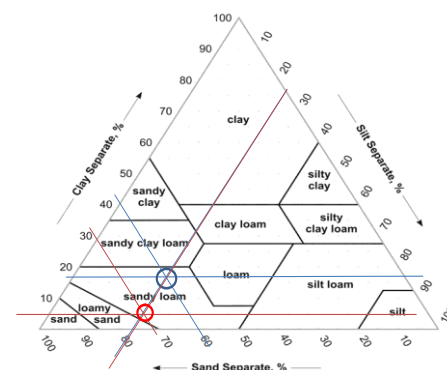
Dari data awal pengujian kadar logam berat Cr menunjukkan bahwa sebelum dilakukan perlakuan, tanah dan tanaman yang akan digunakan telah mengandung logam berat Cr. Namun, menurut Troung Paul et al, 2011 menyatakan bahwa tingkat ambang logam berat Cr pada tanah 200-600 ppm, dan pada tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) 5-18 ppm. Berdasarkan data pengujian awal yang telah dilakukan menunjukkan bahwa tanah yang telah diuji layak dijadikan media tumbuh tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*).

Selain pengujian logam pada media tanam dan tanaman, dilakukan pula pengujian tekstur tanah untuk mengetahui jenis tanah atau media tanam yang digunakan selama penelitian. Tabel 4.2 menunjukkan bahwa media tanam yang digunakan merupakan tanah berkompos.

Tabel 4.2. Tekstur media tanam.

Nama Sampel	Tekstur		
	Pasir Sand	Debu Silt	Liut Clay
	%		
Tanah:Kompos 40:60	60	23	17
Tanah:Kompos 60:40	73	23	4

(Sumber : Hasil Penelitian, 2015)



Keterangan:

- = Tanah 40% : Kompos 60%
- = Tanah 60% :Kompos 40%

Tabel 4.3 Konsentrasi awal kadar kimia media tanam

Nama Sampel	Cr ppm	Mn ppm	Ph (1 : 2,5) Bahan Organik				Ekstrak HCl 25%		Olsen/Bry-I	
			H <sub>2</sub>	KC	C	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
			O	I	%	%	Mg/100 gr	ppm	ppm	ppm
Tanah:Kompos 40:60	33,02	-	6,59	5,85	3,97	0,73	87	87	67	476
Tanah:Kompos 60:40	30,72	-	6,34	5,29	5,93	0,76	112	76	72	439

(Sumber : Hasil Penelitian, 2015)

Tabel 4.4 Nilai tukar kation tanah kompos

Nama Sampel	Ekstrak KCl IN			Nilai Tukar Kation						
	Kemasa	Al- Tukar	H- Tukar	Kation-Kation Tukar				KTk	KB	
				Ca	Mg	K	Na	Juml	CEC	BS
	me/100gram									%
Tanah:Kompos 40:60	0,00	0,00	0,00	15,64	5,03	1,02	1,17	22,86	30,88	74
Tanah:Kompos 60:40	0,00	0,00	0,00	22,21	0,36	0,94	0,69	24,20	29,97	81

(Sumber : Hasil Penelitian, 2015)

## B. Pengaruh Jumlah Tanaman terhadap Penurunan Kadar Kromium (Cr) pada Tanah dan Tanaman

### 1. Logam Kromium (Cr) pada Tanah Kompos 60%:40%

Setelah dilakukan penumbuhan, pemberian pencemar dan pemeliharaan tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*) pada media penelitian, serta pengambilan sampel tanah pada hari ke-7, 14, 21, 28 dan hari ke-35 dimana tanaman akar wangi telah menguning dan layu. Maka dilakukan pengujian untuk melihat penurunan konsentrasi Cr yang tersisa setiap minggunya.

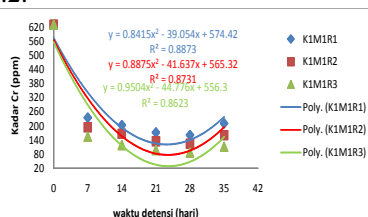
Penurunan kadar konsentrasi Cr pada media tanah untuk masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5. Pengaruh jumlah tanaman terhadap penurunan kadar kromium (Cr) pada tanah kompos 60%:40%

No.	Perlakuan	Konsentrasi Awal	Penurunan kadar Cr (ppm) pada tanah			
			7 (hari)	14 (hari)	21 (hari)	28 (hari)
1	K1M1R1	630,72	235,31	203,2	172,32	161,29
2	K1M1R2	630,72	194,64	166,15	135,23	123,92
3	K1M1R3	630,72	153,76	118,3	97,18	86,34
4	K2M1R1	830,72	219,57	192,23	176,24	161,31
5	K2M1R2	830,72	207,55	180,05	154,75	136,3
6	K2M1R3	830,72	179,83	141,66	143,98	123,97

(Sumber : Hasil Penelitian, 2015)

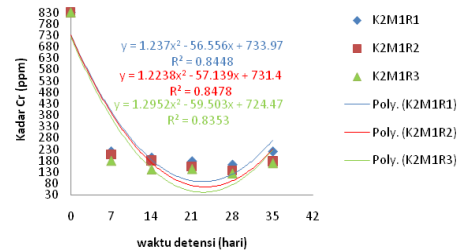
Dari Tabel 4.5, dapat dibuatkan grafik penurunan konsentrasi kromium (Cr) pada tanah seperti pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1. Grafik hubungan waktu detensi terhadap penurunan kadar Cr 600 ppm pada tanah kompos 60%:40%

Dari Gambar 4.1 menunjukkan bahwa kadar pencemar Cr 600 ppm akan terus menurun di dalam tanah apabila waktu detensinya semakin lama. Jadi terdapat hubungan antara lamanya waktu detensi dengan penurunan kadar logam pencemar Cr 600 ppm di dalam

tanah. Untuk Cr 800 ppm terlihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Grafik hubungan waktu detensi terhadap penurunan kadar Cr 800 ppm pada tanah kompos 60%:40%

Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 menunjukkan adanya hubungan lamanya waktu detensi dengan penurunan kadar logam pencemar Cr di dalam tanah. Semakin lama waktu detensi maka semakin besar pula penurunan konsentrasi logam di dalam tanah.

Tabel 4.6 Analisa regresi hubungan jumlah tanaman dan waktu detensi terhadap penurunan kadar Cr pada tanah

Perlakuan	y	R <sup>2</sup>
K1M1R1	$0.841x^2 - 39.05x + 574.4$	0.887
K1M1R2	$0.887x^2 - 41.63x + 565.3$	0.873
K1M1R3	$0.950x^2 - 44.77x + 556.3$	0.862
K2M1R1	$1.237x^2 - 56.55x + 733.9$	0.844
K2M1R2	$1.223x^2 - 57.13x + 731.4$	0.847
K2M1R3	$1.295x^2 - 59.50x + 724.4$	0.835

Berdasarkan grafik yang terbentuk akan diperoleh persamaan garis sesuai dengan model yang digunakan dan regresi dihitung berdasarkan kuadrat terkecil (last square). Untuk menguji apakah hubungan antar variabel y dan x tersebut kuat atau malah tidak ada korelasi, dapat dilakukan dengan perhitungan koefisien regresi atau koefisien korelasi yaitu ( $R^2$ ).  $R^2$  merupakan perbandingan antara varian y terhadap varian x. Bila harga  $R^2$  mendekati angka 1, terdapat hubungan yang sangat kuat antara y dengan x. Hubungan kategori sedang bila nilai  $R^2$  antara 0,4 s/d 0,6. Dari persamaan regresi yang diperoleh pada Gambar 4.1 maka dapat dikatakan hubungan penurunan kadar logam Cr dan waktu detensi serta jumlah tanaman memiliki korelasi yang kuat.

Berdasarkan Tabel 4.5 dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh jumlah tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*) dan waktu detensi terhadap penurunan kadar logam Cr pada tanah. Dari data tersebut

dapat pula dilihat pengaruh jumlah tanaman terhadap efektifitas fitoremediasi Cr pada tanah.

Efektifitas fitoremediasi merupakan tingkat keberhasilan tanaman dalam menyerap kadar logam berat Cr dengan variasi jumlah tanaman yang berbeda. Berdasarkan pada Tabel 4.5 dapat dihitung efektifitas penyisihan kadar logam pada proses fitoremediasi tanah tercemar logam Cr menggunakan rumus (3.2)

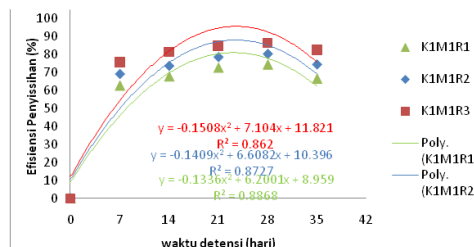
Dengan menggunakan rumus tersebut diperoleh hasil perhitungan seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7 Efektifitas penyisihan fitoremediasi Cr pada tanah kompos 60:40

No.	Perlakuan	Efektifitas Penyisihan (%)				
		7 (hari)	14 (hari)	21 (hari)	28 (hari)	35 (hari)
1	K1M1R1	62.83	67.90	72.78	74.52	66.69
2	K1M1R2	69.25	73.75	78.64	80.42	74.54
3	K1M1R3	75.71	81.31	84.65	86.36	82.43
4	K2M1R1	73.64	76.92	78.84	80.64	73.70
5	K2M1R2	75.08	78.39	81.42	83.64	78.69
6	K2M1R3	78.41	82.99	82.72	85.12	79.67

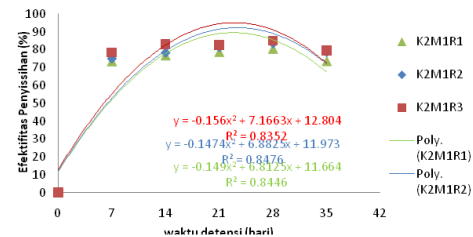
(Sumber : Hasil Penelitian, 2015)

Dari Tabel 4.5, dapat dibuatkan grafik efektifitas penyisihan kadar logam kromium (Cr) pada tanah seperti pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4.3. Grafik efektifitas penyisihan kadar logam Cr 600 ppm pada tanah berkompos 60%:40%

Dari Gambar 4.3 menunjukkan bahwa efektifitas penyisihan kadar pencemar Cr 600 ppm akan terus meningkat seiring dengan lamanya waktu detensi. Jadi terdapat hubungan antara lamanya waktu detensi dengan efektifitas penyisihan kadar logam pencemar Cr 600 di dalam tanah. Untuk efektifitas fitoremediasi dengan kadar pencemar logam Cr 800 ppm dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Grafik efektifitas penyisihan kadar logam Cr 800 ppm pada tanah berkompos 60%:40%

Tabel 4.8 Analisa regresi hubungan jumlah tanaman dan waktu detensi terhadap efektifitas penyisihan kadar Cr pada tanah

Perlakuan	Y	R <sup>2</sup>
K1M1R1	$-0.133x^2 + 6.200x + 8.95$	0.886
K1M1R2	$-0.140x^2 + 6.608x + 10.39$	0.872
K1M1R3	$-0.150x^2 + 7.104x + 11.82$	0.862
K2M1R1	$-0.149x^2 + 6.812x + 11.66$	0.844
K2M1R2	$-0.147x^2 + 6.882x + 11.97$	0.847
K2M1R3	$-0.156x^2 + 7.166x + 12.80$	0.835

Dari persamaan regresi yang diperoleh pada Gambar 4.2 dapat dilihat nilai R<sup>2</sup> mendekati 1 maka dapat dikatakan hubungan efektifitas penyisihan kadar logam Cr dan waktu detensi serta jumlah tanaman memiliki korelasi yang kuat.

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat konsentrasi Cr awal sebelum perlakuan sebesar 30,72 ppm pada tanah. Setelah diberi perlakuan penambahan konsentrasi Cr 600 ppm dan 800 ppm, maka total konsentrasi pencemar pada tanah yakni Cr 630,72 ppm dan 830,72 ppm.

Berdasarkan Tabel 4.5 serta Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 dapat dilihat penurunan konsentrasi Cr dari konsentrasi awal sebelum perlakuan, sampai waktu detensi 7 hari setelah perlakuan pada semua variasi jumlah tanaman dan variasi konsentrasi logam terjadi penurunan kadar logam Cr yang drastis. Hal ini dikarenakan masa aklimatisasi yang lumayan lama, sehingga besar kemungkinan selama rentang waktu 1 bulan sebelum perlakuan dilaksanakan menyebabkan terserapnya logam pada tanaman.

Dari hasil penelitian, dapat dilihat lama waktu detensi juga mempengaruhi penurunan kadar logam dalam tanah. Pada Tabel 4.1 dan 4.5 serta Gambar 4.1, 4.2, 4.3,



dan 4.4 dapat dilihat bahwa penurunan terus terjadi selama rentang waktu 35 hari baik pada pot dengan variasi jumlah tanaman 3 batang, 6 batang maupun 9 batang. Untuk kadar logam Cr 600 ppm, pada pot dengan jumlah tanaman 3 batang, pada waktu detensi 7 hari penurunan dari konsentrasi awal sebesar 235,31 ppm dengan persentase penyisihan sebesar 62,83%, pada waktu detensi 14 hari penurunan sebesar 203,2 ppm dengan persentase penyisihan sebesar 67,90%, pada waktu detensi 21 hari penyisihan sebesar 172,32 ppm dengan persentase penyisihan sebesar 72,78%, pada waktu detensi 28 hari penyisihan sebesar 161,29 ppm dengan persentase penyisihan sebesar 74,52% dan pada waktu detensi 35 hari penyisihan sebesar 210,84 ppm dengan persentase penyisihan sebesar 66,69%. Begitupun untuk kadar logam Cr 800 ppm mengalami penurunan hingga 72,41% dari konsentrasi awal. Selanjutnya pada pot dengan jumlah tanaman 6 batang dan 9 batang juga mengalami penurunan yang signifikan pada waktu detensi 7 hari sampai 28 hari. Penurunan drastis kadar logam dalam tanah berkompos terjadi pada waktu detensi 14 hari menuju 28 hari. Penurunan kadar logam yang lambat ini disebabkan oleh sifat dari tanah berkompos yang tingkat kohesifitasnya yang tinggi dan permeabilitasnya yang rendah sehingga mengakibatkan bahan pencemar lambat terserap menurun masuk kedalam tanah sekitar akar.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*) mampu menyerap Cr dari lingkungannya yaitu tanah berkompos yang telah dicemari oleh limbah artificial sehingga terjadi penurunan kadar logam berat Cr pada media tanam dalam hal ini tanah berkompos yang digunakan. Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa perlakuan dengan jumlah tanaman dan waktu detensi yang berbeda memberikan pengaruh secara signifikan terhadap penurunan logam berat. Untuk penurunan kadar logam Cr yang terbaik, yaitu pada perlakuan jumlah tanaman 9 batang dengan waktu detensi 28 hari, yaitu dengan penurunan kadar logam Cr menjadi 86,34 ppm dengan persentase penyisihan sebesar 86,36% untuk kadar logam pencemar Cr 600 ppm dan dengan penurunan kadar logam Cr menjadi 123,97

ppm dengan persentase penyisihan sebesar 85,12% untuk kadar logam pencemar Cr 800 ppm. Sedangkan penurunan kadar logam Cr pada tanah yang terkecil terdapat pada perlakuan variasi jumlah tanaman dengan jumlah tanaman 3 batang dengan waktu detensi 7 hari, yakni 235,31 ppm dengan persentase penyisihan sebesar 62,83% untuk kadar logam pencemar Cr 600 ppm dan 219,57 ppm dengan persentase penyisihan sebesar 73,64% untuk kadar logam pencemar Cr 800 ppm. Persentase penyisihan dihari ke-21 dengan hari ke-28 tidak terlalu signifikan perbedaannya hal ini dikarenakan tanaman mulai layu dan ada juga yang mati jadi kemampuan dalam penyerapan logam juga ikut menurun. Tetapi pada pada hari ke-35 terjadi peningkatan. Hal ini diduga disebabkan karena pada saat akar tumbuhan melepaskan eksudat akar, kontaminan dalam tanaman ikut terbawa. Eksudat akar adalah senyawa yang dikeluarkan oleh tanaman yang digunakan oleh mikroorganisme untuk berkembangbiak. Hal ini diperkuat dengan terdapatnya rayap-rayap atau hewan-hewan kecil lainnya di akar pada saat pencabutan tanaman. Proses eksudat akar mengakibatkan logam krom dalam tanah kembali meningkat.

Dengan demikian terdapat pengaruh antara jumlah tanaman dan waktu detensi terhadap penurunan kadar Cr pada tanah. Semakin banyak jumlah tanaman dan semakin lama waktu detensi maka akan semakin banyak kadar logam Cr yang tersisihkan dalam tanah. Hal ini dikarenakan adanya kemampuan tanaman dalam menyerap logam berat Cr hingga sebelum tanaman mencapai batas waktu tertentu dan sebelum titik jenuh.

Titik jenuh adalah batas waktu maksimum yang dapat ditolerir tanaman dalam menyerap kontaminan. Setelah melewati titik jenuh, kemampuan tanaman dalam menyerap logam berat menurun bahkan konsentrasi logam berat dalam tanah dapat meningkat karena tanaman dapat melepaskan kembali logam melalui proses eksudat akar. (Al Khoiriah, 2015). Pada penelitian ini tingkat penyisihan logam Cr terus naik hingga waktu detensi 28 hari, namun pada hari ke-28 menuju hari ke-35 tingkat penyisihan logam Cr berkurang dikarenakan tanaman akar wangi (*Vetiveria*

Zizanioides) mengalami kematian. Pada penelitian ini, tanaman belum mencapai titik jenuh sehingga kemampuan menyerap logam sangat baik.

## 2. Logam Kromium (Cr) pada Tanaman

Dalam penelitian ini, juga diuji kadar logam pencemar Cr pada semua tanaman yang diberi perlakuan dari waktu detensi 0 hari sampai waktu detensi 28 hari untuk melihat kemampuan tanaman akar wangi (Vetiveria Zizanioides) dalam mengadsorpsi logam Cr seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.7.

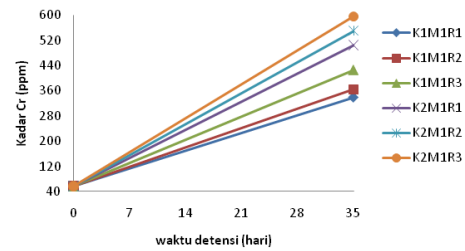
Tabel 4.9. Akumulasi kadar kromium (Cr) pada tanaman akar wangi pada tanah kompos 60%:40% (Vetiveria Zizanioides)

No.	Perlakuan	Akumulasi kadar Cr (ppm) pada tanaman	
		0 (hari)	35 (hari)
1	K1M1R1	57,84	339,28
2	K1M1R2	57,84	364,24
3	K1M1R3	57,84	427,28
4	K2M1R1	57,84	504,45
5	K2M1R2	57,84	551,16
6	K2M1R3	57,84	596,36

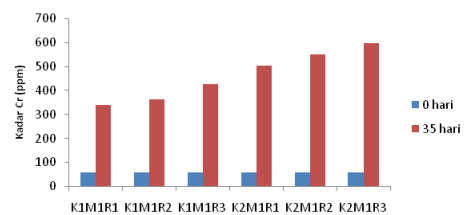
(Sumber : Hasil Penelitian, 2015)

Berdasarkan Tabel 4.9 dapat diketahui penyerapan logam Cr tertinggi diperoleh pada perlakuan variasi jumlah tanaman 9 batang dalam reaktor proses (pot) dengan waktu detensi 35 hari dengan akumulasi logam sebesar 596,36 ppm pada tanaman, dengan kata lain terdapat pengaruh jumlah tanaman akar wangi (Vetiveria Zizanioides) terhadap akumulasi kadar logam Cr pada tanaman.

Dari Tabel 4.9, dapat dibuatkan grafik pengaruh jumlah tanaman terhadap kadar kromium (Cr) pada tanaman akar wangi (Vetiveria Zizanioides) seperti pada Gambar 4.5 dan 4.6 berikut ini.



Gambar 4.5. Pengaruh jumlah tanaman terhadap kadar Cr pada tanaman akar wangi (Vetiveria Zizanioides)



Gambar 4.6. Grafik diagram Pengaruh jumlah tanaman terhadap kadar Cr pada tanaman akar wangi (Vetiveria Zizanioides)

Dari persamaan regresi yang diperoleh pada Gambar 4.5 dan 4.6 dapat dilihat nilai  $R^2 = 1$  maka dapat dikatakan hubungan kadar logam Cr pada tanaman dan waktu detensi serta jumlah tanaman memiliki korelasi yang kuat.

Efektifitas penyerapan oleh tanaman merupakan informasi selanjutnya yang menggambarkan kemampuan tanaman dalam menyerap logam Cr. Perhitungan efektifitas penyerapan dalam penelitian ini didasarkan pada konsentrasi logam Cr dalam tanaman serta konsentrasi logam Cr yang ditambahkan ke dalam tanah. Adapun rumus yang digunakan adalah rumus (2.2)

Efektifitas penyerapan logam Cr oleh tanaman akar wangi (Vetiveria Zizanioides) dapat dilihat pada Tabel 4.10 berikut ini.

Tabel 4.10. Efektifitas penyerapan logam Cr pada tanaman akar wangi (Vetiveria Zizanioides)

No.	Perlakuan	Kandungan Logam Cr (ppm)		Efektifitas Penyerapan (%)
		Tanah Awal	Tanaman Awal Akhir	
1	K1M1R1	630,72	57,84 339,28	44,62
2	K1M1R2	630,72	57,84 364,24	48,58
3	K1M1R3	630,72	57,84 427,28	58,57
4	K2M1R1	830,72	57,84 504,45	53,76
5	K2M1R2	830,72	57,84 551,16	59,38
6	K2M1R3	830,72	57,84 596,36	64,83

(Sumber : Hasil Penelitian, 2015)

Tabel 4.10 terlihat bahwa efektifitas penyerapan logam Cr tertinggi terdapat pada tanaman dengan variasi jumlah tanaman 9 batang dengan nilai 58.57% pada kadar logam pencemar Cr 600 ppm dan 64.83% pada kadar logam pencemar Cr 800 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) mempunyai kemampuan menyerap logam Cr dengan baik, dikarenakan tanaman tersebut memiliki volume perakaran yang banyak dan akar yang panjang, sehingga akar tanaman tersebut menyebar keseluruh bagian tanah yang telah terkontaminasi logam Cr. Tingginya efektifitas penyerapan logam Cr pada tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) didukung dengan laju pertumbuhan tanaman yaitu tinggi tanaman terus bertambah hingga hari ke-35.

### C. Pengaruh Jumlah Tanaman terhadap Penurunan Kadar Krom (Cr ) pada Tanah dan Tanaman

#### 1. Logam Krom (Cr) pada Tanah Kompos 40%:60%

Setelah dilakukan penumbuhan, pemberian pencemar dan pemeliharaan tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*) pada media penelitian, serta pengambilan sampel tanah pada hari ke-7, 14, 21, 28 dan 35. Maka dilakukan pengujian untuk melihat penurunan konsentrasi Cr yang tersisa setiap minggunya.

Penurunan kadar konsentrasi Cr pada media tanah untuk masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 4.11 berikut.

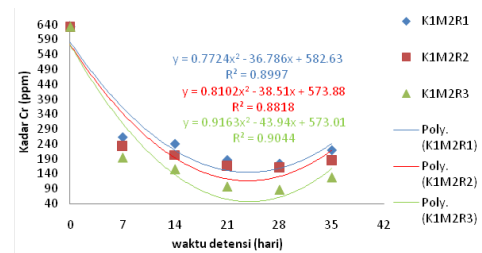
Tabel 4.11. Pengaruh jumlah tanaman terhadap penurunan kadar kromium (Cr) pada tanah

No.	Perlakuan	Konsentrasi Awal	Penurunan kadar Cr (ppm) pada tanah				
			7 (hari)	14 (hari)	21 (hari)	28 (hari)	35 (hari)
1	K1M2R1	633.02	262.52	240.25	185.89	174.04	219.08
2	K1M2R2	633.02	233.41	202.99	166.31	161.49	186.05
3	K1M2R3	633.02	194.27	155.31	97.07	86.28	127.85
4	K2M2R1	833.02	221.27	192.26	170.89	148.93	202.66
5	K2M2R2	833.02	180.42	153.69	137.25	124.01	169.36
6	K2M2R3	833.02	151.98	130.81	119.92	111.53	152.89

(Sumber : Hasil Penelitian, 2015)

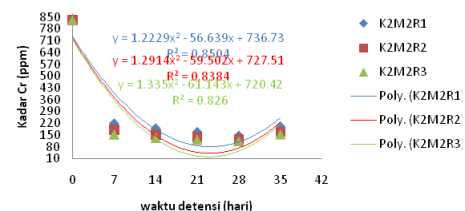
Dari Tabel 4.11 dapat dibuatkan grafik penurunan konsentrasi kromium (Cr) pada

tanah seperti pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8



Gambar 4.7. Grafik Hubungan waktu detensi terhadap penurunan kadar Cr 600 ppm pada tanah kompos 40% : 60%

Dari Gambar 4.7 menunjukkan bahwa kadar pencemar Cr 600 ppm akan terus menurun di dalam tanah apabila waktu detensinya semakin lama, Tetapi pada hari ke -35 terjadi peningkatan. Hal ini diduga disebabkan karena pada saat akar tumbuhan melepaskan eksudat akar, kontaminan dalam tanaman ikut terbawa. Jadi terdapat hubungan antara lamanya waktu detensi dengan penurunan kadar logam pencemar Cr 600 ppm di dalam tanah. Gambar 4.8 menunjukkan grafik penurunan kadar logam pencemar Cr 800 ppm dalam tanah.



Gambar 4.8. Grafik hubungan waktu detensi terhadap penurunan kadar Cr 800 ppm pada tanah berkompos 40% : 60%

Tabel 4.12 Analisa regresi hubungan jumlah tanaman dan waktu detensi terhadap penurunan kadar Cr pada tanah

Perlakuan	y	R <sup>2</sup>
K1M2R1	$0.772x^2 - 36.78x + 582.6$	0.899
K1M2R2	$0.810x^2 - 38.51x + 573.8$	0.881
K1M2R3	$0.916x^2 - 43.94x + 573.0$	0.904
K2M2R1	$1.222x^2 - 56.63x + 736.7$	0.850
K2M2R2	$1.291x^2 - 59.50x + 727.5$	0.838
K2M2R3	$1.335x^2 - 61.14x + 720.4$	0.826

Dari persamaan regresi yang diperoleh pada Gambar 4.7 dapat dilihat nilai R<sup>2</sup> mendekati 1 maka dapat dikatakan hubungan penurunan kadar logam Cr dan waktu detensi serta jumlah tanaman memiliki korelasi yang kuat. Berdasarkan Tabel 4.12 dapat diketahui bahwa juga terdapat

pengaruh jumlah tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*) dan waktu detensi terhadap penurunan kadar logam Cr pada tanah. Dari data tersebut dapat pula dilihat pengaruh jumlah tanaman terhadap efektivitas fitoremediasi Cr pada tanah.

Berdasarkan pada Tabel 4.9 dapat dihitung efektifitas penyisihan kadar logam pada proses fitoremediasi tanah tercemar logam Cr menggunakan rumus (3.2)

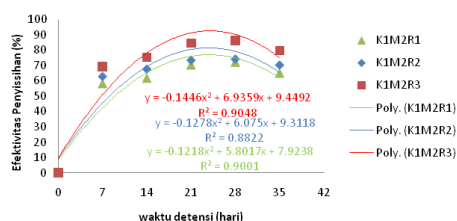
Dengan menggunakan rumus tersebut diperoleh hasil perhitungan seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4.13 berikut.

Tabel 4.13 Efektifitas Penyisihan Fitoremediasi Cr pada Tanah kompos 40:60

No.	Perlakuan	Efektifitas Penyisihan (%)				
		7 (hari)	14 (hari)	21 (hari)	28 (hari)	35 (hari)
1	K1M2R1	58.38	61.91	70.53	72.41	65.27
2	K1M2R2	62.99	67.82	73.63	74.40	70.50
3	K1M2R3	69.20	75.38	84.61	86.32	79.73
4	K2M2R1	73.36	76.86	79.43	82.07	75.60
5	K2M2R2	78.28	81.50	83.48	85.07	79.61
6	K2M2R3	81.71	84.25	85.56	86.57	81.60

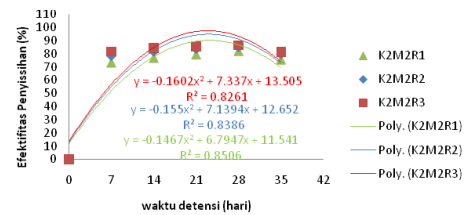
(Sumber : Hasil Penelitian, 2015)

Dari Tabel 4.13, dapat dibuatkan grafik efektifitas penyisihan kadar logam kromium (Cr) pada tanah seperti pada Gambar 4.9 dan 4.10 berikut ini.



Gambar 4.9. Grafik efektifitas penyisihan kadar logam Cr 600 ppm pada tanah berkompos 40% :60%

Dari Gambar 4.9 menunjukkan bahwa kadar pencemar Cr 600 ppm akan terus meningkat seiring dengan makin lamanya waktu detensi. Jadi terdapat hubungan antara lamanya waktu detensi dengan penyisihan kadar logam pencemar Cr 600 ppm di dalam tanah. Untuk Cr 800 ppm dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Grafik efektifitas penyisihan kadar logam Cr 800 ppm pada tanah berkompos 40% :60%

Tabel 4.14 Analisa regresi hubungan jumlah tanaman dan waktu detensi terhadap efektifitas penyisihan kadar Cr pada tanah

Perlakuan	Y	R <sup>2</sup>
K1M2R1	$-0.1218x^2 + 5.8017x + 7.9238$	0,9001
K1M2R2	$-0.1278x^2 + 6.075x + 9.3118$	0,8822
K1M2R3	$-0.1446x^2 + 6.9359x + 9.4492$	0,9048
K2M2R1	$-0.1467x^2 + 6.7947x + 11.541$	0,8506
K2M2R2	$-0.155x^2 + 7.1394x + 12.652$	0,8386
K2M2R3	$-0.1602x^2 + 7.337x + 13.505$	0,8261

Dari persamaan regresi yang diperoleh pada Gambar 4.8 dapat dilihat nilai R<sup>2</sup> mendekati 1 maka dapat dikatakan hubungan efektifitas penyisihan kadar logam Cr dan waktu detensi serta jumlah tanaman memiliki korelasi yang kuat.

Berdasarkan Tabel 4.11 dapat dilihat konsentrasi Cr awal sebelum perlakuan sebesar 30,72 ppm pada tanah. Setelah diberi perlakuan penambahan konsentrasi Cr 600 ppm dan 800 ppm, maka total konsentrasi pencemar pada tanah yakni Cr 630,72 ppm dan 830,72 ppm.

Berdasarkan Tabel 4.11 serta Gambar 4.7 dan 4.8 dapat dilihat penurunan konsentrasi Cr dari konsentrasi awal sebelum perlakuan, sampai waktu detensi 7 hari setelah perlakuan pada semua variasi jumlah tanaman terjadi penurunan kadar logam Cr yang drastis. Hal ini juga dikarenakan masa aklimatisasi sehingga besar kemungkinan selama rentang waktu 1 bulan sebelum perlakuan dilaksanakan menyebabkan terserapnya logam pada tanaman.

Dari hasil penelitian, dapat dilihat lama waktu detensi juga mempengaruhi penurunan kadar logam Cr dalam tanah. Pada Tabel 4.11 dan 4.13 serta Gambar 4.6, 4.8, 4.9, dan 4.10 dapat dilihat bahwa penurunan kadar logam terus terjadi selama rentang waktu 28 hari baik pada pot dengan variasi jumlah tanaman 3 batang, 6 batang maupun 9 batang. Penurunan kadar logam Cr pada pot dengan jumlah tanaman 3 batang dengan waktu detensi 7 hari

mengalami penurunan 262,52 ppm dari konsentrasi awal dengan persentase penyisihan 58,38%, kemudian pada waktu detensi 14 hari penurunan kadar Cr yang dialami sebesar 240,25 ppm dengan persentase penyisihan sebesar 61,91%, pada waktu detensi 21 hari penurunan kadar Cr sebesar 185,89 ppm dengan persentase penyisihan sebesar 70,53%, pada waktu detensi 28 hari penurunan kadar Cr sebesar 174,04 ppm dengan persentase penyisihan sebesar 72,41% dan pada waktu detensi ke 35 hari terjadi kenaikan kadar Cr sebesar 219,08 ppm dengan persentase penyisihan sebesar 65,27%. Pada umumnya, penyerapan logam krom (Cr) oleh tanaman akar wangi hingga waktu detensi 28 hari mengalami penurunan di dalam tanah. Tetapi pada hari ke 35 terjadi peningkatan. Hal ini diduga disebabkan karena pada saat akar tumbuhan melepaskan eksudat akar, kontaminan dalam tanaman ikut terbawa. Eksudat akar adalah senyawa yang dikeluarkan oleh tanaman yang digunakan oleh mikroorganisme untuk berkembangbiak. Hal ini diperkuat dengan terdapatnya rayap-rayap atau hewan-hewan kecil lainnya di akar pada saat pencabutan tanaman. Proses eksudat akar mengakibatkan logam krom dalam tanah kembali meningkat. Selanjutnya pada pot dengan jumlah tanaman 6 batang dan 9 batang juga mengalami penurunan yang signifikan pada waktu detensi 7 hari sampai 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*) mampu menyerap Cr dari lingkungannya yaitu tanah lanau yang telah dicemari oleh limbah artificial sehingga terjadi penurunan kadar logam Cr pada media tanam dalam hal ini tanah yang digunakan. Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa perlakuan dengan jumlah tanaman dan waktu detensi yang berbeda memberikan pengaruh secara signifikan terhadap penurunan logam berat. Untuk penurunan kadar logam Cr yang terbaik, yaitu pada perlakuan jumlah tanaman 9 batang dengan waktu detensi 28 hari, yaitu dengan penurunan kadar logam Cr menjadi 127,85 ppm dengan persentase penyisihan sebesar 86,32% untuk konsentrasi pencemar Cr 600 ppm, kemudian penurunan kadar logam Cr 152,89 ppm dengan persentase penyisihan sebesar

86,57% untuk konsentrasi pencemar 800 ppm. Sedangkan penurunan kadar Cr pada tanah yang terkecil terdapat pada perlakuan variasi jumlah tanaman dengan jumlah tanaman 3 batang dengan waktu detensi 7 hari, yakni 262,52 ppm dengan persentase penyisihan sebesar 58,38% untuk konsentrasi pencemar 600 ppm.

Dengan demikian terdapat pengaruh antara jumlah tanaman dan waktu detensi terhadap penurunan kadar Cr pada tanah. Semakin banyak jumlah tanaman dan semakin lama waktu detensi maka akan semakin banyak kadar logam Cr yang tersisihkan pada tanah. Hal ini dikarenakan adanya kemampuan tanaman dalam menyerap logam berat Cr hingga pada batas waktu tertentu sebelum titik jenuh. Pada penelitian ini tingkat penyisihan logam Cr terus naik seiring dengan lamanya waktu detensi, kecuali pada hari ke 35. Untuk tanaman akar wangi yang lain, dengan waktu detensi 28 hari tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*) belum mencapai titik jenuh sehingga kemampuan dalam menyerap logam sangat baik. Tetapi apabila dilihat dari Gambar 4.7 dan 4.8 menunjukkan gejala kejenuhan penyerapan logam yang ditandai dengan menurunnya kemampuan penyerapan akar wangi pada waktu detensi 21 hari menuju waktu detensi 28 hari. Besar kemungkinan bahwa apabila dilakukan pengujian pada 7 hari kemudian, konsentrasi logam Cr pada tanah akan meningkat sebagaimana yang ditunjukkan pada hari ke 35.

## **2. Logam Kromium (Cr) pada Tanaman**

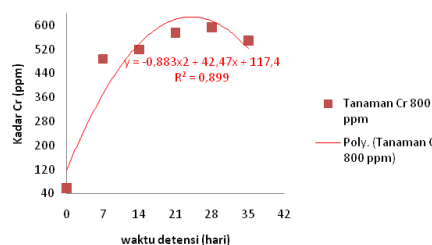
Tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*) dapat digunakan dalam proses fitoremediasi karena dapat mengadsorpsi logam Cr pada tanah yang tercemar. Secara lengkapnya kemampuan tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) dalam mengadsorpsi logam Cr dapat dilihat pada Tabel 4.14 berikut ini.

Tabel 4.15 Kadar logam Cr pada tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*) 6 batang dengan konsentrasi pencemar Cr 800 ppm (kontrol) pada tanah kompos 40%:60%

SAMPel	konsentrasi awal (ppm)	Kadar Cr (ppm) pada tanaman					
		Minggu					
		I	II	III	IV	V	
Tanaman Cr 800 ppm	6 batang	57.84	488.01	519.42	575.66	593.31	549.73

(Sumber : Hasil Penelitian, 2015)

Dari Tabel 4.15, dapat dibuatkan grafik kadar logam Cr pada tanaman akar wangi (Vetiveria Zizanioides) yang berjumlah 6 batang dengan konsentrasi pencemar Cr 800 ppm seperti pada Gambar 4.11 berikut ini.



Gambar 4.11. Grafik hubungan kadar logam Cr pada tanaman akar wangi (Vetiveria Zizanioides) 6 batang dengan waktu detensi (kontrol).

Dari persamaan regresi yang diperoleh pada Gambar 4.11 dapat dilihat nilai  $R^2$  mendekati angka 1 maka dapat dikatakan hubungan kadar logam Cr pada tanaman dan waktu detensi serta jumlah tanaman memiliki korelasi yang kuat. Dari Gambar 4.6 menunjukkan bahwa tanaman akar wangi dapat menyerap logam kromium (Cr) yang terdapat pada tanah berkompos. Penyerapan logam yang signifikan terjadi pada waktu detensi 14 hari (519,42 ppm) menuju waktu detensi 21 hari (575,66 ppm). Hal ini disebabkan tanah lanau memiliki sifat permeabilitas yang rendah dan kohesi yang kuat sehingga larutan pencemar yang terdapat di dalam tanah lanau lambat terserap tetapi apabila telah terserap, larutan akan tersimpan lama di dalam tanah. Gambar 4.11 menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar logam Cr pada tanaman akar wangi, hal ini dapat disebabkan karena adanya proses eksudat akar yang mengeluarkan senyawa dari dalam tanaman melalui akar termasuk kontaminan yang

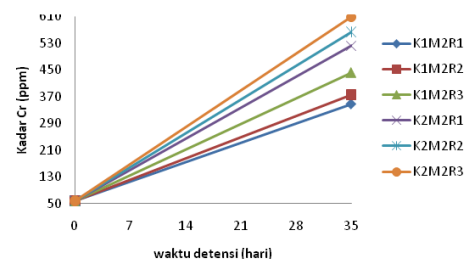
diduga telah terlalu banyak terabsorpsi dalam tanaman.

Tabel 4.16. Akumulasi kadar kromium (Cr) pada tanaman akar wangi (Vetiveria Zizanioides)

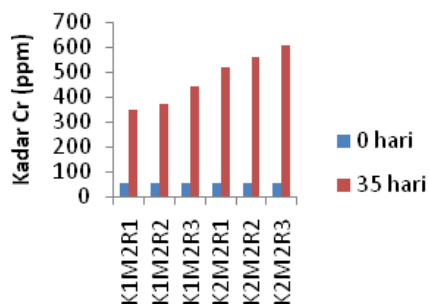
No.	Perlakuan	Akumulasi kadar Cr (ppm) pada tanaman	
		0 (hari)	35 (hari)
1	K1M2R1	57.84	347.31
2	K1M2R2	57.84	375.32
3	K1M2R3	57.84	441.39
4	K2M2R1	57.84	522.68
5	K2M2R2	57.84	564.04
6	K2M2R3	57.84	608.82

(Sumber : Hasil Penelitian, 2015)

Berdasarkan Tabel 4.16 dapat diketahui penyerapan logam Cr tertinggi diperoleh pada perlakuan variasi jumlah tanaman 9 batang sebesar 441,39 ppm pada tanaman untuk logam pencemar konsentrasi Cr 600 ppm dan 608.82 ppm pada tanaman untuk logam pencemar konsentrasi Cr 800 ppm, dengan kata lain terdapat pengaruh jumlah tanaman akar wangi (Vetiveria Zizanioides) terhadap akumulasi kadar logam Cr pada tanaman seperti pada Gambar 4.12 dan 4.13 erikut.



Gambar 4.12. Pengaruh jumlah tanaman terhadap kadar Cr pada tanaman akar wangi (Vetiveria Zizanioides)



Gambar 4.13. Grafik diagram Pengaruh jumlah tanaman terhadap kadar Cr pada tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*)

Dari persamaan regresi yang diperoleh pada Gambar 4.12 dan 4.13 dapat dilihat nilai  $R^2 = 1$  maka dapat dikatakan hubungan kadar logam Cr pada tanaman dan waktu detensi serta jumlah tanaman memiliki korelasi yang kuat. Efektifitas penyerapan oleh tanaman merupakan informasi selanjutnya yang menggambarkan kemampuan tanaman dalam menyerap logam Cr. Perhitungan efektifitas penyerapan dalam penelitian ini didasarkan pada konsentrasi logam Cr dalam tanaman serta konsentrasi logam Cr yang ditambahkan ke dalam tanah. Adapun rumus yang digunakan adalah (2.2).

Efektifitas penyerapan logam Cr oleh tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*) dapat dilihat pada Tabel 4.17 berikut ini.

Tabel 4.17. Efektifitas Penyerapan logam Cr pada tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*)

No.	Perlakuan	Kandungan Logam Cr (ppm)			Efektifitas Penyerapan (%)
		Tanah Awal	Tanaman		
			Awal	Akhir	
1	K1M2R1	633.02	57.84	347.31	45.73
2	K1M2R2	633.02	57.84	375.32	50.15
3	K1M2R3	633.02	57.84	441.39	60.59
4	K2M2R1	833.02	57.84	522.68	55.80
5	K2M2R2	833.02	57.84	564.04	60.77
6	K2M2R3	833.02	57.84	608.82	66.14

(Sumber : Hasil Penelitian, 2015)

Berdasarkan Tabel 4.17 terlihat bahwa efektifitas penyerapan logam Cr tertinggi terdapat pada tanaman dengan variasi jumlah tanaman 9 batang dengan nilai 60.,59% dan 66,14%. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) mempunyai kemampuan menyerap logam Cr dengan sangat baik sebelum mencapai titik tertentu, dikarenakan tanaman tersebut memiliki volume perakaran yang banyak dan akar yang

panjang, sehingga akar tanaman tersebut menyebar keseluruhan bagian tanah yang telah terkontaminasi logam Cr. Tingginya efektifitas penyerapan logam Cr pada tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) didukung dengan laju pertumbuhan tanaman yaitu tinggi tanaman yang terus bertambah hingga pengamatan di hari ke- 28. Dari Gambar 4.13 menunjukkan kondisi fisik tanaman tiap minggu. Terlihat bahwa pada waktu detensi 7 – 14 hari tanaman 70% masih berwarna hijau. Kemudian pada waktu detensi 21 hari tanaman mulai menguning sekitar 40%. Selanjutnya pada waktu detensi 28 hari atau minggu keempat, tanaman 70% berwarna kuning, dan pada hari ke 35 atau minggu kelima, tanaman 95% berwarna kuning kecoklatan.

#### D. Perhitungan Laju Penyerapan Logam pada Tanaman serta Kadar Logam yang Tidak Terdeteksi

##### 1. Perhitungan laju Penyerapan Kromium (Cr) pada Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria Zizanioides*)

Kemampuan tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*) dalam menyerap logam Cr secara keseluruhan dapat dilihat dari penyerapan tanaman. Perhitungan laju penyerapan didasarkan pada konsentrasi Cr yang diserap tanaman selama 28 hari serta berat kering tanaman. Hasil perhitungan penyerapan logam Cr masing-masing tanaman dapat dihitung menggunakan rumus :

Penyerapan=

$$\frac{\text{Berat kering tanaman} \times \text{Kadar logam pencemar tanaman}}{\text{Berat kering tanaman} \times \text{waktu}}$$

(4.1)

Berikut Tabel 4.18 dan Tabel 4.19 merupakan hasil perhitungan penyerapan logam Cr pada tanaman.

Tabel 4.18. Penyerapan logam Cr pada tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*)

No.	Perlakuan	Berat Kering (gr)	Kadar (ppm)		Logam Penyerapan per rumpun (ppm/hari)	Penyerapan per tanaman (ppm/hari)
			Awal	Akhir		
1	K1M1R1	25.4	57.84	339.28	10.05	3.35
2	K1M1R2	29.5	57.84	364.24	10.94	1.82
3	K1M1R3	31.2	57.84	427.28	13.19	1.47
4	K2M1R1	24.5	57.84	504.45	15.95	5.32
5	K2M1R2	29.2	57.84	551.16	17.62	2.94
6	K2M1R3	30.7	57.84	596.36	19.23	2.14

(Sumber : Hasil Penelitian, 2015)

Tabel 4.18 menunjukkan laju penyerapan pada berbagai variasi jumlah tanaman. Pada tanaman dengan jumlah



tanaman 9 batang dalam satu pot mempunyai penyerapan logam Cr tertinggi sebesar 15,95 ppm/hari dan 19,23 ppm/hari, dan penyerapan logam Cr pertanaman sebesar 3,35 ppm/hari dan 5,32 ppm/hari.

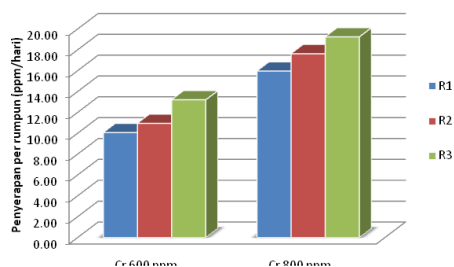
Besarnya penyerapan logam Cr dipengaruhi oleh kemampuan akar tanaman dalam menyerap logam tersebut. Adapun penyerapan logam Cr pada tanaman dapat dilihat pada Tabel 4.19 berikut ini.

Tabel 4.19. Penyerapan logam Cr pada tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*)

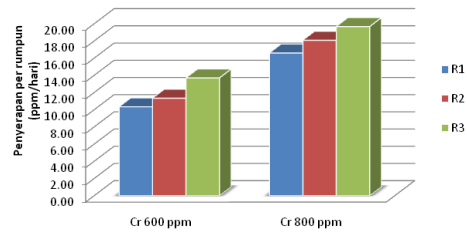
No.	Perlakuan	Berat Kering (gr)	Kadar (ppm)	Logam	Penyerapan per rumpun (ppm/hari)	Penyerapan per tanaman (ppm/hari)
			Awal	Akhir		
1	K1M2R1	28.2	57.84	347.31	10.34	3.45
2	K1M2R2	30.6	57.84	375.32	11.34	1.89
3	K1M2R3	32.7	57.84	441.39	13.70	1.52
4	K2M2R1	26.3	57.84	522.68	16.60	5.53
5	K2M2R2	29.1	57.84	564.04	18.08	3.01
6	K2M2R3	28.9	57.84	608.82	19.68	2.19

(Sumber : Hasil Penelitian, 2015)

Tabel 4.19 menunjukkan laju penyerapan pada berbagai variasi jumlah tanaman. Pada tanaman dengan jumlah tanaman 9 batang dalam satu pot mempunyai penyerapan logam Cr tertinggi sebesar 13,70 ppm/hari dan 19,68 ppm/hari penyerapan logam Cr pertanaman sebesar 3,45 ppm/hari dan 5,53 ppm/hari. Besarnya penyerapan logam Cr dipengaruhi oleh kemampuan akar tanaman dalam menyerap logam tersebut. Dari Tabel 4.18 dan 4.19 dapat dibuatkan diagram batang seperti Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 berikut ini.



Gambar 4.14. Histogram penyerapan kadar logam Cr pada tanaman dengan perlakuan variasi jumlah tanaman pada media tanah kompos 60%:40%.



Gambar 4.15. Histogram penyerapan kadar logam Cr pada tanaman dengan perlakuan variasi jumlah tanaman pada media tanah kompos 40%:60%.

Berdasarkan Tabel 4.18 dan 4.19 serta Gambar 4.14 dan 4.15 dapat dilihat perbedaan kemampuan penyerapan tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*) dalam menyerap logam Cr. Pada Tabel tersebut terlihat bahwa semakin banyak jumlah tanaman, maka semakin banyak kadar logam yang terserap pada tanaman. Akan tetapi semakin banyak jumlah tanaman maka akan semakin sedikit kemampuan penyerapan logam pertanaman. Hal ini disebabkan karena semakin banyak jumlah tanaman akan semakin banyak nutrisi yang dibutuhkan. Sehingga terjadi persaingan pada tanaman untuk memperoleh nutrisi.

Pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 dapat dilihat perbedaan kemampuan tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*) dalam menyerap logam Cr dan Cr.

Tingkat penyerapan dan akumulasi Cr dan Cr dipengaruhi oleh lama waktu kontak dengan logam, ketersediaan logam, dan umur tanaman. Pada tanaman yang tua proses penyerapan logam akan menurun, hal ini disebabkan oleh jaringan tanaman yang ikut tua dan akumulasi pada tubuh tanaman telah mencapai kesetimbangan sehingga proses penyerapan lama-kelamaan akan terhenti dan akan terjadi pengguguran daun. Sedangkan pada tanaman yang muda kebutuhan akan nutrisi lebih banyak sehingga penyerapan nutrisi yang terkandung dalam tanah dan air yang tinggi secara tidak langsung disertai masuknya ion logam melalui akar (Palar, 1994 dalam Fitra et al, 2013).

Penyerapan logam Cr oleh tanaman adalah semakin besar kandungan Cr dalam media tanah akan menyebabkan semakin besar pula logam Cr yang diserap oleh tanaman, hal ini disebabkan adanya perbedaan kandungan Cr antara tanah dan tanaman. Perbedaan



kandungan ini akan menyebabkan terjadinya perpindahan logam Cr secara difusi dan osmosis, dimana massa zat pada media dengan kandungan yang tinggi akan berpindah ke media dengan kandungan yang rendah. Dengan adanya perpindahan kandungan maka akan terjadi penyerapan Cr oleh tanaman.

Dari data yang telah disajikan dapat dilihat bahwa terdapat hubungan keterkaitan antara penurunan kadar Cr pada tanah dan penyerapan Cr pada tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*). Semakin tinggi penurunan kadar Cr pada media tanam diikuti oleh peningkatan kadar Cr dan Cr pada tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*).

## 2. Perhitungan Kadar Logam Kromium (Cr) yang Tidak Terdeteksi

Dari perhitungan persentase penyerapan logam Cr pada tanah dan persentase penyerapan logam Cr yang diserap tanaman, dapat diketahui besarnya kadar logam Cr yang hilang atau tidak terserap pada tanaman. Perhitungan kadar logam Cr yang tidak terdeteksi dapat dihitung menggunakan rumus berikut ini.

$$\text{Kadar Logam yang tidak terdeteksi} = a - b \quad (4.2)$$

Dimana :  $a$  = Selisih konsentrasi logam pada tanah (ppm)  
 $b$  = Selisih konsentrasi logam pada tanaman (ppm)

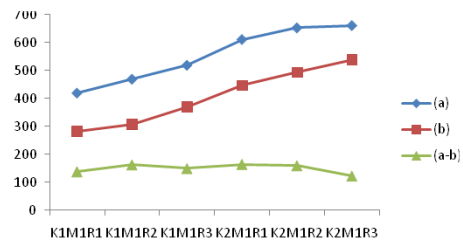
Kadar logam Cr oleh yang hilang dapat dilihat pada Tabel 4.19 dan 4.20 berikut ini.

Tabel 4.20. Kadar logam kromium (Cr) yang tidak terdeteksi pada tanah kompos 60:40

No Perlu an		Konsentrasi Logam pada Tanah (ppm)		Konsentrasi logam yang tereduksi pada tanah (a)		Konsentrasi logam terabsorpsi pada tanaman (b)		Konsentrasi Kadar Logam yang Tidak terdeteksi (a-b)	
		Awal	Akhir	ppm	%	ppm	%	(ppm)	(%)
1	K1M1R1	630.72	210.84	419.88	66.57	281.44	44.62	138.44	21.95
2	K1M1R2	630.72	161.15	469.57	74.45	306.4	48.58	163.17	25.87
3	K1M1R3	630.72	111.25	519.47	82.36	369.44	58.57	150.03	23.79
4	K2M1R1	830.72	219.11	611.61	73.62	446.61	53.76	165	19.86
5	K2M1R2	830.72	177.49	653.23	78.63	493.32	59.38	159.91	19.25
6	K2M1R3	830.72	169.34	661.38	79.62	538.52	64.83	122.86	14.79

(Sumber : Hasil Penelitian, 2015)

Tabel 4.20 menunjukkan bahwa konsentrasi logam tidak terdeteksi paling besar terdapat pada tanaman dengan konsentrasi 600 ppm dengan jumlah tanaman 6 batang. Dari Tabel 4.20 dapat dibuatkan grafik 4.16.



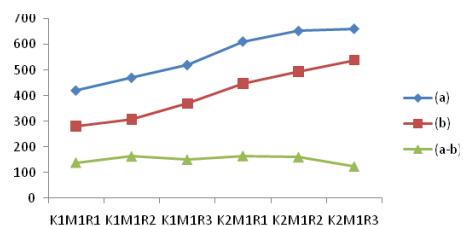
Gambar 4.16. Grafik Kadar Logam tidak terdeteksi dengan perlakuan variasi jumlah tanaman pada media tanah kompos 60%:40%.

Tabel 4.21. Kadar logam kromium (Cr) yang tidak terdeteksi pada tanah kompos 40:60

No Perlu an		Konsentrasi Logam pada Tanah (ppm)		Konsentrasi logam yang tereduksi pada tanah (a)		Konsentrasi logam terabsorpsi pada tanaman (b)		Konsentrasi Kadar Logam yang Tidak terdeteksi (a-b)	
		Awal	Akhir	ppm	(%)	ppm	(%)	(ppm)	(%)
1	K1M2R1	633.02	219.08	413.94	65.39	289.47	45.72	124.47	19.66
2	K1M2R2	633.02	186.05	446.97	70.61	317.48	50.15	129.49	20.46
3	K1M2R3	633.02	127.85	505.17	79.8	383.55	60.59	121.62	19.21
4	K2M2R1	833.02	202.66	630.36	75.67	464.84	55.8	165.52	19.87
5	K2M2R2	833.02	169.36	663.66	79.67	506.2	60.76	157.49	18.90
6	K2M2R3	833.02	152.89	680.13	81.64	550.98	66.14	129.15	15.50

(Sumber : Hasil Penelitian, 2015)

Tabel 4.21 menunjukkan bahwa konsentrasi logam tidak terdeteksi paling besar terdapat pada tanaman dengan konsentrasi 600 ppm dengan jumlah tanaman 6 batang. Dari Tabel 4.21 dapat dibuatkan grafik 4.17.



Gambar 4.17. Grafik Kadar Logam tidak terdeteksi dengan perlakuan variasi jumlah tanaman pada media tanah kompos 40%:60%.

Dari Tabel 4.20 dan Tabel 4.21 serta Gambar 4.16 dan Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa terdapat sekitar 14-26% kadar logam Cr yang hilang dan tidak terserap oleh tanaman pada media tanah kompos 60%:40%, sedangkan untuk logam Cr pada

media tanah kompos 40%:60% terdapat sekitar 15-21% kadar logam yang hilang dan tidak terserap oleh tanaman untuk semua variasi jumlah tanaman. Hal ini disebabkan adanya peran mikroorganisme pada media tanam yang membantu menghilangkan pencemar berupa logam Cr dengan proses bioremediasi. Saat bioremediasi terjadi, enzim-enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme memodifikasi polutan beracun dengan mengubah struktur kimia polutan tersebut. Enzim mempercepat proses tersebut dengan cara menurunkan energi aktivasi, yaitu energi yang dibutuhkan untuk memulai suatu reaksi. Pada proses ini terjadi biotransformasi atau biodegradasi senyawa toksik menjadi senyawa kurang toksik/tidak toksik.

Hubungan penyerapan logam Cr per tanaman dengan kadar logam yang tidak terdeteksi dapat dilihat pada Tabel 4.20 dan 4.21. Dari hasil pengujian terdapat hubungan penyerapan per tanaman dengan kadar konsentrasi yang tidak terdeteksi. Semakin tinggi penyerapan per tanaman semakin tinggi pula kadar konsentrasi logam yang tidak terdeteksi. Hal ini dapat dipengaruhi oleh jumlah rumpun pada setiap pot. Semakin sedikit jumlah rumpun pada pot, semakin banyak kadar logam yang tidak terdeteksi. Tidak terdeteksinya sebagian logam dapat disebabkan karena adanya proses phytovolatilization selama waktu detensi yang mengurai larutan menjadi bahan yang tidak berbahaya dan menguap ke atmosfer. Selain itu ada beberapa proses yang dapat menyebabkan hilangnya kadar logam Cr. Menurut Irwanto (2010) proses tersebut antara lain :



1. Phytodegradation (phyto transformation) yaitu proses yang dilakukan tumbuhan untuk menguraikan zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul yang kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul yang lebih sederhana yang dapat berguna bagi pertumbuhan tumbuhan itu sendiri. Proses ini dapat berlangsung pada daun, batang, akar atau diluar sekitar akar dengan bantuan enzim yang dikeluarkan oleh tumbuhan itu sendiri.

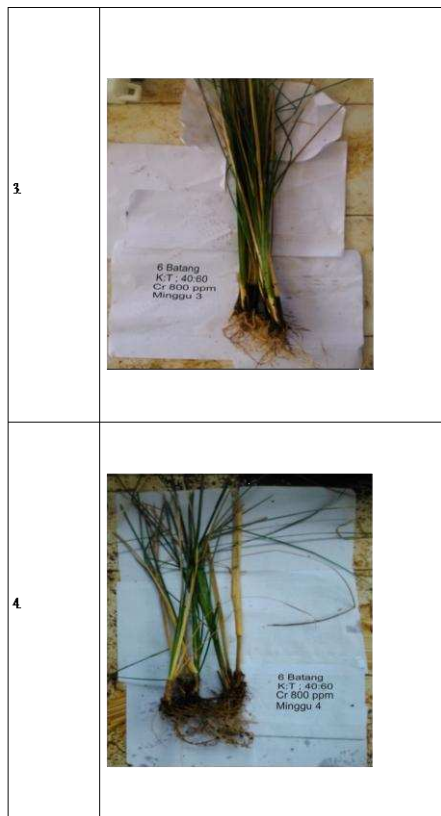
2. Phytovolatilization yaitu proses menarik dan transpirasi zat kontaminan oleh tumbuhan dalam bentuk yang telah menjadi larutan terurai sebagai bahan yang tidak berbahaya lagi untuk selanjutnya di uapkan ke atmosfer.
3. Rhizodegradation yaitu penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroba yang berada disekitar akar tumbuh.

#### E. Hasil Pengamatan Morfologi Tanaman Uji

Pencemaran logam berat menyebabkan kerusakan dan perubahan fisiologi tanaman yang diekspresikan dalam gangguan pertumbuhan. Menurut Fontes (1995), pencemaran menyebabkan perubahan pada tingkatan biokimia sel kemudian diikuti perubahan fisiologi pada tingkat individu hingga tingkat komunitas tanaman. Kondisi Morfologi tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*) selama proses fitoremediasi ditunjukkan pada Gambar berikut ini.

Tabel 4.22. Perubahan Morfologi Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria Zizanioides*) Selama Fitoremediasi Logam Berat Cr

Waktu (Minggu)	Sampel	Fitoremediasi Logam Cr pada tanah : kompos 40:60 dan 60:40
Awal		
1		



(Sumber : Hasil Penelitian)

Dari Tabel 4.22.dapat dilihat bahwa pada minggu awal terlihat bahwa semua tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) masih berwarna hijau, adapun beberapa helai daun yang menguning disebabkan proses aklimatisasi yang lama yang menyebabkan tanaman menunjukkan penyerapan selang waktu tersebut. Setelah minggu pertama, yaitu pada minggu kedua pemaparan terlihat bahwa daun tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) mengalami perubahan warna daun meskipun masih dominan berwarna hijau. Pada minggu ketiga hari ke-21 pemaparan terlihat warna kekuningan pada daun tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) semakin bertambah kuning hingga kecokelatan.

Pada minggu keempat hari ke-28 dan minggu kelima hari ke-35 gejala klorosis ditunjukkan pada daun tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) baik pada perlakuan variasi media tanam dan konsentrasi pencemar. Hal ini dikarenakan total kandungan Cr selama 21-35 hari waktu pemaparan semakin bertambah pada tanaman. Pada hari ke 28 waktu pemaparan, kandungan Cr pada tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) semakin tinggi

sehingga menyebabkan gejala nekrosis daun. Gejala nekrosis daun tersebut ditandai dengan berubahnya warna kuning menjadi coklat dan daun yang keriput. Selain gejala klorosis dan nekrosis yaitu gejala pertumbuhan daun yang tidak normal yaitu daun menjadi kecil. Dalam jaringan tanaman akan menyebabkan kerusakan jaringan epidermis, bunga karang, dan jaringan pagar. Kerusakan tersebut ditandai dengan klorosis dan nekrosis (Palar, 1994 dalam Fitra, 2013).

Selain dari perubahan warna daun, pengamatan morfologi tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*) juga dapat dilihat dari penambahan bobot tanaman sebelum dan setelah perlakuan pada Tabel 4.23 berikut ini.

Tabel 4.23. Perubahan Bobot Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria Zizanioides*) Selama Fitoremediasi Logam Berat Cr

Variasi Tanam	Media	Berat Tanaman (gr)			Kadar Air (%)
		Berat Awal	Berat Akhir		
			Basah	Kering	
K1M1R1		98,6	31,6	25,4	19,62
K1M1R2		111,2	34,9	29,5	18,33
K1M1R3		123,7	38,1	31,2	18,11
K2M1R1		101,5	30,2	24,5	18,87
K2M1R2		109,9	35,1	29,2	16,8
K2M1R3		116,7	36,8	30,7	16,57
K1M2R1		89,3	34,9	28,2	19,19
K1M2R2		108,1	36,9	30,6	17,07
K1M2R3		125,9	38,6	32,7	15,28
K2M2R1		99,1	33,2	26,3	17,77
K2M2R2		113,4	35,3	29,1	17,56
K2M2R3		112,2	33,9	28,9	14,75

Dari Tabel 4.23 berat akhir tanaman berkurang dikarenakan pada minggu kelima tanaman akar wangi sudah mengering. Selain itu terlihat juga bahwa penggunaan kompos berpengaruh dalam penambahan berat tanaman dalam menyerap logam pencemar dalam tanah. Pada komposisi Tanah 60% : Kompos 40% terlihat bahwa nilai serapan per berat kering paling besar yakni pada 31,2 gr. Pada komposisi Tanah 40% : Kompos 60% terlihat pula bahwa nilai serapan per berat kering kecil yakni mencapai 30,6 gr.

Dalam proses meremediasi tanah tercemar logam berat Cr dapat dibedakan pada tanaman yang tumbuh pada kapasitas lapang dan tidak tercemar . Hal utama yang membuat tanaman mengalami kejenuhan yakni pada kondisi defisit oksigen. Konsep ketahanan terhadap kondisi defisit oksigen secara umum adalah Avoidance dan

toleransi. Avoidance merupakan adaptasi tanaman terhadap defisit oksigen yang berkaitan dengan transport oksigen dari tajuk ke bagian akar. Toleransi merupakan adaptasi tanaman terhadap defisit oksigen terjadi Avoidance karena akumulasi bahan beracun dan toleransi dengan akumulasi logam bahan beracun. Transport oksigen terjadi secara cepat karena adanya aerenkim dalam kortek akar (Marschner, 1986 dalam Indrayatie, 2008).

Berdasarkan hal inilah tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) mampu beradaptasi pada tanah tercemar logam berat Cr karena mempunyai aerenkim yang lebih besar dibandingkan yang tumbuh dalam kondisi lapang.

## Kesimpulan dan Saran

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa :

1. Tanaman akar wangi mampu memulihkan tanah tercemar oleh logam artifisial atau logam buatan krom dalam media tanam dengan proses fitoremediasi dengan di tandakan pada persentase serapan yang terjadi selama 5 minggu pada tanaman. Akumulasi logam krom pada media tanam kompos 60% : 40% tanah tertinggi mencapai 64,83% dengan jumlah tanaman 9. sedangkan pada media tanam kompos 40% : 60% tanah mencapai 66,14% dengan jumlah tanaman 9. Hal ini dapat disebabkan karena adanya proses eksudat akar.
2. Penambahan kompos sangat berpengaruh terhadap proses penurunan logam krom pada media tanam. Dengan penggunaan komposisi kompos 40% : 60% tanah lebih dapat menurunkan logam berat krom dibandingkan dengan komposisi kompos 60% : 40% tanah ditandakan adanya penurunan logam pencemar yang terjadi selama 4 minggu penelitian. Persentase penurunan logam krom mencapai 86,57% pada media tanam kompos 40% : 60% tanah dan 85,12% pada media tanam

60% : 40% tanah. Hal ini dapat disebabkan karena adanya proses eksudat akar .

3. Semakin banyak jumlah tanaman maka tingkat efisektifitas akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan kemampuan tanaman dalam menyerap logam berat. Semakin lama waktu detensi mempengaruhi proses adsorpsi logam Cr. Pada penelitian ini waktu detensi sudah mencapai titik jenuh sehingga proses adsorpsi logam Cr masih dikatakan terserap kurang baik (*Vetiveria zizanioides*) dan kerapatannya pada media tanam.

### B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka disarankan beberapa hal sebagai berikut :

1. Sebaiknya pemilihan jumlah tumbuhan akar wangi lebih diperbanyak agar efektivitas penurunan konsentrasi logam yang akan diuji bisa lebih besar.
2. Sebaiknya peneliti selanjutnya mencoba menggunakan jenis media tanam yang berbeda agar dapat membandingkan mana yang paling efektif dijadikan media tanam untuk menurunkan konsentrasi logam dalam media dengan tanaman akar wangi.
3. Sebaiknya dilakukan pemeriksaan dan pengamatan mikrobiologis untuk mengidentifikasi mikroorganisme yang menguraikan konsentrasi pencemar dengan proses pengolahan yang memanfaatkan tanaman akar wangi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anam, M. M. 2013. Penurunan Kandungan Logam Pb dan Cr Leachate Melalui Fitoremediasi Bambu Air (*Equisetum Hyemale*) dan Zeolit. Jurusan Teknik Pertanian - Fakultas Teknologi Pertanian - Universitas Brawijaya
- Achmad, R. 2004. Kimia Lingkungan. Edisi 1. Yogyakarta: Andi Offset.
- Alloway B.J. 1995. Heavy Metals in Soils. Chapman & Hall. London.
- Amzani, Fuad. 2012. Pencemaran Tanah dan Cara Penanggulangannya.

- Politeknik Negeri Lampung.  
Sumatera Selatan.
- Anazary. 2012. Cara Membuat Kompos-  
Pertanian Modern.
- Bill, Fraser. 1993. *Vetiver Grass of The  
Hedge Againt Erotion*. Washington  
D.C. ISBN 0-8213-1405-X.
- Budiardjo, Eko, ed, 2003. *Kota dan  
Lingkungan*, LP3ES, Jakarta
- Candra. 2007. *Pengantar Kesehatan  
Lingkungan*, Jakarta.
- Chaney RL et al. 1995. Potential use of  
metal hyperaccumulators. *Mining  
Environ Manag* 3:9-11.
- Chaney RL et al. 1998. Improving metal  
hyperaccumulators wild plants to  
develop commercial  
phytoextraction system: aproaches  
and progress. Di dalam: *Proc Symp  
Phytoremediation, Inc Conf  
Biochemistry of Trace Elements*.  
Berkly, CA, 23-26 Jun 1997.
- Charlena. 2004. Pencemaran Logam Berat  
Timbal(Pb) dan Cadmium(Cd)  
pada Sayur-sayuran. *Falsafah  
Sains*. Program  
Pascasarjana/S3/Institut Pertanian  
Bogor.
- Cheng Hong, Xiaojie Yang, Aiping Liu,  
Hengsheng Fu, Ming Wan (2003).  
A Study on the Performance and  
Mechanism of Soil-reinforcement  
by Herb Root System. *Proc. Third  
International Vetiver Conf. China*,  
October 2003.
- Connel, D.W dan Miller, J.G, 1995. *Kimia  
dan ekotoksikologi Pencemaran*.  
Universitas Indonesia Press.  
Jakarta.
- Darmono, D. 1995. *Logam dalam Sistem  
Mahluk Hidup*. UI Press, Jakarta.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan  
Pencemarannya*. Jakarta:  
Universitas Indonesia (UI-Press).  
Jakarta.
- Darmono. 2006. *Lingkungan Hidup dan  
Pencemaran: Hubungannya Dengan  
Toksikologi Senyawa Logam*. UI  
Press. Jakarta.
- Deng H., Ye Z. H., Wong M. H. 2006. Lead  
and zinc accumulation and  
tolerance in populations of six  
wetland plants. *Environmental  
Pollution*. Vol. 141. P. 69–80.
- Dewi. 2011. *Analisis Cemarkan Logam  
Timbal (Pb), Tembaga (Cu), dan  
Kadmium (Cd) dalam Tepung  
Gandum secara Spektrofotometri  
Serapan Atom*. Depok : Universitas  
Indonesia.
- Duruibe, J.O., Ogwuegbu, M.O.C., &  
Egwurugwu, J.N. 2007. "Heavy  
Metal Pollution and Human  
Biotoxic Effects", *International  
Journal of Physical Sciences*, Vol. 2  
(5), pp. 112-118, hlm: 1-7.
- Estuningsih. S.P., Juswardi., Yudono. B.,  
Yulianti. R. 2013. *Potensi Tanaman  
Rumput Sebagai Agen  
Fitoremediasi Tanah  
Terkontaminasi Limbah Minyak  
Bumi*.
- Fahrudin. 2010. *Bioteknologi  
Lingkungan*. Penerbit Alfabeta,  
Bandung.
- Fardiaz, S.. 1992. *Polusi Air dan Udara*.  
Diterbitkan Dalam Kerjasama  
Dengan Pusat Antar Universitas  
Pangan dan Gizi. Institut Pertanian  
Bogor. Yogyakarta: Kanisius.
- Fischerova Z., Tlustoš P., Szakova J.,  
Šichorova K. 2006. A comparison  
of phytoremediation capability of  
selected plant species for given  
trace elements. *Environmental  
Pollution*. Vol. 144. P. 93–100
- Fitra Alfian, Yuni Sri Rahayu, dan Winarsih.  
*Kemampuan Fitoremediasi Typha  
Latifolia dalam Menurunkan Kadar  
Kadmium (Cd) Tanah Tercemar  
lumpur Lapindi di Porong  
Sidoarjo*. *LenteraBio* Vol. 2 No. 3  
September 2013:185–189.
- Ghifari, Abi Sofyan. 2011. *Biosorpsi Logam  
Berat di Lingkungan Akuatik  
Menggunakan Limbah Sekam Padi  
(Oryza Sativa L.) Sebagai  
Biosorben*. Skripsi. Sains-  
Teknologi-Kesehatan, Universitas  
Indonesia.
- Hardiani, H. 2009. *Potensi Tanaman Dalam  
Mengakumulasi Logam Cu Pada  
Media Tanah Terkontaminasi  
Limbah Padat Industri  
Kertas*. BS, Vol 44(1).
- Haris, A. & Gunawan. 1992. *Prinsip Dasar  
Spektrofotometri Atom*. Semarang :  
Badan Pengelola MIPA – UNDIIP,  
55-64.

- Haryati, M., T. Purnomo, dan S. Kuntjoro. 2012. Kemampuan Tanaman Genjer (*Limnocharis Flava* (L.) Buch) Menyerap Logam Berat Timbal (Pb) Limbah Cair Kertas pada Biomassa dan Waktu Pemaparan yang Berbeda. *LenteraBio* Vol. 1 No. 3 September 2012:131–138.
- Haryanti Dede, Dedik Budianta dan Salni. 2013. Potensi Beberapa Jenis Tanaman Hias sebagai Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) dalam Tanah. *Jurnal Penelitian Sains (JPS)* Vol. 16 (2) : 52-58.
- Hidayat B. 2011. Skrining Tumbuhan air Hiperakumulator. Topik khusus I, program Doktor Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. *Kultura*. Vol:12 No.1
- Hidayati, Nuril. 2004. Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator. *Pusat Penelitian Biologi. Hayati*, Vol 12 (1) : 35-40.
- Indrayatie. Eko Rini. 2008. Ketahanan Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria Zizanoides* L.) dalam Remediasi Sianida Limbah Cair Pabrik Tapioka. *Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat*.
- Irwanto, Roni. 2010. Fitoremediasi Lingkungan Dalam Taman Bali. *UPT Balai Konservasi Tumbuhan Kebun Raya Purwodadi-LIPI. Local Wisdom*, Vol 2 (4) : 29-35.
- Juliawan, N., Widiyatna, D., dan J, Jatim. 2005. Pendataan Penyebaran Unsur Merkuri Pada Wilayah Pertambangan Cibaliung, Kabupaten Pandegelan, Provinsi Banten. *Hasil Kegiatan Subdit Konservasi TA*.
- Kadek Diana Harmayani dan I G. M. Konsukartha, Pencemaran Air Tanah Akibat Pembuangan Limbah Domestik Di Lingkungan Kumuh Studi Kasus Banjar Ubung Sari Kelurahan Ubung. *JURNAL PERMUKIMAN NATAH* VOL. 5 NO. 2 AGUSTUS 2007 : 62 – 108. Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Udayana.
- Kanian dan Hannigan. 2002. [fitoremediasi.blogspot.co.id/2008/11/fitoremediasi-pustaka.html](http://fitoremediasi.blogspot.co.id/2008/11/fitoremediasi-pustaka.html)
- Kantor MENKLH. 1988. Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No. Kep-02/MENKLH I1988 tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan. Kantor Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Kelly. E. B. 1997. *Ground Water Polution : Phytoremediation*. Downloading available at [http://www.cce.vt.edu/program\\_areas/enviromental/teach/gwprimer/phyto/hyto/html](http://www.cce.vt.edu/program_areas/enviromental/teach/gwprimer/phyto/hyto/html).
- Kristianingrum S dan Sulastri S, 2011. Pengaruh Berbagai Asam Terhadap Daya Adsorpsi Ion Kromium(Iii) Dan Kromium (Vi) Pada Tanah *Diatomae*. *Jurnal Penelitian Saintek*, Vol. (1) :77-94.
- Krolak E. 2003. Dandelion as a heavy metal bioindicator in Eastern Poland. *Ekologija*. Nr. 2 (priedas). P. 33–37.
- Kumar, P.B.A.N, Dushenkov, V., Motto, H. And Raskin, I. 1995. Phytoextraction: The Use Of Plants To Remove Heavy Metals From Soils. *Environ. Scitechnol*, 29: 1232-1238.
- Linder, Maria C. 1992. *Biokimia Nutrisi dan Metabolisme dengan Pemakaian secara Klinis*. Jakarta : Universitas Indonesia (UI-Press)
- M. Anang Firmansyah. 2010. *Teknik Pembuatan Kompos*.
- Mac Grath, S.P., Sidoli, M.D., Baker, A.J.M. and Reeves, R.D 1993. The Potential For The Use of Metal accumulating Plant for The In Situ Decontamination of Metal Polluted Soils. In *Integrated Soil and Sediment Research*, H.J.P. Eijsackers and T. Hamers (ED), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherland, hal. 673-674.
- Maffei, M. 2002. Introduction to the genus *Vetiveria*. Dalam *Vetiveria*. Taylor & Francis, London, New York.p.1-19.
- Miller, R.K. 1996. *Ground-Water Remediation Technology Analysis*

- Center. Technology Overview Report. TO-96-03.
- Mohamad Erni, 2011. Fitoremediasi Logam Berat Kadmium(Cd) Pada Tanah Dengan Menggunakan Bayam Duri (*Amaranthus spinosus* L). Universitas Negeri Gorontalo.
- Napitupulu, Monang. 2008. Analisis Logam Berat Seng, Kadmium dan Tembaga pada Berbagai Tingkat Kemiringan Tanah Hutan Tanaman Industri PT.Toba Pulp Lestari dengan Metode Spektrometri Serapan Atom (SSA).  
<http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/5865/1/08E00483.pdf> Diakses tanggal 14 Juli 2014.
- Naria, Evi. 2005. Mewaspadai Dampak Bahan Pencemar Timbal (Pb) di Lingkungan Terhadap Kesehatan. Jurnal Komunikasi Penelitian. Vol 17 (4).
- Notohadiprawiro, T. 1998. Tanah dan Lingkungan. Direktur Jendral Pendidikan Tinggi Departemen P dan K. Jakarta.
- Novandi. R., Hayati. R., Anita T., Zahara. 2010. Remediasi Tanah Tercemar Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Bayam Cabut (*Amarantha Tricolor*. L.) Universitas Tanjung Pura Pontianak.
- Ornella. C., Mangkoedihardjo. S. 2013. Pengaruh Penambahan PH Terhadap Removal Logam Berat Timbal (PB) Oleh Bunga Kana (*Canna Indica*) Di Kelurahan Tambak Wedi, Kecamatan Kenjeran, Surabaya. Jurusan Teknik Lingkungan FTSTP-ITS
- Palar H. 1994. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Penerbit Rineka Cipta. Jakarta.
- Palar, Heryando. 2008. Pencemaran Dan Toksikologi Logam Berat. Rineka Cipta. Jakarta.
- Peck R.B., Hanson W.E. and Thornbun, T. H. 1953. Foundation Engineering, John Willey and Sons, New York.
- Peraturan Pemerintah Nomor 150 Tahun 2000 tentang tentang Pengendalian Kerusakan Tanah untuk Produksi Biomassa
- Pohan, N. 2004. Pengaruh Bahan-Bahan Kimia Buangan Industri Terhadap Lingkungan. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Sumatra Utara. Medan
- Priyatno B dan Prayitno J, 2007. Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan pencemaran, Khususnya Logam Berat  
<http://www.Iti.bppt.tripod.com/sublab/ifloral1.htm>. Diakses tanggal 4 Juli 2014.
- Purwani. J. 2010. Remediasi Tanah dengan Menggunakan Tanaman Akumulator Logam Berat Akar Wangi. Balai Penelitian Tanah.
- Raskin I., Smith D. R., Salt E. D. 1997. Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environmental. Current Opinion in Biotechnology. Vol. 8. P. 221–226
- Respyan Guntur Dkk, 2011. Laporan Praktikum Teknologi Produksi Tanaman Aspek Tanah Pada Lahan Tanaman Krisan (*Crysanthemum*). Universitas Brawijaya. Malang.
- Rismana. 2001. Kitin dan Kitosan. <http://www.ebookpangan.com>.
- Salisbury, F. B. dan C. W. Ross. 1995. Fisiologi Tumbuhan, Jilid 3. Penerbit ITB. Bandung.
- Setyawan, A. D. Indrowuryanto. Wiryanto dan K. Winarno. 2004. "Pencemaran Logam berat Fe, Cd, Cr dan Pb pada Lingkungan Mangrove di Propinsi Jawa Tengah". Enviro.
- Soepardi, G. 1983. Sifat dan Ciri Tanah. Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor. Bogor. 591p.
- Stoeppler. 1992. Sampling and Sample Preparation: Practical Guide for Analytical Chemists.
- Subroto, M. A. 1996. Fitoremediasi. Dalam: Prosiding Pelatihan dan Lokakarya Peranan Bioremediasi Dalam Pengelolaan Lingkungan, Cibinong, 24-25 Juni 1996.
- Sudarso, Y. 1997. Toksisitas Beberapa Senyawa Logam Berat Terhadap Siput *Hydrobia* Sp. Limnotek Vol V, no 1 tahun 1997, hal 75-79.

- Sunu, P. 2001. Melindungi Lingkungan. P.T Gramedia. Jakarta.
- Supradata, 2005. Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias *Cyperus alternifolius*, L. dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (SSF-Wetlands).
- Surtikanti, H.K. 2011. Toksikologi Lingkungan dan Metode Uji Hayati. Bandung. Rizqi Press
- Sutanto, 2002. Penerapan Pertanian Organik Masyarakat dan Pengembangannya. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Sutanto. 2005. Dasar-dasar Ilmu Tanah (Konsep dan Kenyataan).
- Tlustos P.; Pavlikova, D.; Balik, J.; Szakova, J.; Hanc, A.; Balikova, M., (1998). The accumulation of arsenic and cadmium in the plants their distribution. *Rotilina Vyroba* 44, 465-469.
- Truong P, Claridge J. 1996. Effect of heavy metals toxicities on vetiver growth. Bangkok, Thailand: Vetiver Network (TVN) Newsletter, 15.
- Truong, P.N. and Baker, D. 1998. Vetiver grass system for environmental protection. Technical Bulletin N0. 1998/1. Pacific Rim Vetiver Network. Royal Development Projects Board, Bangkok, Thailand.
- Truong, Paul.1999. Vetiver Grass Technology For Mine Rehabilitation. The Office of the Royal Development Projects Board. Thailand.
- Truong, Paul et al. 2011. Penerapan Sistem Vetiver. Bali : The Indonesian Vetiver Network.
- Wardhana, Wisnu Arya. 2001. Dampak Pencemaran Lingkungan. Yogyakarta: Andi OFFSET
- Weast, C. 1981 . Handbook of Chemistry and Physics. 61 st Ed. Cleveland Ohio Chemical Rubber Co.
- Widowati W, Sastiono A, Jusuf R. R. 2008. Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- William, C. H. and D. J. David. 1977. Some effects of the distribution of cadmium and phosphat in the root zone of cadmium content of plants . *Aust. J. Soil. Res.* 15 :59-68.
- Wong, M.H. 2003. Ecological restoration of mine degraded soils with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere Issue 6*: 775 – 780
- www.epa.gov/superfund/site. 2001. A Citizen Guide to Phytoremediation [14 juli 2014]
- Yuniarti, S. I. 2012. Seleksi Tumbuhan Remediator Logam Kromium Di daerah Industri Sukaregang Garut. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Youngman, L. 1999. Physiological respon Of Switchgrass (*Panicum Virgatum* L) to Organic And Inorganic Amened Heavy-Metal Contaminated Chat Tailings. *Phytoremediation of Soil and Water Contaminants*, American Chemical society Symposium. Washington, D.C.
- Zisong W. 1991. Excepts from the experiments and popularization of Vetiver grass, Nanping prefecture, Fujian Province, China. The Vetiver Network (TVN) Newsletter 20. Vitiver Network, Leesburg, VA, USA.
- Zynda, T. 2001. Phytoremediation. Michigan State University The Technical Assistance for Brownfield Communities (TAB) Program