

**REHABILITASI TANAH SAWAH TERCEMAR NATRIUM DAN
LOGAM BERAT MELALUI PENCUCIAN, PENGGUNAAN
VEGETASI, BAHAN ORGANIK DAN BAKTERI**

SANDRA SUKMANING ADJI

Universitas Terbuka



**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR**

2006

Abstrak

SANDRA SUKMANING ADJI. Rehabilitasi Tanah Sawah Tercemar Natrium dan Logam Berat melalui Pencucian, Penggunaan Vegetasi, Bahan Organik dan Bakteri. (Dibawah bimbingan SANTUN R.P. SITORUS, KOMARUDDIN IDRIS, DWI ANDREAS SANTOSA serta UNDANG KURNIA).

Air Sungai Cikijing yang tercemar buangan industri tekstil mengandung natrium dan logam berat. Air sungai tersebut digunakan sebagai irigasi bagi tanah sawah setempat. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan cara rehabilitasi tanah sawah tercemar air irigasi aliran Sungai Cikijing melalui pencucian, penggunaan vegetasi, bahan organik dan bakteri. Percobaan vegetasi dilakukan di rumah kaca dengan menggunakan rancangan acak lengkap. Vegetasi yang digunakan adalah enceng gondok (*Eichornia crassipes*), mendong (*Fimbristylis globulosa*), akar wangi (*Vertiveria zizanioid*) dan haramay (*Boehmeria nivea* Gaud). Sedang untuk penggunaan bahan organik dan bakteri dilakukan di rumah kaca dan lapang dengan menggunakan rancangan petak terpisah (*split plot*). Petak utama merupakan jenis air irigasi yaitu air irigasi saring dan air sumur dalam, dan anak petak adalah bahan organik dan bakteri. Bahan organik yang digunakan adalah kotoran ayam, sapi, kambing dan kompos tanaman. Bakteri yang digunakan adalah *Desulfotomaculum orientis* ICBB 1204 dan ICBB 1220 dengan tanaman indikator padi. Hasil percobaan di rumah kaca menunjukkan bahwa penggunaan vegetasi, bahan organik dan bakteri secara nyata (pada taraf 5 %) mampu menurunkan kandungan logam berat Pb, Cd dan Cr tersedia dalam tanah dibandingkan dengan tanpa penggunaan vegetasi, bahan organik dan bakteri. Sementara hasil percobaan di lapang menunjukkan bahwa penggunaan berbagai macam bahan organik dan bakteri mampu menurunkan kandungan logam berat tersedia dalam tanah akan tetapi penurunannya tidak berbeda nyata. Pencucian dengan menggunakan air sumur dalam dan air irigasi mampu menurunkan kandungan natrium dalam tanah.

Kata kunci: air irigasi saring, air sumur dalam, vegetasi, bahan organik dan bakteri.

Abstract

SANDRA SUKMANING ADJI. The Rehabilitation of Ricefield Soils through Leaching and the use of Vegetation, Organic Matter and Bacteria. (Supervised by SANTUN R.P. SITORUS, KOMARUDDIN IDRIS, DWI ANDREAS SANTOSA and UNDANG KURNIA).

*Water of Cikijing River is indicated as containing sodium and heavy metal elements come from textile industries polluted. This river is the only water resource of local farmers to irrigate their ricefields. This research aims to find out rehabilitation method of ricefields soils polluted by sodium and heavy metal through leaching and the use of vegetation, organic matter and bacteria. Experiments were conducted in two sites: greenhouse and ricefield. Vegetation treatment was conducted under greenhouse experiments using Complete Randomized Design (CRD) while organic and bacteria treatments were conducted under greenhouse and ricefield experiments using Split Plot Design. Vegetation elements used for this research were *Eichornia crassipes*, *Fimbristylis globulosa*, *Vertiveria zizanioid*, *Boehmeria nivea* Gaud. Organic matter used were manure of chicken, cattle, lamb and compost of plant. Bacteria used were *Desulfotomaculum orientis* ICBB 1204 and ICBB 1220. The result of greenhouse experiments shows that the use of vegetation, organic matter and bacteria were significantly reduce the volume of Pb, Cd and Cr contained in the soil. While the result of field experiment shows that the use of organic matter and bacteria reduce the volume of those heavy metals in the soil but the reduction is not statistically significant. Finding shows that the use of water filtering and the deep-well water for irrigation decreased sodium/Na content.*

Keywords: *Vegetation, organic matter, bacteria, filtered-water, deep-well water.*

**REHABILITASI TANAH SAWAH TERCEMAR NATRIUM
DAN LOGAM BERAT MELALUI PENCUCIAN,
PENGUNAAN VEGETASI, BAHAN ORGANIK DAN
BAKTERI**

Oleh :

SANDRA SUKMANING ADJI

Disertasi

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Doktor

pada Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan

**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR**

2006

Judul Disertasi : Rehabilitasi Tanah Sawah Tercemar Natrium dan Logam Berat melalui Pencucian, Penggunaan Vegetasi, Bahan Organik dan Bakteri

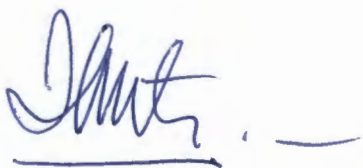
Nama : Sandra Sukmaning Adji

Nrp : P026010021

Program Studi : Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan

Disetujui,

1. Komisi Pembimbing



Prof. Dr. Ir. Santun R.P. Sitorus

Ketua



Dr. Ir. Komaruddin Idris, MS

Anggota



Dr. Ir. Dwi Andreas Santosa, MS

Anggota



Dr. Ir. Undang Kumia

Anggota


Diketahui,

2. Ketua Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan



Dr. Ir. Surjono H. Sutjahjo, MS

3. Dekan Sekolah Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. Sjafrida Manuwoto, MSc.

Tanggal Ujian : 30 Januari 2006

Tanggal Lulus: 24 FEB 2006

PRAKATA

Puji syukur dipanjatkan kehadirat Allah S.W.T., karena atas tuntunan dan karunia-Nya disertasi ini berhasil diselesaikan. Pada kesempatan ini disampaikan banyak terimakasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Santun R.P. Sitorus selaku Ketua Komisi Pembimbing, Dr. Ir. Komaruddin Idris, M.S., Dr. Ir. Dwi Andreas Santosa, M.S., dan Dr. Ir. Undang Kurnia selaku Anggota Komisi; yang telah meluangkan banyak waktu dalam memberikan saran, arahan serta petunjuk sejak penyusunan rencana penelitian sampai dengan penulisan disertasi ini.
2. Rektor serta jajaran pimpinan di Universitas Terbuka yang telah memberikan izin untuk mengikuti Program Doktor (S3) serta Dekan Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor yang telah memberi kesempatan kepada saya untuk mengikuti Program Doktor (S3) pada Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan di Institut Pertanian Bogor.
3. Jajaran Pimpinan serta seluruh staf pada Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan di Institut Pertanian Bogor.
4. Direktur ICBB serta teman-teman dari laboratorium Mikrobiologi dan Bioteknologi Lingkungan PPLH & ICBB yang telah memperkenankan saya untuk bekerja dan menggunakan koleksi isolat bakteri serta bahan-bahan kimia yang diperlukan selama percobaan berlangsung.
5. Direktur Pendidikan Tinggi (BPPS) yang telah memberi beasiswa selama 42 bulan.
6. Yayasan Toyota Astra yang telah memberi tambahan bantuan biaya penelitian.
7. Dr. Ir Wahyuni Kadarko serta seluruh teman-teman dari Universitas Terbuka yang tidak dapat saya sebut satu persatu yang telah memberi dorongan moril kepada saya selama sekolah.
8. Teman-teman selama sekolah di Pascasarjana Institut Pertanian Bogor baik teman satu angkatan maupun yang berbeda angkatan.

9. Bapak Mardjuki, Bapak Miskam, Bapak Misja, Adik Tommy, Lina dan Vera yang membantu saya pada percobaan di rumah kaca dan lapang
10. Khusus kepada yang tercinta Bapak Atmoedji BBA (almarhum) dan Ibu A. Soejkti yang senantiasa mendoakan keberhasilan saya.
11. Kakak-kakak, adik-adik serta seluruh keponakan yang banyak memberi semangat dalam menyelesaikan studi.
12. Seluruh pihak yang telah membantu penulis selama menyelesaikan studi ini.

Akhirnya semoga disertasi ini dapat memberi manfaat bagi yang memerlukannya.

Bogor, Februari 2006

Sandra Sukmaning Adji

RIWAYAT HIDUP

Penulis di lahirkan di Jakarta, 5 Januari 1959 sebagai anak ke tiga dari tujuh bersaudara, pasangan Atmoeadji BBA dan A. Soejekti. Pendidikan dasar ditempuh pada S.D Sumbangsih, sekolah menengah pada S.M.P. Negeri V dan S.M.A. Negeri I di Jakarta. Pendidikan sarjana ditempuh pada Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan Jakarta dengan bidang ilmu Pendidikan Kimia Teknik, lulus pada tahun 1983. Pada tahun 1994 penulis berhasil menamatkan pendidikan Magister Teknologi Pendidikan (S2) dari Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan Jakarta, dan pada tahun 1997 penulis berhasil menamatkan pendidikan Magister Science Education (S2) pada Deakin University, Australia. Sejak tahun 2001 penulis melanjutkan studi pada program Doktor (S3) pada Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

Penulis sejak tahun 1984 hingga saat ini bekerja sebagai staf edukatif pada Program Studi Pendidikan Kimia, Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Terbuka, yang berlokasi di Pondok Cabe Tangerang.

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Kerangka Pemikiran	4
1.4 Perumusan Masalah	5
1.5 Hipotesis	6
1.6 Manfaat Penelitian	6
1.7 Novelty Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pencemaran Lingkungan Tanah	7
2.2 Karakteristik Limbah Industri Tekstil	8
2.3 Logam Berat	10
2.3.1. Timbal (Pb)	13
2.3.2. Kadmium (Cd)	15
2.3.3. Krom (Cr)	16
2.4 Vegetasi untuk Mengikat Logam Berat	17
2.5 Bahan Organik sebagai Pengkelat Logam Berat	20
2.6 Penggunaan Bakteri untuk Pengakumulasi Logam Berat	23
2.7 Zeolit sebagai Pengikat Natrium	26
2.8 Aplikasi Pencucian, Penggunaan Vegetasi, Bahan Organik dan Bakteri	27
III. BAHAN DAN METODE PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.2 Bahan dan Alat	30
3.3 Metode Percobaan	30
3.3.1. Rancangan Penelitian	
3.3.1.1. Penggunaan Vegetasi pada Percobaan di Rumah Kaca	30
3.3.1.2. Penggunaan Bahan Organik dan Bakteri pada Percobaan di Rumah Kaca	32
3.3.1.3. Penggunaan Bahan Organik dan Bakteri pada Percobaan di Lapang	33
3.3.2. Pelaksanaan Penelitian	
3.3.1.1. Pelaksanaan Penelitian di Rumah Kaca	35
3.3.1.2. Pelaksanaan Penelitian di Lapang	36
3.3.3. Peubah yang Diamati	37
3.4 Analisis Statistika	37
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Karakteristik Tanah di Lokasi Penelitian	39

4.2 Pengaruh Pecucian dengan Menggunakan Air Sumur Dalam dan Air Irigasi Saring terhadap Kandungan Natrium dalam Tanah....	42
4.3 Pengaruh Penggunaan Vegetasi Pengikat Logam Berat terhadap Kandungan Pb, Cd dan Cr	
4.3.1 Kadar Logam Berat dalam Tanah.....	46
4.3.2 Kadar dan Serapan Logam Berat di Akar	49
4.3.3 Kadar dan Serapan Logam Berat di Daun	51
4.4 Pengaruh Penggunaan Bahan Organik terhadap Pb, Cd dan Cr.	
4.4.1 Percobaan di Rumah Kaca	54
4.4.1.1. Kadar Logam dalam Tanah, Akar, Daun dan Beras.....	54
4.4.1.2. Serapan Logam Berat dalam Akar dan Jerami.....	57
4.4.2. Percobaan di Lapangan	
4.4.2.1 Kadar Logam Berat dalam Tanah, Akar, Daun dan Beras.....	60
4.4.2.2 Serapan Logam Berat dalam Akar dan Jerami.....	63
4.5. Pengaruh Penggunaan Bakteri terhadap Pb, Cd, dan Cr	
4.5.1. Percobaan di Rumah Kaca	
4.5.1.1 Kadar Logam dalam Tanah, Akar, Daun dan Gabah	68
4.5.1.2 Serapan Logam Berat dalam Akar dan Jerami.....	70
4.5.2 Percobaan di Lapangan	
4.5.2.1 Kadar Logam dalam Tanah, Akar, Daun dan Beras.....	72
4.5.2.2 Serapan Logam Berat dalam Akar dan Jerami	74
4.6. Perhitungan Hasil	77
4.7. Perbaikan Tanah Sawah Tercemar Industri Tekstil di Kecamatan Rancaekek.....	81
4.7.1. Perbaikan Tanah Sawah Tercemar Natrium	82
4.7.2 Perbaikan Tanah Sawah Tercemar Pb, Cd dan Cr.....	83
V. SIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Simpulan	89
5.2 Saran.....	89
DAFTAR PUSTAKA	91
LAMPIRAN	99

DAFTAR TABEL

Tabel	Teks	Halaman
1.	Sifat-sifat fisika dan kimia di lokasi penelitian pada awal penelitian	39
2.	Kadar logam total (ekstrak $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$) pada tanah sawah di lokasi penelitian Blok Rancakeong.....	41
3.	Kadar logam tersedia (ekstrak NH_4COOH) pada tanah sawah di lokasi penelitian Blok Rancakeong	41
4.	Hasil analisis sifat kimia Air Sungai Cikijing, Air Irigasi Saring dan Air Sumur Dalam	43
5.	Hasil uji nilai tengah berpasangan kadar logam berat dalam tanah ekstrak NH_4COOH (Percobaan fitoremediasi di rumah kaca)	47
6.	Hasil uji nilai tengah berpasangan kadar logam berat dalam tanah ekstrak $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$ (Percobaan fitoremediasi di rumah kaca)	48
7.	Nilai rata-rata kadar logam berat dalam tanah ekstrak $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$ (Percobaan fitoremediasi di lapang)	48
8.	Nilai tengah berpasangan kadar logam berat dalam akar (Percobaan fitoremediasi di rumah kaca)	49
9.	Nilai tengah berpasangan kadar logam berat dalam daun (Percobaan fitoremediasi di rumah kaca).....	51
10.	Hasil uji nilai tengah berpasangan kadar logam berat dalam tanah ekstrak NH_4COOH (Percobaan penggunaan bahan organik di rumah kaca).....	55
11.	Logam Berat dalam akar, daun dan beras ekstrak $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$ (Percobaan penggunaan bahan organik di rumah kaca).....	56
12.	Kadar logam berat dalam tanah ekstrak NH_4COOH (Percobaan penggunaan bahan organik di lapang).....	61
13.	Logam dalam tanah, akar, daun dan beras ekstrak $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$ (Percobaan penggunaan bahan organik di lapang).	62
14.	Hasil uji nilai tengah berpasangan kadar logam berat dalam tanah (Percobaan inokulasi bakteri di rumah kaca)	69
15.	Logam berat dalam akar, daun dan beras ekstrak $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$ (Percobaan inokulasi bakteri di rumah kaca).....	69

16. Hasil uji nilai tengah berpasangan kadar logam berat dalam tanah ekstrak NH_4COOH (Percobaan inokulasi bakteri di lapang) 73
17. Logam berat dalam akar, daun dan beras ekstrak $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$ (Percobaan inokulasi bakteri di lapang) 73
18. Hasil tanaman padi pada percobaan dengan menggunakan tiga sumber air yang berbeda 79

Universitas Terbuka

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Teks	Halaman
1.	Kerangka pemikiran perbaikan tanah tercemar limbah industri tekstil	5
2.	Reaksi pembentukkan senyawa kompleks	18
3.	Reaksi pembentukkan kelat	20
4.	Bagan struktur molekul berbagai kompleks.....	21
5.	Kecamatan Rancaekek di Kabupaten Bandung.....	29
6.	Desa Linggar di Kecamatan Rancaekek.....	29
7.	Tata letak pot percobaan fitoremediasi di rumah kaca	31
8.	Tata letak pot percobaan penggunaan bahan organik dan bakteri di rumah kaca	32
9.	Tata letak pot percobaan penggunaan bahan organik dan bakteri di lapang	34
10.	Perkembangan tinggi dan jumlah anakan tanaman padi pada tanah sawah yang diairi ASD dan AIS pada percobaan penggunaan bahan organik dan bakteri di rumah kaca	45
11.	Pertumbuhan tanaman dengan tiga jenis air yang berbeda	45
12.	Serapan logam berat dalam akar vegetasi	50
13.	Serapan logam berat di daun	53
14.	Serapan logam berat dalam akar tanaman padi pada tanah sawah yang diberi bahan organik	58
15.	Serapan logam berat di jerami tanaman padi pada tanah sawah yang diberi bahan organik	59
16.	Serapan logam berat dalam akar tanaman padi pada tanah sawah yang diberi bahan organik	64
17.	Serapan logam berat dalam jerami tanaman padi pada tanah sawah yang diberi bahan organik	65
18.	Serapan logam berat dalam akar tanaman padi pada tanah sawah dengan inokulasi bakteri	71
19.	Serapan logam berat dalam jerami tanaman padi pada tanah sawah dengan inokulasi bakteri	72
20.	Serapan logam berat dalam akar tanaman padi pada tanah sawah dengan inokulasi bakteri	75

21.	Serapan logam berat dalam jerami tanaman padi pada tanah sawah dengan inokulasi bakteri	76
22.	Pertumbuhan tanaman padi yang diairi Air Sumur Dalam dan Air Irigasi Saring	78

Universitas Terbuka

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Teks	Halaman
1.	Persiapan Percobaan di Rumah Kaca	99
2.	Komposisi Media Cair Postgate B.....	100
3.	Hasil Analisa Kadar Natrium pada Air Irigasi yang telah Disaring	100
4.	Sistem Penyaringan Air Aliran Sungai Cikijing pada Percobaan di Lapang	101
5.	Petak Percobaan di Lapang	102
6.	Prosedur Analisis Kadar Pb, Cd dan Cr	102
7.	Hasil Analisis Sidik Ragam Serapan Pb, Cd dan Cr di Akar pada Percobaan Penggunaan Vegetasi di Rumah Kaca	105
8.	Hasil Analisis Sidik Ragam Serapan Pb, Cd dan Cr di Daun pada Percobaan Penggunaan Vegetasi di Rumah Kaca	105
9.	Hasil Analisis Sidik Ragam Kadar Pb, Cd dan Cr ekstrak NH ₄ COOH pada Percobaan Penggunaan Bahan Organik di Rumah Kaca)	106
10.	Hasil Analisis Sidik Ragam Serapan Pb, Cd dan Cr di Akar pada Percobaan Penggunaan Bahan Organik di Rumah Kaca....	106
11.	Hasil Analisis Sidik Ragam Serapan Pb, Cd dan Cr di Jerami pada Percobaan Penggunaan Bahan Organik di Rumah Kaca...	107
12.	Hasil Analisis Sidik Ragam Kadar Pb, Cd dan Cr ekstrak NH ₄ COOH pada Percobaan Penggunaan Bahan Organik di Lapang	107
13.	Hasil Analisis Sidik Ragam Serapan Pb, Cd dan Cr di Akar pada Percobaan Penggunaan Bahan Organik di Lapang.....	108
14.	Hasil Analisis Sidik Ragam Serapan Pb, Cd dan Cr di Jerami pada Percobaan Penggunaan Bahan Organik di Lapang.....	108
15.	Hasil Analisis Sidik Ragam Kadar Pb, Cd dan Cr ekstrak NH ₄ COOH pada Percobaan Inokulasi Bakteri di Rumah Kaca.	109
16.	Hasil Analisis Sidik Ragam Serapan Pb, Cd dan Cr di Akar pada Percobaan Penggunaan Inokulasi Bakteri di Rumah Kaca.....	109
17.	Hasil Analisis Sidik Ragam Serapan Pb, Cd dan Cr di Jerami pada Percobaan Inokulasi Bakteri di Rumah Kaca.....	110

18.	Hasil Analisis Sidik Ragam Kadar Pb, Cd dan Cr ekstrak NH_4COOH pada Percobaan Inokulasi Bakteri di Lapang	110
19.	Hasil Analisis Sidik Ragam Serapan Pb, Cd dan Cr di Akar pada Percobaan Inokulasi Bakteri di Lapang.....	111
20.	Hasil Analisis Sidik Ragam Serapan Pb, Cd dan Cr di Jerami pada Percobaan Inokulasi Bakteri di Lapang.....	111
21.	Hasil Analisis Sidik Ragam Hasil Gabah pada Percobaan Penggunaan Bahan Organik di Rumah Kaca).....	112
22.	Hasil Analisis Sidik Ragam Hasil Gabah pada Percobaan Inokulasi Bakteri di Rumah Kaca	112
23.	Macam – Macam Vegetasi pada Percobaan di Rumah Kaca.....	113
24.	Tanaman Padi dengan Berbagai Macam Dosis Bahan Organik pada Percobaan di Rumah Kaca	113
25.	Kadar Logam Berat dalam Bahan Organik	114

Universitas Terbuka

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan pembangunan termasuk industri tidak hanya mampu menyerap tenaga kerja, namun turut pula menyebabkan dampak negatif apabila tidak dikelola secara benar. Salah satu contohnya adalah kegiatan industri yang membuang limbahnya ke sungai/badan air yang digunakan sebagai sumber air irigasi. Walaupun pelaku industri tersebut menyatakan telah melakukan proses pengolahan limbah melalui Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), namun masih saja terdapat sejumlah senyawa beracun yang ikut terbawa pada aliran sungai. Limbah yang dibuang ke badan air dan menjadi sumber air irigasi bagi lahan pertanian yang masih produktif menimbulkan dampak yang tidak saja merugikan bagi keberlangsungan usaha tani pada lahan tersebut akan tetapi dapat berakibat pada kerusakan ekosistem.

Sejak tahun 1978 di wilayah Bandung tepatnya di kecamatan Rancaekek dan sekitarnya berkembang kawasan industri tekstil dan hingga kini tercatat ada lebih dari 30 pabrik tekstil yang berada di antara Rancaekek – Cicalengka. Banyaknya pabrik ini membawa pengaruh terhadap air buangan yang dialirkan melalui sungai di sekitarnya, terlebih apabila IPAL dari pabrik ada yang tidak berfungsi maksimal. Sementara Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 85 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Beracun menyebutkan bahwa dampak kegiatan industri tekstil yang perlu diwaspadai di antaranya adalah akibat adanya logam berat yang keluar bersama air buangan. Logam berat tersebut di antaranya adalah arsen, kadmium, krom, timbal, tembaga dan seng.

Kandungan logam berat atau bahan beracun berbahaya lainnya dalam limbah yang dihasilkan dari suatu kegiatan industri tergantung pada bahan baku yang digunakan. Beberapa proses di dalam kegiatan industri tekstil seperti pewarnaan dan pencelupan (*dyeing*) menggunakan bahan baku dari senyawa logam berat misalnya senyawa bikromat, maka limbah yang dihasilkan dipastikan mengandung unsur-unsur logam berat yang ada dalam senyawa tersebut.

Air sungai Cikijing dan tanah sawah di Kecamatan Rancaekek yang berdekatan dengan daerah industri tersebut mengandung logam berat Cu, Zn, Pb, Cd, Co, Cr dan Ni. (Suganda *et al.*, 2002). Selanjutnya hasil analisis pendahuluan pada penelitian ini, tanah sawah di Blok Rancakeong Desa Linggar Kecamatan Rancaekek mengandung logam berat Cu, Zn, Pb, Cd, Co, Cr dan Ni. baik nilai total maupun tersedia (ion) dalam tanah. Keberadaan seluruh nilai tersedia dari logam berat tersebut telah berpotensi untuk terjerap dalam akar tanaman dan tertranslokasi dalam jaringan tanaman. Adanya logam berat dalam air aliran Sungai Cikijing diduga berpengaruh terhadap keberadaan unsur-unsur logam dalam tanah sawah yang mendapat pengairan dari sungai tersebut.

Logam berat dalam tanah berimplikasi pada adanya logam berat dalam tanaman. Sudirdja (1999) melakukan penelitian di rumah kaca untuk mengetahui pengaruh penggunaan air sungai Cikijing terhadap kandungan Cd dan Cr dalam tanaman. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa terjadi peningkatan serapan Cd pada jerami tanaman padi dan serapan Cr pada akar tanaman padi. Sementara penelitian yang dilakukan oleh Suganda *et al.*, (2002) menunjukkan bahwa jerami padi dan gabah di wilayah Rancaekek mengandung logam berat seperti Cu, Zn, Pb, Cd, Co, Cr, dan Ni.

Dengan adanya logam berat dalam bentuk ion atau terlarut akan mudah terjerap pada jaringan tanaman, dan bila tanaman yang mengikatnya adalah tanaman pangan seperti padi maka pencemaran logam berat akan lebih berbahaya bagi kehidupan. Oleh sebab itu, upaya mengkelat logam berat dalam tanah perlu dilakukan guna menghindari terjerapnya logam berat dalam tanaman padi.

Selain logam berat, berdasarkan hasil analisis air limbah yang diambil dari bagian hulu sungai Cikijing yang berbatasan dengan beberapa industri tekstil menunjukkan kandungan natrium yang ada telah melewati batas yang diperkenankan untuk air irigasi seperti tertera dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 20 tahun 1990 sebesar 60mg/l. Salah satu contoh hasil analisis limbah yang telah diproses melalui IPAL di salah satu pabrik tekstil masih mengandung natrium sebesar 583 mg/l (Ramadhi, 2002). Bahkan hasil analisis pendahuluan penelitian ini menunjukkan bahwa kadar natrium dalam air irigasi yang berasal dari aliran sungai Cikijing berkisar antara 540 - 1026 ppm Na.

Tingginya kandungan natrium dalam air limbah industri tekstil diduga akibat pemakaian NaOH , Na_2CO_3 atau deterjen yang digunakan pada pelepasan wax (BBPPIT, 1982) dan penggunaan natrium hidrofosfat (Na_2HPO_4) pada proses *bleaching*

Tingginya kandungan natrium dalam air sungai Cikijing berdampak pada tanah sawah di sekitarnya. Berdasarkan analisis awal, tanah sawah mengandung natrium sebesar 10,11 sampai dengan 10,60 me/100 g. Sementara menurut Sitorus (1998) Hardjowigeno dan Widiatma (2001) kandungan natrium dalam tanah di atas 1,0 me/100 mg tergolong sangat tinggi. Dengan demikian kandungan natrium menjadi faktor pembatas, sehingga perlu adanya upaya untuk menurunkan kandungan natrium di dalam tanah.

Sementara adanya natrium yang tinggi pada tanah sawah menyebabkan tanaman sulit tumbuh, dan telah menurunkan produksi gabah menjadi sebesar 1 – 1,5 ton/ha di sekitar daerah industri tersebut (Suganda *et al.*, 2002). Memang diakui dengan berkembangnya wilayah tersebut menjadi daerah industri dapat meningkatkan pertumbuhan ekonomi dengan cepat, namun tidak menutup kemungkinan terjadinya biaya-biaya sosial yang akan ditanggung dalam jangka waktu yang lama. Misalnya biaya sosial dikarenakan logam berat dalam jumlah yang berlebih akan bersifat racun. Logam berat yang masuk ke dalam tubuh akan terakumulasi dalam darah dan lemak yang apabila melebihi ambang batas dapat mengakibatkan gangguan kesehatan. Linder (1992) menjelaskan bahwa logam berat dalam tubuh cenderung membentuk senyawa kompleks dengan zat-zat organik yang terdapat dalam tubuh, sehingga logam tersebut terfiksasi atau tidak di ekskresi.

Berdasarkan uraian di atas maka kebijakan pembangunan yang berwawasan lingkungan hidup perlu diusahakan agar pembangunan tidak hanya penting untuk peningkatan taraf hidup dalam arti material, melainkan juga dalam rangka meningkatkan mutu kehidupan. Pembangunan yang berwawasan lingkungan hidup diharapkan dapat mencegah terjadinya dampak lain yang merugikan masyarakat. Sehubungan dengan adanya kerusakan tanah akibat tingginya kandungan logam berat, maka upaya perbaikan yang dapat dilakukan adalah bioremediasi, fitoremediasi dan penggunaan bahan organik. Sementara

upaya perbaikan akibat kerusakan lingkungan yang disebabkan karena tingginya kandungan natrium di antaranya dapat dilakukan dengan pencucian.

1.2. Tujuan Penelitian

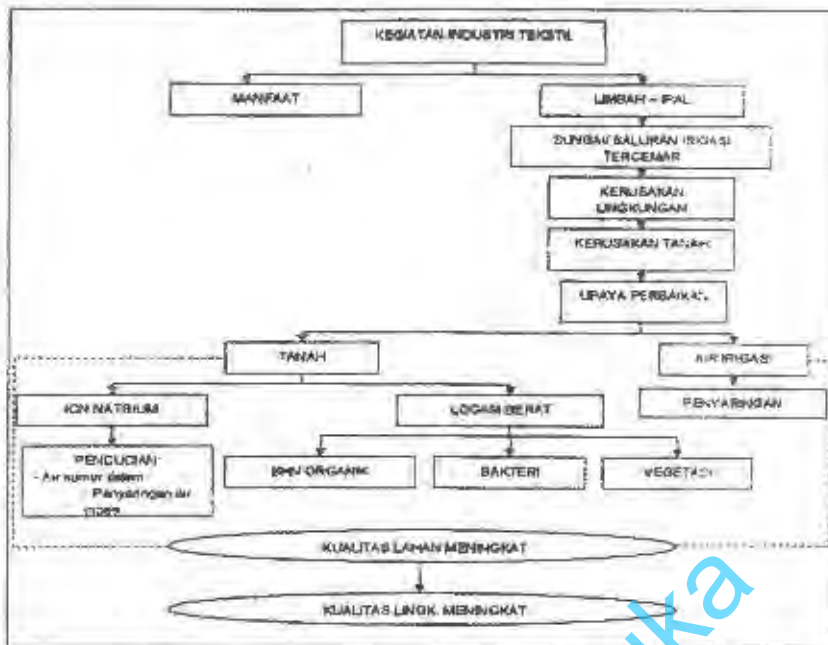
Penelitian bertujuan untuk mempelajari teknik rehabilitasi tanah sawah tercemar natrium dan logam berat melalui pencucian, penggunaan vegetasi pengikat logam berat, bahan organik dan bakteri. Penggunaan vegetasi pengikat logam berat bertujuan untuk mengikat logam berat dari dalam tanah dengan menggunakan tanaman non-pangan seperti mendong, eceng gondok, akar wangi dan haramay. Selanjutnya penggunaan bahan organik dimaksudkan untuk mengkelat logam berat. Bahan organik yang digunakan adalah kotoran unggas, kotoran sapi, kotoran kambing dan kompos tanaman. Sedang bakteri digunakan untuk mengendapkan logam berat terlarut agar tidak terjerap dalam tanaman pangan. Bakteri yang digunakan *Desulfotomaculum orientis* ICBB 1204 dan 1220, yaitu merupakan isolat bakteri yang tersimpan dalam koleksi kultur *Indonesian Centre for Biodiversity and Biotechnology (ICBB)*.

Teknik pencucian dimaksudkan untuk menurunkan kadar natrium dalam tanah, dilakukan dengan menggunakan air bersih yang berbeda kualitasnya, yang bersumber dari air sumur dalam (ASD) dan air irigasi saring (AIS). Dengan demikian secara khusus penelitian ini bertujuan untuk mengetahui:

- (1) Pengaruh pencucian yang menggunakan ASD dan AIS terhadap penurunan kandungan natrium di dalam tanah.
- (2) Kemampuan eceng gondok, mendong, akar wangi, dan haramay dalam menurunkan kandungan logam berat dalam tanah.
- (3) Kemampuan bahan organik dalam menurunkan kandungan logam berat dalam tanah.
- (4) Kemampuan bakteri *Desulfotomaculum orientis* isolat ICBB 1204 dan ICBB 1220 dalam menurunkan kandungan logam berat dalam tanah.

1.3. Kerangka Pemikiran:

Kerangka pemikiran yang digunakan pada penelitian digambarkan seperti tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir alur fikir perbaikan tanah sawah tercemar natrium dan logam berat

1.4. Perumusan Masalah

Adanya kegiatan industri tekstil yang berdekatan dengan daerah pertanian seperti di Rancaekek berpotensi menurunkan kualitas tanah khususnya tanah sawah, karena limbah pabrik dibuang ke sungai/badan air, sedangkan sungai yang ada merupakan sumber air irigasi bagi persawahan di daerah tersebut terutama dimusim kemarau. Keadaan ini sudah berlangsung selama bertahun – tahun sehingga tanah di daerah tersebut mengandung natrium dan logam berat. Tingginya kandungan natrium dalam tanah sawah menyebabkan tanaman sulit tumbuh, akibatnya produksi yang dihasilkan dari tanah sawah tersebut mengalami penurunan. Selain itu, adanya Pb, Cd dan Cr pada tanah sawah kemungkinan akan terjerap dalam tanaman. Bila bagian tanaman seperti daun dan buah/biji dikonsumsi hewan atau manusia maka lambat laun akan menimbulkan keracunan bagi yang mengkonsumsinya. Oleh sebab itu, perbaikan sifat tanah yang tercemar tersebut perlu dilakukan agar tanaman dapat berproduksi kembali dengan baik. Ada beberapa cara yang dilakukan untuk perbaikan tanah sawah, yaitu melalui pencucian, pemberian bahan organik, bakteri dan penggunaan tanaman pengikat logam berat. Sehubungan dengan hal tersebut maka pertanyaan yang perlu diajukan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

- (1) Apakah penggunaan air sumur dalam dan air irigasi saring dapat menurunkan kandungan natrium dalam tanah ?
- (2) Apakah penggunaan eceng gondok, mendong, akar wangi dan haramay dapat menurunkan kandungan logam berat dalam tanah?
- (3) Apakah penggunaan bahan organik dapat menurunkan kandungan logam berat dalam tanah?
- (4) Apakah inokulasi bakteri *Desulfotomaculum orientis* isolat ICBB 1204 dan ICBB 1220 dapat menurunkan kandungan logam berat dalam tanah?

1.5. Hipotesis

Berdasarkan uraian di atas, hipotesis yang dapat dirumuskan adalah sebagai berikut:

- (1). Pencucian dengan menggunakan air sumur dalam dan air irigasi saring mampu menurunkan kandungan natrium dalam tanah sawah.
- (2). Eceng gondok, mendong, akar wangi dan haramay mampu menurunkan kandungan logam berat dalam tanah.
- (3). Penggunaan bahan organik mampu menurunkan kandungan logam berat dalam tanah.
- (4). Inokulasi bakteri *Desulfotomaculum orientis* isolat ICBB 1204 dan ICBB 1220 mampu menurunkan kandungan logam berat dalam tanah.

1.6. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai masukan bagi para petani, para pengambil kebijakan dalam usaha rehabilitasi tanah sawah tercemar natrium dan logam berat dan mencegah dampak negatif terjerapnya logam berat oleh tanaman pangan.

1.7. Novelty

Kebaruan dalam penelitian ini adalah penggunaan kombinasi teknik pencucian dengan bahan organik dan bakteri, sebagai teknik rehabilitasi pada tanah persawahan yang tercemar natrium dan logam berat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pencemaran Lingkungan di Tanah

Pencemaran lingkungan terjadi karena masuknya atau dimasukkannya bahan-bahan yang diakibatkan oleh berbagai kegiatan manusia dan atau yang dapat menimbulkan perubahan yang merusak karakteristik fisik, kimia, biologi atau estetika lingkungan tersebut (Odum, 1971). Perubahan tersebut dapat terjadi di air, udara dan tanah sehingga menimbulkan bahaya bagi kehidupan manusia atau spesies-spesies yang berguna baik saat ini atau dimasa mendatang. Misalnya terlepasnya senyawa organik dan anorganik berbahaya ke dalam lingkungan oleh perilaku manusia seperti pembuangan limbah industri yang belum diolah secara baik. Akibatnya akan terjadi perubahan sifat fisik, kimia dan biologi yang tidak diinginkan terhadap tanah, air dan udara yang selanjutnya dapat berdampak terhadap kehidupan makhluk hidup dan habitatnya.

Ada tiga konsep berkaitan dengan dampak pencemaran yaitu: biokonsentrasi, bioakumulasi dan biomagnifikasi. Biokonsentrasi adalah proses masuknya zat kimia ke dalam tubuh organisme dan kemudian terakumulasi. Bioakumulasi lebih luas dari biokonsentrasi yang merupakan proses pengambilan dan retensi bahan pencemar oleh makhluk hidup yang mengakibatkan peningkatan kepekatan sehingga dapat menimbulkan pengaruh yang merusak (racun). Biomagnifikasi berkaitan dengan peningkatan konsentrasi suatu zat kimia (kontaminan) pada setiap tingkat tropik dari rantai makanan. Biotransfer tersebut terjadi dari satu tingkat ke tingkat tropik yang lebih tinggi (Fergusson, 1991).

Pencemaran tidak hanya dapat terjadi di air dan udara namun dapat pula terjadi di tanah. Pencemaran yang terjadi di tanah akan berpengaruh pada tumbuhan yang tumbuh di atasnya. Tanah adalah suatu benda alam yang bersifat kompleks atau memiliki suatu sistem yang hidup dan dinamis. Bahan penyusun tanah adalah batuan, sisa-sisa tumbuhan dan hewan serta jasad-jasad hidup, udara dan air (Sarief, 1986). Selain itu tanah adalah suatu lingkungan untuk pertumbuhan tanaman. Bagian tanaman yang langsung berhubungan dengan tanah adalah akar yang berperan dalam pertumbuhan dan kelangsungan hidup tanaman dengan jalan menyerap hara dan air. Kerusakan tanah akan terjadi bila daya sangga

(kemampuan tanah untuk menerima beban pencemaran tanpa harus menimbulkan dampak negatif) telah terlampaui dan biasanya bahan pencemar ini mengandung bahan beracun berbahaya (B3). Berdasarkan pendekatan GLASOD (*Global Assessment of Soil Degradation*), ada 5 jenis penyebab degradasi tanah yaitu: (1) Deforestasi, (2) *Overgrazing*, (3) Aktivitas Pertanian, (4) Eksploitasi vegetasi secara berlebihan untuk penggunaan domestik, dan (5) Aktivitas Bio – Industri dan Industri (Oldeman, 1994). Dengan demikian tanah yang telah menurun kemampuannya dalam mendukung kehidupan manusia dapat dikategorikan sebagai tanah rusak dan umumnya kerusakan tanah lebih banyak disebabkan berkurangnya kemampuan tanah untuk mendukung pertumbuhan tumbuhan.

Kerusakan tanah akibat adanya kegiatan industri pada daerah sekitarnya memberikan peluang terjadinya penurunan kesuburan tanah dan bahkan dapat menjadi racun bagi tanaman. Adanya kerusakan tanah memerlukan upaya perbaikan dan pemulihan kembali sehingga kondisi tanah yang rusak dapat berfungsi kembali secara optimal sebagai unsur produksi, media pengatur air, dan sebagai unsur perlindungan alam (Zulfahmi, 1996).

Pemanfaatan tanah hingga kini terus berkembang di antaranya untuk membangun tempat tinggal, bercocok tanam dan rekreasi. Salah satu fungsi tanah untuk bercocok tanam dilakukan pada tanah sawah. Tanah sawah didefinisikan sebagai tanah yang digunakan untuk bertanam padi sawah baik terus menerus sepanjang tahun maupun bergiliran dengan tanaman palawija. Mengingat tanah dan air merupakan sumber daya alam yang sangat penting untuk mendukung kehidupan termasuk untuk kegiatan pertanian maka keberadaan sumber daya alam tersebut harus tetap terjaga kelestarian kualitasnya sehingga pertanian yang berkelanjutan (*sustainable agriculture*) dapat diwujudkan.

2.2. Karakteristik Limbah Industri Tekstil

Ada tiga tahapan penting dalam proses pembuatan tekstil yang meliputi proses pemintalan benang (*spinning*), penenunan (*weaving*) dan pencelupan (*dyeing*). Dalam proses tersebut digunakan beberapa bahan kimia di antaranya pewarna, diazo, resin, kanji dan hanya sebagian dari bahan-bahan tersebut terjerap dan melekat pada tekstil. Talkurputra dan Sutamiharja (1978) menerangkan

bahwa pencemaran air oleh industri tekstil disebabkan adanya proses basah yang mencakup penghilangan kanji, penggelantangan, pelepasan lilin dan pencelupan. Pada umumnya industri tekstil telah melakukan pengolahan limbah seperti pengolahan pendahuluan (*preliminary treatment*), unit pengolahan primer (*primary treatment*), unit pengolahan sekunder (*secondary treatment*) dan unit pengolahan tersier (*tertiary treatment*) namun seringkali limbah industri tekstil masih mengandung senyawa kimia yang keluar bersama air buangnya serta mempunyai pH yang relatif tinggi. Sebagai contoh hasil analisis limbah cair dari industri tekstil di wilayah Rancaekek menunjukkan bahwa pH limbah cair P.T. Kahatex yang keluar dari proses industri sebesar 10,86 namun setelah melalui proses pengolahan menjadi 6,8. Sedang pada P.T. Five Star, pH limbah cair yang keluar dari proses industri sebesar 10,67 dan setelah keluar dari proses pengolahan menjadi 7,31 (Santoso, 2004). Walaupun nilai pH larutan telah mendekati angka netral atau tidak bersifat basa maupun asam namun berdasarkan hasil analisis pada hulu sungai Cikijing menunjukkan natrium yang tinggi. Tingginya derajat keasaman (pH) menurut BBPPIT (1982) pada industri tekstil dapat berasal dari proses basah pembuatan tekstil.

Industri tekstil selain menghasilkan buangan natrium umumnya juga mengandung senyawa logam berat di antaranya timbal, kadmium, dan krom. Hasil analisis tanah di sekitar pabrik tekstil terbesar di wilayah Rancaekek (P.T. Kahatex) menunjukkan angka 15,61 ppm Pb; 0,13 ppm Cd; dan 413 ppm Cr (Suganda *et al.*, 2002). Logam berat juga terdapat pada tanah sawah, serta tanaman yang tumbuh di wilayah tersebut (Abdurachman *et al.*, 2000; Suganda *et al.*, 2002). Kandungan logam berat pada tanah di wilayah Rancaekek yang diairi air sungai Cikijing menunjukkan kisaran angka sebesar 8,73 sampai dengan 22,76 ppm Pb; 0,05 sampai dengan 0,19 ppm Cd dan 0,78 sampai dengan 24,92 ppm Cr. Sedang pada jerami tanaman padi yang tumbuh di wilayah tersebut menunjukkan kisaran angka sebesar 0,971 sampai dengan 5,384 ppm Pb; 0,029 sampai dengan 0,351 ppm Cd dan 0,673 sampai dengan 4,521 ppm Cr. Sementara pada beras yang dihasilkan menunjukkan kisaran angka sebesar 0,092 sampai dengan 0,918 ppm Pb; 0,026 sampai dengan 0,180 ppm Cd; 0,985 sampai dengan 17,110 ppm Cr (Suganda *et al.*, 2002).

Kondisi yang tidak jauh berbeda juga terjadi di Daerah Aliran Sungai (DAS) Bengawan Solo yang beberapa tahun terakhir berkembang menjadi kawasan industri di antaranya industri tekstil. Kawasan ini menurut Nasution *et al.*, (2003) mengandung logam berat baik di tanah maupun jaringan tanaman. Kandungan logam berat tersedia dalam tanah berkisar antara 0,04 sampai dengan 0,68 ppm Pb; 0,02 sampai dengan 0,14 ppm Cd dan 0,03 sampai dengan 0,53 ppm Cr. Sedang kandungan logam berat pada jerami padi hasil pertanian daerah tersebut sebesar 0,68 sampai dengan 4,08 ppm Pb; 0,00 sampai dengan 3,93 ppm Cd dan 0,00 sampai dengan 8,16 ppm Cr. Sementara pada beras pecah kulit sebesar 0,00 sampai dengan 0,63 ppm Pb; 0,00 sampai dengan 0,42 ppm Cd dan 0,00 sampai dengan 0,92 ppm Cr (Nasution *et al.*, 2003). Walaupun kandungan dari unsur-unsur tersebut masih belum melewati ambang batas yang ditetapkan kecuali Cd pada beras yaitu sebesar 0,005 ppm (S.K. Ditjen POM No 03725/B/Sk/VII/89) namun karena sifatnya yang akumulatif berpotensi mengganggu kesehatan bagi manusia.

2.3. Logam Berat

Secara alami tanah telah mengandung berbagai unsur logam, unsur-unsur logam dominan adalah Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, unsur – unsur logam pada tanah ini berasal dari pelapukan batu-batuan (batuan induk), dan keberadaan unsur ini akan besar pengaruhnya terhadap sifat fisik dan kimia tanah (Alloway, 1995). Logam-logam tersebut umumnya termasuk logam yang mempunyai berat jenis kurang dari 5 gram/cm³ atau bukan logam berat. Sementara logam yang biasanya tidak terlalu banyak di tanah adalah logam berat. Logam ini mempunyai berat jenis lebih dari 5 gram/cm³ bernomor atom 22 sampai dengan 92 terletak pada periode 4 sampai 7 dalam susunan berkala serta mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsur S sehingga mendorong terjadinya ikatan logam berat dengan gugus S (Saeni, 2002). Logam berat dalam jumlah berlebih menyebabkan terjadinya pencemaran dalam tanah. Saeni (2002) menjelaskan bahwa unsur-unsur logam berat yang potensial menimbulkan pencemaran pada lingkungan adalah; Fe, As, Cd, Pb, Hg, Mn, Ni, Cr, Zn, dan Cu, karena unsur ini lebih ekstensif penggunaannya demikian pula dengan tingkat toksisitasnya yang tinggi.

Sementara *United States Environment Protection Agency* (US EPA) mendata logam berat yang merupakan pencemar utama berbahaya yaitu Sb, Ag, Be, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Sr, Ag dan Zn (Sukhendrayatna, 2001) namun terdapat pula logam berat seperti Zn, Cu, Fe, Mn, Mo yang merupakan unsur hara mikro yang esensial bagi tanaman, tetapi bila jumlahnya terlalu besar akan mengganggu tumbuhnya tanaman. Bahaya logam berat pada tanah terutama bila logam tersebut telah terakumulasi dan telah melebihi batas kritis dalam tanah.

Alloway (1995) menyatakan bahwa kelebihan logam berat dalam tanah bukan hanya meracuni tanaman dan organisme, tetapi dapat berimplikasi pada pencemaran lingkungan. Yaron *et al.*, (1996) serta Pendias dan Pendias (2000) menjelaskan logam berat dalam tanah terdiri atas berbagai bentuk, seperti bentuk yang terikat pada partikel organik, bentuk tereduksi (hidroksida), bentuk karbonat, bentuk sulfida dan bentuk larutan dalam tanah. Logam berat yang terdapat di dalam tanah atau sedimen dapat melakukan proses pertukaran ion dan jerapan terutama pada partikel halus dengan permukaan yang luas dan gugus bermuatan negatif, seperti tanah liat (kaolinit, klorit, montmorilonit), zat-zat humin (asam humus, asam fulfik, asam humin) dan oksida-oksida Fe dan Mn. Logam berat termasuk zat pencemar karena sifatnya yang stabil dan sulit untuk diuraikan. Logam berat dalam tanah yang membahayakan pada kehidupan organisme dan lingkungan adalah dalam bentuk terlarut. Di dalam tanah logam tersebut mampu membentuk kompleks dengan bahan organik dalam tanah sehingga menjadi logam yang tidak larut. Logam yang diikat menjadi kompleks organik ini sukar untuk dicuci serta relatif tidak tersedia bagi tanaman. Dengan demikian senyawa organik tanah mampu mengurangi bahaya potensial yang disebabkan oleh logam berat beracun.

Kandungan logam berat berbeda pada kedalaman tanah. Tanah di Rancaekek pada kedalaman 0 – 20 cm mempunyai kandungan timbal sebesar 13,96 ppm sedang pada kedalaman 20 – 35 cm sebesar 12,09 ppm dan kedalaman lebih besar dari 35 cm sebesar 11,15 ppm. Demikian pula dengan logam kadmium dan krom. Kandungan kadmium pada tanah berturut-turut sebesar 0,22 ppm untuk kedalaman 0 sampai dengan 20 cm dan 0,19 ppm untuk kedalaman 20 sampai dengan 35 cm dan 0,17 ppm untuk kedalaman lebih besar dari 35 cm. Sementara

untuk logam krom adalah sebesar 15,62 ppm untuk kedalaman tanah 0 sampai dengan 20 cm, 10,78 ppm untuk kedalaman 20 sampai dengan 35 cm dan 7,88 ppm pada kedalaman lebih besar dari 35 cm (Sutono *et al.*, 2000).

Logam berat dalam tanaman dapat berasal dari tanah tempat tumbuhnya tanaman, udara, air yang digunakan untuk menyirami serta pupuk yang diberikan pada tumbuhan tersebut. Kadar logam berat dalam tanaman dipengaruhi oleh jangka waktu tanaman kontak dengan logam berat, kadar logam berat dalam tanah, morfologi dan fisiologi tanaman, umur tanaman serta jenis tanaman yang tumbuh di sekelilingnya. Pada umumnya logam berat masuk ke dalam tanaman melalui akar dan daun. Akar tanaman secara langsung dapat menyerap logam berat larut, khususnya kation logam berat bebas. Logam berat di dalam kompleks serapan dalam jangka panjang dapat dibebaskan untuk mengimbangi penurunan konsentrasi kation bebas akibat serapan oleh akar tanaman. Bila konsentrasi logam berat menurun karena sebagiannya diserap oleh akar tanaman, maka logam berat dalam ion kompleks, kelat, endapan, dan atau jerapan akan dibebaskan sehingga tingkat kelarutan logam berat tertentu akan tercapai kembali melalui reaksi kesetimbangan.

Logam berat dalam tanah dapat berdifusi ke permukaan akar melalui pertukaran ion dan melalui hubungan langsung antara akar dengan fraksi liat tanah. Logam berat dapat pula masuk ke dalam sistem perakaran karena adanya asam-asam organik yang dikeluarkan oleh akar. Asam-asam organik tersebut berikatan dengan logam (Pendias dan Pendias, 2000) dan bergerak masuk ke dalam vakuola sel (Ferguson, 1991). Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi penyerapan logam berat antara lain: 1) lingkungan (pH tanah, suhu), 2) persaingan antara spesies tanaman, 3) ukuran partikel, 4) sistem perakaran, 5) ketersediaan logam dalam tanah, dan 6) energi yang tersedia untuk memindahkan logam ke jaringan tanaman (Jorgensen dan Johnsen, 1990).

Penggunaan logam berat sangat luas dan hampir setiap industri menggunakannya, karena logam berat dapat berperan sebagai pereaksi ataupun katalis dalam berbagai proses industri. Walaupun penggunaan logam berat banyak memberikan manfaat bagi kehidupan manusia namun dampak yang dihasilkan dalam jumlah tertentu dapat membahayakan kehidupan manusia. Logam berat

yang digunakan dalam industri dapat berakhir pada tanah dan akhirnya dapat terangkut pada jaringan tanaman yang sebagian dikonsumsi oleh manusia ataupun hewan.

Pada umumnya masuknya logam berat dalam tubuh manusia melalui makanan, minuman ataupun pernafasan, dan logam berat di absorpsi oleh tubuh berada dalam jumlah yang tidak dapat dibatasi karena tidak ada mekanisme tubuh yang membatasinya (Slamet, 1996). Dalam tubuh manusia logam berat terikat pada methalotionien. Methalotionien merupakan suatu protein yang mempunyai kandungan sulfhidril yang tinggi, berat molekul rendah dan dapat mengikat logam berat dalam jumlah yang tinggi. Hal ini disebabkan logam berat mempunyai afinitas tinggi terhadap senyawa-senyawa sulfida, seperti gugus sulfhidril (-SH) dan disulfida (-S-S-). Gugus-gugus ini banyak terdapat dalam enzim sehingga dengan terikatnya gugus-gugus ini dapat menghambat kerja enzim tertentu. Walaupun tubuh makhluk hidup (manusia) biasanya memiliki kemampuan mentoleransi logam yang tidak diperlukan tubuh melalui proses ekskresi tubuh, namun kelebihan akan berakibat toksik bagi makhluk hidup itu sendiri. Selain itu logam berat cenderung terakumulasi dalam tubuh sehingga menyebabkan efek racun bila bergabung pada satu atau beberapa gugus reaktif (ligan) yang esensial, hal ini disebabkan logam berat dapat bereaksi membentuk ikatan koordinasi dengan ligan dalam tubuh. Namun terdapat pula senyawa yang dapat menahan laju logam berat. Salah satu senyawa yang mampu berkompetisi dengan ligan sehingga meningkatkan ekskresi logam dan mencegah atau mengurangi efek racunnya adalah kalsium.

2.3.1. Timbal (Pb)

Timbal biasa disebut sebagai timah hitam merupakan logam lunak berwarna putih kebiruan dan berkilau seperti perak, yang terletak pada Golongan II B dalam susunan periodik dengan nomor atom 82 dan bobot atom sebesar 207,2 (Pais dan Jones 1997). Bentuk umum dalam mineral di antaranya sebagai PbS dan PbSO₄. Kandungan timbal dalam tanah berkisar antara 2 sampai dengan 200 ppm, namun umumnya berkisar 16 ppm (Pendas dan Pendas, 2000). Timbal merupakan unsur yang tidak esensial bagi tanaman, kandungannya berkisar antara

0,1 sampai dengan 10 ppm (Soepardi, 1983). Untuk tanaman tertentu akumulasi terhadap timbal sangat tinggi dan hal ini mungkin tidak menunjukkan gejala keracunan dalam tanaman akan tetapi akan berbahaya bila dikonsumsi oleh makhluk hidup khususnya manusia.

Selain di tanah, timbal terdapat pula di atmosfer yang berasal dari pembakaran bahan-bahan aditif bensin dari kendaraan bermotor seperti timbal tetraetil dan timbal tetrametil, selain itu juga berasal dari asap-asap buangan pabrik seperti timbal oksida. Dalam kegiatan industri timbal banyak digunakan sebagai bahan pewarna cat, dan pencetakan tinta. Timbal juga digunakan sebagai penyusun patri dan solar dan sebagai formulasi penyambung pipa (Saeni, 2002).

Timbal merupakan salah satu logam berat yang sangat beracun yang dapat masuk ke dalam tubuh terutama melalui saluran pencernaan, pernafasan dan kulit. Masuknya timbal dalam saluran pencernaan berasal dari makanan dan minuman sedang dalam saluran pernafasan dan kulit, timbal masuk akibat adanya udara yang tercemar senyawa timbal. Akumulasi timbal dalam tubuh manusia terutama pada hati, ginjal dan tulang, namun terdapat pula pada limpa dan rambut (Manahan, 1994; Saeni, 2002). Saeni (1997) menerangkan bahwa logam pada rambut berkorelasi dengan jumlah logam yang diserap oleh tubuh. Timbal dalam darah terdapat pada eritrosit yang terikat pada haemoglobin dan membran sel. Waktu paruh timbal dalam darah dan jaringan lunak manusia dewasa antara 26 sampai dengan 36 hari sedang pada tulang antara 10 sampai 20 tahun (Kelafant, 1988; WHO, 2003). Gejala keracunan timbal antara lain adalah rasa mual, sakit disekitar perut, anemia dan rasa nyeri pada tulang serta gangguan syaraf. Bila timbal terakumulasi dalam tubuh manusia maka dapat meracuni atau merusak fungsi mental, perilaku, dan menyebabkan anemia. Selanjutnya bila tingkat keracunan lebih berat maka dapat menyebabkan muntah-muntah serta kerusakan pada sistem syaraf bahkan dapat menyebabkan gangguan dalam sistem otak. Soemarwoto (1985) menerangkan bahwa anemia terjadi karena timbal dalam darah akan mempengaruhi aktivitas enzim asam delta amino levulonat dehidratase (ALAD) dalam membentuk haemoglobin (Hb) pada butir-butir darah merah dalam tubuh.

Penyerapan timbal dari makanan ke dalam tubuh dipengaruhi oleh umur. Umumnya orang dewasa menyerap 10 % sampai 15 % timbal dari makanan sedang anak-anak dapat mencapai 50 % timbal dari makanan yang diserap. Selain itu faktor yang mempengaruhi kerentanan tubuh terhadap logam timbal adalah rendahnya nutrisi (gizi). Kurangnya nutrisi dalam tubuh dapat meningkatkan kadar timbal dalam darah dan untuk menghindari hal ini dapat diimbangi dengan cukupnya kandungan kalsium dan besi. Tingginya kadar kalsium dan besi dalam makanan akan menurunkan penyerapan timbal dan bila kekurangan kedua unsur ini penyerapan timbal akan meningkat (Fergusson, 1991). Besarnya tingkat keracunan timbal dipengaruhi oleh: 1) umur; pada anak-anak cenderung lebih rentan dibandingkan dengan orang dewasa, 2) jenis kelamin; wanita umumnya lebih rentan dibandingkan dengan laki-laki, 3) penderita penyakit keturunan; orang yang tidak mempunyai penyakit khusus cenderung lebih tahan, 4) musim; musim panas akan meningkatkan daya racun terhadap anak-anak, 5) peminum alkohol cenderung lebih rentan terhadap timbal (Saeni, 2002).

2.3.2. Kadmium (Cd)

Kadmium merupakan logam lunak berbentuk kristal dan berwarna putih keperakan yang terletak pada Golongan II B dalam susunan periodik dengan nomor atom 48 dan bobot atom sebesar 112,40 (Pais dan Jones, 1997). Di alam kadmium jarang sekali ditemukan dalam bentuk bebas, biasanya berada dalam bentuk kadmium oksida, kadmium klorida dan kadmium sulfat (Eco USA Search, 1999). Mineral kadmium dalam tanah antara lain CdO , $CdCO_3$, $Cd(PO_4)_2$, dan $CdCl_2$. Senyawa-senyawa tersebut terikat pada senyawa organik atau oksida, namun yang dominan adalah CdS . Kandungan total kadmium dalam tanah berkisar antara 0,01 sampai dengan 7,00 ppm. Tanah dikatakan tercemar bila kandungan kadmium mencapai lebih dari 3,0 ppm (Pendias & Pendias, 2000). Pais dan Jones (1997) menerangkan bahwa kadmium walaupun tidak dibutuhkan oleh tanaman namun kandungannya dalam tanaman dapat mencapai 0,1 sampai dengan 1,0 ppm. Sumber kadmium adalah pelapukan bahan mineral tanah, abu vulkanik, pembakaran batu bara, pembakaran sampah, pupuk mineral seperti fosfat, batu kapur dan limbah. Kadmium bersifat racun dan umumnya terikat pada

protein dan senyawa organik lain (EPA, 2000). Secara kimia kadmium sangat mirip dengan seng (Zn) dan di alam sering terdapat bersama-sama logam seng, tembaga dan timbal. Kadmium banyak digunakan untuk elektroplating, proses fotografi, bahan pelapis anti karat dan bahan pewarna pada proses pewarnaan tinta, plastik dan cat.

Kadmium masuk ke dalam tubuh manusia berasal dari makanan dan minuman serta saluran pernafasan. Proses metabolisme kadmium sangat mirip dengan seng sehingga secara spesifik kadmium dapat menggantikan seng dalam beberapa enzim, akibatnya struktur dari enzim tersebut serta afinitas katalisnya dirusak (Saeni, 2002). Penyerapan kadmium melalui saluran pencernaan tergantung pada spesies, tipe senyawa Cd, dosis serta interaksinya dengan berbagai komponen makanan. Kadmium cenderung terakumulasi dalam tubuh makhluk hidup dan diperkirakan kadmium dapat masuk dalam tubuh manusia sebesar 0,14 – 3,2 mg/kg dalam otot, 1,8 mg/kg dalam tulang, 0,0053 mg/dm³ dalam darah, 0,02 mg/L dalam urin dan 0,354 mg/kg dalam rambut (Pais dan Jones, 1997). Kadmium mempunyai waktu paruh yang panjang yaitu 16 sampai dengan 33 tahun pada jaringan tubuh manusia. Kadmium dapat menyebabkan kerusakan ginjal dan sel-sel darah merah (Saeni, 2002). Bentuk Cd metallocationien terdapat dalam darah dan hati sedangkan CdCl₂ dalam ginjal. Setelah diserap, Cd dialirkan ke dalam darah terutama eritrosit yang bila berikatan dengan plasma akan menyebabkan hemolisis. Pengeluaran kadmium dapat dilakukan melalui feses, urin, rambut dan air susu ibu yang sedang menyusui. Dalam tubuh kadmium dapat tertimbun pada jaringan hati, ginjal, tulang dan gigi (Slamet 1996; Eco USA Search, 1999).

2.3.3. Krom (Cr)

Krom adalah suatu logam agak keras berwarna putih yang terletak pada golongan IVB dengan nomor atom 24 dan massa atom 51,996 seperti tertera pada susunan periodik. Krom memiliki beberapa bilangan oksidasi namun yang sering digunakan adalah krom valensi 3 dan 6. Mineral krom berada dalam bentuk senyawa FeCrO₄ dan PbCrO₄ (Pais dan Jones, 1997). Krom valensi 3 di lingkungan umumnya lebih stabil dibandingkan dengan krom valensi 6. Di

lingkungan krom valensi 6 menjadi valensi 3 dapat dipandang sebagai proses detoksifikasi (ASTDR, 2000). Krom valensi 3 yang terlarut dalam air akan membentuk senyawa kompleks dengan senyawa organik seperti protein dan dalam jumlah kecil dibutuhkan untuk metabolisme karbohidrat bagi mamalia (Hart, 1982). Krom valensi 3 kurang toksik dibandingkan dengan krom valensi 6. Krom valensi 6 sangat toksik dan dapat meningkatkan resiko kanker. WHO menyatakan bahwa krom valensi 6 merupakan *human carcinogen* (ATSDR, 2000) karena merupakan oksidator kuat dan bersifat reaktif serta mempunyai kelarutan yang tinggi. Dua bentuk senyawa krom valensi 6 dalam larutan adalah kromat (CrO_4^{2-}) yang berwarna kuning dan bikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) berwarna oranye. Dengan demikian toksisitas krom dipengaruhi oleh valensi, dosis dan daya tahan suatu objek (Heryando dan Palar, 1994).

Kadar krom di permukaan tanah mempunyai nilai normal sebesar 54 ppm, namun pada tanah yang terkena limbah dapat mencapai 112 ppm (Pendias & Pendias, 2000). Krom valensi 3 dalam jumlah sedikit dibutuhkan oleh tanaman untuk membantu dalam rantai respirasi. Namun dalam bentuk senyawa bikromat dapat merusak sistem perakaran sehingga absorpsi nutrisi oleh tanaman akan terganggu (Notohadiprawiro, 1999).

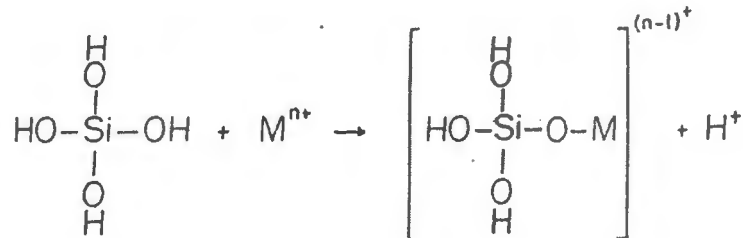
Penggunaan krom dalam industri terdapat pada industri penyamakan kulit, pelapis logam, bahan pengawet kayu dan sebagai bahan pewarnaan. Krom masuk ke dalam tubuh melalui makanan, minuman dan pernafasan serta kulit. Akumulasi logam krom ada pada hati, ginjal, dan limpa. Dosis aman krom valensi 6 per hari adalah sebesar 2,4 mg/kg. Krom dapat menyebabkan iritasi dan korosi pada hidung dan saluran pernafasan dan diduga krom dapat menyebabkan kanker paru-paru (ASTDR, 2000). Sementara Manahan (1992) menerangkan bahwa keracunan krom dapat menyebabkan gangguan fungsi ginjal, sistem reproduksi, hati, otak dan susunan syaraf pusat. Keracunan logam Krom disebabkan afinitasnya yang tinggi terhadap gugus sulfhidril sehingga mempengaruhi kerja enzim.

2.4. Vegetasi untuk Mengikat Logam Berat

Adanya kandungan logam berat dalam tanah dapat dikurangi melalui penanaman vegetasi pengikat logam berat. Vegetasi ini mempunyai bentuk yang

beraneka ragam, baik yang berwujud seperti alang-alang maupun membentuk jalinan berupa rumpun. Teknologi untuk memperbaiki lahan dengan menggunakan tanaman dikenal dengan sebutan fitoremediasi (Hasegawa, 2002).

Pengikatan logam berat pada tanaman di antaranya melalui pembentukan senyawa kompleks (Tan, 2000) seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Reaksi pembentukan senyawa kompleks

Dengan adanya eksudat akar maka akar tanaman mengeluarkan sejumlah asam organik misalnya asam malat, sitrat, fumarat, fenolat yang menyebabkan pH disekitar perakaran menurun. Akibatnya banyak senyawa dan ion logam berat menjadi terlarut sehingga terjerap oleh akar tanaman. Logam berat yang terjerap oleh akar selanjutnya akan tertranslokasi dan terakumulasi dalam akar, batang, daun, buah dan biji.

Beberapa vegetasi yang digunakan untuk mengikat logam berat antara lain adalah eceng gondok, mendong, akar wangi dan haramai. Di Indonesia eceng gondok dikenal sebagai biofilter cemaran logam berat (Lukito, 2001), sedang akar wangi digunakan untuk konservasi tanah dan air karena akarnya relatif dalam, kuat dan lebat. (Dedi *et al.*, 1990). Vegetasi yang digunakan untuk mengikat logam berat dalam tanah ini bukanlah tanaman pangan namun tanaman yang dapat digunakan untuk keperluan lain seperti bahan-bahan kerajinan. Penggunaan tanaman pengikat ini pada umumnya tidak banyak memberi pengaruh terhadap lingkungan (Hasegawa, 2002; Ohkawa, 2002), dan sebagian di antara tanaman pengikat dapat digunakan untuk produksi kerajinan seperti: tikar, anyaman tas dan lain sebagainya.

Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) termasuk keluarga *Pontederiaceae*, berbentuk bundar serta tangkai yang menyangga daun tampak menggebung

seperti balon karena tersusun dari rongga udara. Tanaman ini mempunyai akar berambut dan menggantung pada pangkal batang. Panjang akar rata-rata 30 – 60 cm bahkan bisa lebih. Perbanyakkan eceng gondok dengan menggunakan sulur atau anak cabang yang keluar dari tanaman induk. Eceng gondok dapat digunakan sebagai bahan pembuat kerajinan seperti tas, keset, alas piring dan sebagainya.

Mendong (*Fimbristylis globulosa*) tergolong dalam famili *Cyperaceae*. Vegetasi ini termasuk rumput semu, berlempung, batangnya cukup kuat, tumbuh tegak dan berkembang dengan akar serabutnya membentuk rumpun besar. Daun mendong menyerupai tabung menumpuk miring pada batang dan berbulu pada tepinya. Daun mendong tumbuh pada pucuk batang dengan jumlah beberapa helai. Tanaman mendong dapat tumbuh dengan baik di daerah yang mempunyai ketinggian 300 – 700 meter di atas permukaan laut, tersedia air yang cukup dan terkena sinar matahari secara penuh. Jarak tanam antar bibit mendong adalah 30 cm dan jarak antar barisan (jalur) selebar 0,5 meter.

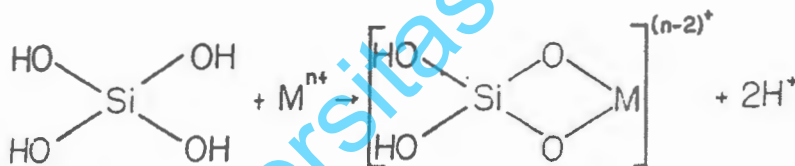
Akar wangi (*Vertiveria zizanioides* Stapf) termasuk keluarga *Gramineae*, berumpun lebat dan mempunyai akar tinggal bercabang banyak. Tanaman ini merupakan tanaman rumput dan menyukai sinar matahari. Tanaman ini dapat tumbuh pada ketinggian sekitar 300 – 2000 meter di atas permukaan laut dengan temperatur sekitar 17 sampai dengan 27 °C. Jarak tanam antar pohon adalah 75 x 75 senti meter. Tanaman akar wangi dapat menghasilkan minyak atsiri. Minyak akar wangi merupakan salah satu bahan pewangi yang potensial dan biasanya dipakai secara meluas pada pembuatan parfum, bahan kosmetika dan bahan pewangi sabun.

Rami/haramay (*Boehmeria nivea* Gaud) termasuk famili *Urticaceae*. Tanaman ini dapat hidup di dataran rendah dan tinggi yaitu 10 sampai dengan 1500 meter di atas permukaan laut, dengan temperatur 20 °C sampai dengan 30 °C serta pH 4,6 sampai dengan 6,4. Perbanyakkan rami dilakukan dengan menggunakan rhizom atau stek rimpang dan tanaman ini akan tumbuh baik bila ditanam pada tanah yang datar dengan sirkulasi air yang baik. Jarak tanam antara 75 x 50 sentimeter atau 100 x 40 sentimeter. Tanaman rami banyak menghasilkan serat dan dapat dipergunakan untuk bermacam keperluan antara lain; taplak meja, handuk, gordein, benang, tali sepatu, kanvas dan lain lain.

2.5. Bahan Organik sebagai Pengkelat Logam Berat

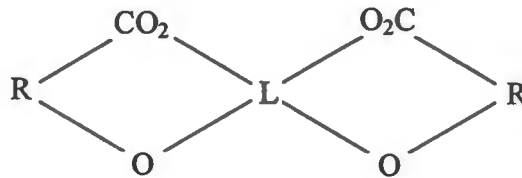
Bahan organik merupakan campuran beraneka senyawa organik dari bermacam-macam asal, sehingga susunan kimia bahan organik tersebut sangat beragam. Salah satu senyawa khas penting ialah gugus fungsional yang mampu berperan dalam pembentukan kompleks dan pertukaran ion. Gugus fungsional yang dimaksud adalah karboksil (-COOH), hidroksil (-OH), karbonit (=C=O), metoksil (-OCH₃), dan amino (-NH₂). Fraksi ini merupakan pelaku penting dalam pertukaran kation pemantapan struktur tanah, penyediaan N, metabolisme C dan pengkompleksan logam (Notohadiprawiro, 1999).

Senyawa-senyawa logam berat, biasanya tidak larut pada pH sekitar 7. Kelarutan zat-zat ini dapat ditingkatkan dengan pembentukan kelat oleh senyawa humat. Logam dalam bentuk kelat-logam reaktivitasnya dalam tanah menurun. Menurut Tan (2000) reaksi pembentukan kelat dalam tanah dapat digambarkan sebagai berikut (Gambar 3):



Gambar 3. Reaksi pembentukan kelat

Dalam tanah bahan organik dapat membentuk senyawa kompleks yaitu dengan kation-kation logam berat maupun kation-kation unsur mikro. Senyawa kompleks terbentuk dari reaksi antara ion logam dan ligan organik. Ion logam atau kation berfungsi sebagai penerima pasangan elektron (akseptor) dan bertindak sebagai atom pusat, sedangkan ligan organik adalah penyumbang pasangan elektron (donor). Notohadiprawiro (1999) menjelaskan bentuk dasar kompleks seperti tertera pada Gambar 4.



L = Kation Logam Mengganti H^+
R = Radikal Organik

Gambar 4. Bagan struktur molekul kompleks

Ikatan logam pada gugus fungsi organik dapat terjadi karena elektrostatik, ko-adsorpsi dan kompleks reaksi/kelat (Tan, 2000). Ikatan elektrostatik atau ikatan ion terjadi karena elektron terluar terlepas dari orbitnya sehingga terjadi pengikatan elektron. Ko adsorpsi terjadi antara hidrogen dengan atom lainnya yang memiliki elektronegativitas tinggi seperti O serta hubungan antara OH dan O yang dihubungkan oleh jembatan H. Sementara ikatan kovalen terjadi karena adanya penggunaan bersama elektron sehingga membentuk posisi geometri yang sangat kuat (Tan, 2000).

Bahan organik dapat berupa sisa-sisa hewan atau tanaman ataupun jasad renik dari jaringan tumbuhan dan hewan yang terdekomposisikan (Cresser dan Killham, 1995). Bahan organik dapat berasal dari sisa-sisa tumbuhan maupun kotoran hewan. Bahan organik yang terdapat dalam tanah adalah semua jenis senyawa organik termasuk serasah, biomassa organisme, bahan organik terlarut dan humus.

Bahan organik tersusun oleh senyawa-senyawa organik di antaranya karbohidrat, asam amino, protein, selulosa, lignin, dan pektin (Cresser dan Killham, 1995). Bahan organik yang lebih banyak mengandung lignin lebih sulit terombak dibandingkan dengan bahan organik yang mengandung selulosa, hemilosa dan senyawa-senyawa larut air. Notohadiprawiro (1999) menerangkan bahwa perombakan bahan organik di antaranya melalui: 1) pemecahan senyawa polimer tinggi menjadi senyawa lebih sederhana, seperti amilum menjadi gula dan protein menjadi peptida dan asam amino, 2) penguraian semua organisme secara mikrobiologi yang menghasilkan CO_2 , H_2O dan energi. Selanjutnya dikatakan bahwa laju dekomposisi bahan organik ditentukan oleh faktor pembentuk bahan

organiknya sendiri dan faktor luar (lingkungan). Faktor lingkungan yang berpengaruh ialah suhu, kelembaban, pH dan potensial redoks. Hasil dekomposisi bahan organik dapat berupa senyawa humat (humus) dan senyawa-senyawa organik lain yang sebagian akan dilepaskan sebagai unsur hara yang dapat dimanfaatkan kembali oleh tanaman. Humus yang terdiri atas asam fulvat, asam humat dan humin merupakan senyawa yang memberikan sumbangan penting terhadap muatan tanah.

Bahan organik bila ditambahkan ke dalam tanah akan mengalami pelapukan. Sitorus (2000) menjelaskan beberapa keuntungan yang diperoleh apabila pupuk organik diberikan ke dalam tanah antara lain adalah : (1) dapat meningkatkan KTK; (2) sebagai cadangan anion : N, P, S, B, Mo, Cl; (3) dapat menyangga gejolak perubahan kemasaman, salinitas, toksisitas logam berat, (4) mencegah erosi, (5) sumber energi bagi mikroorganisme tanah; (6) apabila diberikan sebagai mulsa dapat mengurangi suhu ekstrim dipermukaan tanah, (7) mengurangi kristalisasi, dan (8) penyedia unsur hara. Pendapat yang tidak jauh berbeda dikatakan oleh Stevenson (1982) yang menerangkan bahwa penambahan bahan organik dan tindakan daur ulang bahan organik memberikan keuntungan besar karena secara keseluruhan akan memperbaiki kondisi tanah seperti sifat kimia dan fisik tanah serta membangkitkan aktivitas mikroorganisme tanah. Adapun fungsi bahan organik tanah terhadap sifat kimia, fisik maupun biologi tanah antara lain adalah: 1) memberi pengaruh langsung maupun tidak langsung terhadap ketersediaan hara, 2) membentuk agregat tanah yang lebih baik dan memantapkan agregat yang telah terbentuk sehingga aliran permeabilitas dan infiltrasi menjadi lebih baik, 3) meningkatkan retensi air yang dibutuhkan bagi pertumbuhan tanaman, 4) meningkatkan retensi unsur hara melalui peningkatan muatan di dalam tanah, 5) memobilisasi logam berat yang masuk ke dalam tanah, 6) mensuplai energi bagi organisme tanah.

Umumnya bahan organik diperlakukan sebagai mulsa, dibakar atau dikomposkan. Pupuk kandang dapat mempertahankan struktur tanah sehingga tanah mudah diolah dan aerasi lebih baik. Selain itu pupuk kandang mampu menahan air sehingga air yang diberikan tidak langsung mengalir ketempat yang lebih rendah. Pupuk kandang mempunyai sifat seperti : 1) dapat berupa humus

yang mampu menjaga atau mempertahankan struktur tanah, 2) sebagai sumber hara nitrogen, fosfor dan kalium yang penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman, 3) menaikkan daya menahan air sehingga air hujan tidak langsung mengalir ketempat yang lebih rendah (Sarief, 1986)

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pelapukan bahan organik, antara lain, suhu, komposisi bahan organik dan nisbah C/N bahan organik. Nisbah C/N yang kurang dari 20, bahan organiknya akan cepat termineralisasi. Pada nisbah C/N lebih dari 30 bahan organik akan diimobilisasi sehingga nitrogen menjadi tidak tersedia. Sementara nisbah 20 sampai dengan 30 terjadi keseimbangan antara mobilisasi dan imobilisasi.

2.6. Penggunaan Bakteri untuk Pengakumulasi Logam Berat

Proses pengolahan dengan menggunakan mikroorganisme banyak dikembangkan untuk menangani pencemaran dari bahan-bahan berbahaya. Penanganan tersebut biasanya dalam suatu reaktor yang didalamnya dikembangkan suatu mikroba tertentu. Melalui aktivitas mikroba tersebut terjadi transformasi bahan-bahan yang dianggap berbahaya menjadi bahan-bahan yang kurang maupun yang tidak berbahaya. Upaya perbaikan lingkungan dengan menggunakan mikroorganisme dikenal dengan nama bioremediasi (Santosa, 2003). Salah satu mikroorganisme yang dapat digunakan adalah kelompok bakteri pereduksi sulfat. Kelompok bakteri ini banyak ditemukan dipermukaan bumi, baik yang tersimpan dirawa-rawa, sungai, danau maupun di daerah bekas pertambangan.

Bioremediasi merupakan salah satu teknologi untuk mereduksi kontaminan secara alamiah melalui pemanfaatan mikroorganisme sebagai katalis bagi proses metabolisme, reaksi-reaksi kimia dan proses fisik. Bioremediasi ditentukan oleh ketahanan suatu senyawa untuk mengalami perubahan, peranan mikroorganisme, dan kondisi fisiko - kimia lingkungan. Suatu contoh keberadaan ion logam berat, konsentrasi yang begitu rendah tidak cukup untuk menginduksikan sistem enzimatik bagi pertumbuhan mikroba. Di lain pihak konsentrasi yang tinggi akan menghambat atau bersifat toksik bagi kehidupan

mikroba. Oleh sebab itu diperlukan kondisi lingkungan yang sesuai untuk aktivitas mikroba secara maksimal.

Pada saat ini telah banyak mikroorganisme yang dimanfaatkan untuk mendekontaminasi *efluen* yang mengandung logam berat, misalnya bakteri pereduksi sulfat (BPS). Reaksi reduksi BPS pada kondisi anaerob dapat dijelaskan kedalam dua tahap, pertama adalah mereduksi sulfat menjadi sulfit, dan tahap berikutnya mereduksi sulfit menjadi sulfida (Hockin dan Gadd, 2003). Dalam reaksinya BPS memerlukan substrat organik sebagai donor elektron di antaranya dapat digunakan laktat dan piruvat. Sulfida yang dihasilkan kemudian bereaksi dengan ion logam berat untuk selanjutnya membentuk logam sulfida yang mengendap dan sukar larut.

Dengan demikian secara umum keberadaan kelompok BPS pada lingkungan anoksik dapat diketahui dari pembentukan sedimen yang berwarna hitam dan bau khas dari gas hidrogen sulfida. Untuk mengetahui laju reduksi sulfat dapat dilakukan dengan cara mengukur penyusutan konsentrasi sulfat (Liu *et al.*, 2003).

BPS merupakan kelompok bakteri anaerobik yang sedikit toleran terhadap oksigen, tetapi hanya tumbuh pada kondisi anaerob dengan potensial redoks yang rendah, dengan substrat laktat yang terbentuk oleh penguraian bahan-bahan organik (Schlegel dan Schmidt, 1994). Selain menggunakan donor elektron dari laktat, kelompok BPS juga mampu mereduksi sulfat, sulfit maupun tiosulfat menjadi hidrogen sulfida (H_2S). Reduksi sulfat terjadi melalui respirasi dissimilatori, dengan menggunakan sulfat sebagai akseptor elektron. Kehadiran sulfat dapat memberikan pengaruh yang menguntungkan pada suatu penanganan limbah secara anaerobik. Sulfida yang dihasilkan oleh mikrob pereduksi sulfat dapat mengendapkan ion-ion logam berat yang toksik seperti Pb, Cd, dan Cr.

Penggunaan BPS telah banyak dikaji untuk pengendapan logam berat dan keberadaan BPS tersebar luas pada ekosistem alami, seperti sedimen pada pengairan tawar maupun perairan laut. Ada dua kelompok BPS berdasarkan cara pembentukan asam-asam organik. Kelompok pertama yaitu mengoksidasi donor hidrogen tidak sempurna dengan menghasilkan asetat. Termasuk kelompok ini adalah spesies pembentuk spora *Desulfotomaculum* (*D. nigrificans*, *D. orientis*,

dan *D. ruminis*), dan spesies yang tidak membentuk spora *Desulfovibrio* (*D. vulgaris*, *D. gigas*, *D. thermophilus* dan lain-lain). Kedua, kelompok yang mampu tumbuh menggunakan alkohol, asetat, asam-asam lemak berbobot molekul tinggi seperti benzoat. Termasuk kelompok ini adalah spesies pembentuk spora *Desulfotomaculum acetoxidans*, dan spesies yang tidak membentuk spora *Desulfobacter*.

Pertumbuhan optimum bakteri pereduksi sulfat tercapai pada pH 6,6 – 7,4 dan suhu 25 – 40 °C atau bahkan ada yang mencapai 65 – 70 °C (Holt *et al.*, 1994). Sementara Santosa (2003) menjelaskan bakteri pereduksi sulfat dapat hidup bervariasi yaitu pada suhu mulai 0°C atau sampai dengan 100°C. Suyase (2002) dalam penelitiannya untuk skala laboratorium mendapatkan kondisi pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat ada pada kisaran pH 2,5 sampai 8,0, suhu 20 °C sampai dengan 40 °C, potensial redoks 120 mV ke bawah, Na –laktat lebih besar dari 500 mg/l, sulfat lebih besar dari 100 mg/l dan tumbuh pada media kompos lebih dari 9 hari.

Salah satu jenis bakteri yang ditemukan dari Kalimantan Tengah dari kelompok bakteri pereduksi sulfat adalah *Desulfotomaculum*. Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan oleh Saida (2001) dan Suyase (2002) untuk skala laboratorium, isolat ICBB 1220 dan isolat ICBB 1204 merupakan isolat unggul dari bakteri *Desulfotomaculum*. Selanjutnya Suyase (2002) menjelaskan bahwa kedua isolat ini dapat meningkatkan satuan pH sebesar 1,4 sampai dengan 1,9. Selain itu isolat ICBB 1220 mampu mereduksi sulfat dari konsentrasi 1776,53 ppm menjadi 97,43 ppm (94,5%), sementara isolat ICBB 1204 mampu mereduksi sulfat dari konsentrasi 1789,32 ppm menjadi 177,41 ppm (90%) selama 30 hari masa inkubasi. Kedua isolat ini juga mampu menurunkan kandungan logam berat, seperti isolat ICBB 1220 mampu mereduksi tembaga dari konsentrasi 41,33 ppm menjadi 0,209 ppm (99%) sedang isolat ICBB 1204 mampu mereduksi tembaga dari konsentrasi 41,38 menjadi 0,306 ppm (99%) selama 30 hari masa inkubasi. Selain tembaga, kedua isolat ini juga mampu mereduksi seng. Isolat ICBB 1220 mampu mereduksi seng dari konsentrasi 15,91 ppm menjadi 0,015 ppm (99%) sedang isolat ICBB 1204 mereduksi seng dari konsentrasi 15,96 ppm menjadi 0,016 ppm (99%) untuk masa inkubasi selama 30 hari. Kedua isolat ini juga

mampu mereduksi Kadmium dari konsentrasi 0,09 ppm menjadi 0,009 ppm (90%) untuk isolat ICBB 1220 dan konsentrasi 0,09 ppm menjadi 0,011 ppm (87%) untuk isolat ICBB 1204 selama 30 hari masa inkubasi.

2.7. Zeolit sebagai Penjerap Natrium

Zeolit merupakan mineral kristalin dari kelompok alumina silika hidrat. Berdasarkan strukturnya zeolit mempunyai kerangka tiga dimensi yang tersusun dari senyawa (SiO_2) dan $(\text{AlO}_4)^{-5}$ yang membentuk unit-unit tetrahedral. Jika pada setiap tetrahedral atom Si merupakan atom pusat maka zeolit akan bermuatan netral. Akan tetapi apabila atom Si yang bervalensi 4^+ digantikan oleh atom Al yang bervalensi 3^+ maka akan terjadi kelebihan muatan negatif. Selanjutnya kelebihan muatan negatif ini akan dinetralkan oleh kation monovalen dan divalent seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} dan Mg^{2+} (Ming dan Mumpton, 1984). Unit dasar tetrahedral tersebut saling berikatan, dimana ion oksigen pada setiap ujung tetrahedral dipakai bersama dengan tetrahedra yang berada disampingnya. Gabungan dari tetrahedral tersebut membentuk polihedral. Secara umum formulasi kimia mineral zeolit adalah $\text{M}_x \text{D}_y (\text{Al}_{x+2y} \text{Si}_{n-(x+2y)} \text{O}_2)_m \text{H}_2\text{O}$

Dimana $\text{M} = \text{Na}^+$, K^+ atau kation monovalen lainnya,

$\text{D} = \text{Mg}^{2+}$, Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Fe^{2+} atau kation divalen lain.

M dan D umumnya adalah kation logam alkali atau alkali tanah. Sifat zeolit antara lain adalah mampu melakukan pertukaran ion. Zeolit mempunyai kapasitas tukar kation tinggi yaitu sebesar 200 sampai 300 me/100 gram. Kation-kation yang dapat dipertukarkan dari zeolit tidak terikat secara kuat di dalam kerangka tetrahedral zeolit sehingga dengan mudah akan dilepaskan atau dipertukarkan melalui pencucian dengan larutan kation-kation yang lain. Kemampuan pertukaran ataupun kapasitasnya bergantung pada tingkat substitusi Al terhadap Si pada struktur bangun zeolit. Sastiono (1993) menerangkan bahwa semakin banyak penggantian akan semakin besar pula kekurangan muatan positif yang mengakibatkan semakin banyak jumlah kation-kation alkali atau alkali tanah yang diperlukan untuk menetralkannya. Selanjutnya dijelaskan bahwa kemampuan zeolit dalam melakukan tukar kation bergantung pada : 1) struktur dan ukuran rongga zeolit, 2) mobilitas kation yang dipertukarkan 3) medan

elektronik yang ditimbulkan oleh kation dan ion pada rongga zeolit dan 4) pengaruh difusi ion ke dalam larutan dan energi hidrasi. Dengan adanya rongga-rongga pada struktur zeolit memungkinkan bagi zeolit untuk menyerap sejumlah ion dan molekul yang terdapat dalam larutan. Penyerapan pada zeolit terjadi pada dinding rongga kristalin dimana tingginya penyerapan dari adsorben sangat dipengaruhi oleh luas permukaan. Oleh karena itu penyerapan akan menjadi lebih baik bila adsorben mempunyai pori yang besar sehingga memperlancar kecepatan difusi reaktan dalam pori.

2.8. Aplikasi Pencucian, Penggunaan Vegetasi, Bahan Organik dan Bakteri

Kerusakan lahan didefinisikan sebagai proses hilangnya atau berkurangnya kegunaan atau potensi kegunaan lahan maupun hilangnya atau berubahnya organisme. Adanya kerusakan lahan memerlukan penanganan/pengolahan yang dilakukan secara intensif. Penelitian tentang penurunan kandungan natrium dalam tanah sawah dilakukan oleh Haryono *et al.*, (2001) di rumah kaca. Dalam penelitiannya diterangkan bahwa melalui penggenangan dan pengeluaran kembali setiap satu dan dua minggu dapat menurunkan kandungan natrium dalam tanah. Penelitian yang sejalan juga dilakukan oleh Kurnia *et al.*, (2003) yang menerangkan bahwa melalui pengolahan tanah dan pencucian dapat menurunkan kandungan natrium dari 1100 ppm menjadi 450 ppm Na setelah pengolahan pertama dan menjadi 300 ppm Na setelah pengolahan kedua.

Penelitian tentang penggunaan vegetasi untuk menurunkan kandungan logam berat dapat dilakukan melalui beberapa tanaman yang toleran terhadap logam berat (Prasad and Freitas, 2003). Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dan mendong (*Fimbristylis globulosa*), dapat digunakan untuk merehabilitasi tanah sawah tercemar logam berat (Kurnia *et al.*, 2003), vegetasi lainnya seperti akar wangi (*Vertiveria zizanioid*) dan haramay (*Boehmeria nivea Gaud*) juga dapat mengikat logam berat dari dalam tanah (Dewi, 2004). Selanjutnya vegetasi yang tinggi mengakumulasi logam berat dalam daun di antaranya adalah *Thlaspi caerulescens*, *Ipomea alpina* dan *Astragalus racemosus* (Lasat, 2002).

Rehabilitasi lahan dapat pula dilakukan dengan penggunaan bahan organik. Penelitian yang dilakukan oleh Widyastuti *et al.*, (2003) tentang

pengaruh penggunaan bahan organik terhadap kelarutan dan kadar krom tanaman jagung di tanah Entisol yang tercemar limbah industri tekstil batik menunjukkan bahwa adanya pemberian bahan organik secara signifikan mampu menurunkan kandungan krom pada tanah yang terkena limbah. Kadar krom di tanah yang tidak menggunakan bahan organik, pada akhir tanam menunjukkan angka 0,870 ppm. Angka ini lebih tinggi bila dibandingkan dengan kadar krom dalam tanah yang diberi gambut sebanyak 10 ton/ha yaitu menunjukkan angka 0,7760 ppm. Sementara pemberian kompos 10 ton/ha menunjukkan angka 0,5087 ppm, pemberian pupuk kandang 5 ton/ha menunjukkan angka sebesar 0,8333 ppm dan pemberian pupuk kandang 10 ton/ha menunjukkan angka sebesar 0,7150 ppm. Penelitian yang sejalan juga dilakukan oleh Tala'ohu *et al.*, (2000) tentang penggunaan zeolit dan pupuk kandang terhadap pengikatan dan pencucian timbal (Pb) kadmium dan (Cd) pada inceptisol Semarang dan Cianjur. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pemberian kotoran sapi sebanyak 5 ton per hektar tanah menyebabkan penurunan logam timbal dari konsentrasi 117,0 ppm menjadi 109,8 ppm Pb, sedang untuk logam kadmium menunjukkan penurunan dari 5,9 ppm menjadi 5,7 ppm Cd. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Dewi (2004) menerangkan bahwa pemberian bahan organik mampu menurunkan kandungan logam berat Pb dan Cd tersedia dalam tanah serta menurunkan serapan logam dalam jaringan tanaman bayam bagian atas.

Penggunaan mikroorganisme untuk mengurangi kandungan logam berat dalam tanaman dilakukan oleh Burd *et al.*, (2000). Dalam penelitiannya diterangkan bahwa penggunaan mikroorganisme mampu menurunkan kandungan logam Pb dan Cd tersedia dalam tanah serta serapan logam tersebut pada jaringan tanaman. Selanjutnya Lasat (2002) menerangkan bahwa beberapa mikroorganisme seperti *Xanthomonas maltophyla*, *Pseudomonas putida* dan *Shewanella alga* dapat digunakan untuk mereduksi logam berat.

III. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

3. 1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan melalui dua tahap, yaitu penelitian rumah kaca dan penelitian lapang. Penelitian rumah kaca dilakukan di rumah kaca Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat Bogor di Laladon Sindangbarang, Bogor.

Penelitian lapang dilakukan pada tanah sawah di Blok Rancakeong, Desa Linggar, Kecamatan Rancaekek. Kecamatan Rancaekek adalah suatu wilayah di Kabupaten Bandung berdekatan dengan Kabupaten Sumedang, Provinsi Jawa Barat. Lokasi penelitian terletak sekitar $6^{\circ}56'$ L.S. dan $107^{\circ}49'$ B.T. serta mempunyai kisaran suhu antara $20^{\circ} - 35^{\circ}\text{C}$. Lokasi penelitian ini berjarak sekitar 300 meter sebelah kiri dari S. Cikijing dan sekitar 2 km dari pabrik tekstil Kahatex. Adapun lokasi penelitian seperti tertera pada Gambar 5, dan tepatnya tertera pada Gambar 6.



Gambar 5. Kecamatan Rancaekek di Kabupaten Bandung



Gambar 6. Desa Linggar di Kecamatan Rancaekek

Penelitian ini dilaksanakan selama periode Juli 2003 sampai dengan November 2004.

3.2. Bahan dan Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: bor tanah, pH meter, timbangan, pisau, cangkul, dan seperangkat peralatan laboratorium fisik, kimia dan biologi tanah di antaranya tabung reaksi, tabung ulir, pipet, labu Erlenmeyer, gelas ukur, autoklaf, inkubator, corong, kantong plastik, ayakan, botol gelas, lampu spirtus (Bunsen), buret, shaker, luminar, spektrofotometer, *atomic absorption spectrophotometer* (AAS), timbangan, kertas saring, dan alat tulis-menulis.

Bahan penelitian yang digunakan adalah contoh tanah sawah yang tercemar logam berat dari Rancaekek, selanjutnya bahan organik berupa kotoran ayam, sapi, kambing dan serasah tanaman. Selain itu plastik, kayu, benih padi, bakteri pengakumulasi logam berat *Desulfotomaculum orientis* isolat ICBB 1220 dan ICBB 1204, bibit tanaman eceng gondok, mendong, akar wangi dan haramay. Bibit eceng gondok diperoleh dari daerah Pacet – Puncak, Cianjur. Sedang bibit mendong diperoleh dari Ciamis, bibit akar wangi diperoleh dari Jasinga dan bibit haramay diperoleh dari Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat Cimanggu Bogor.

3.3. Metode Percobaan

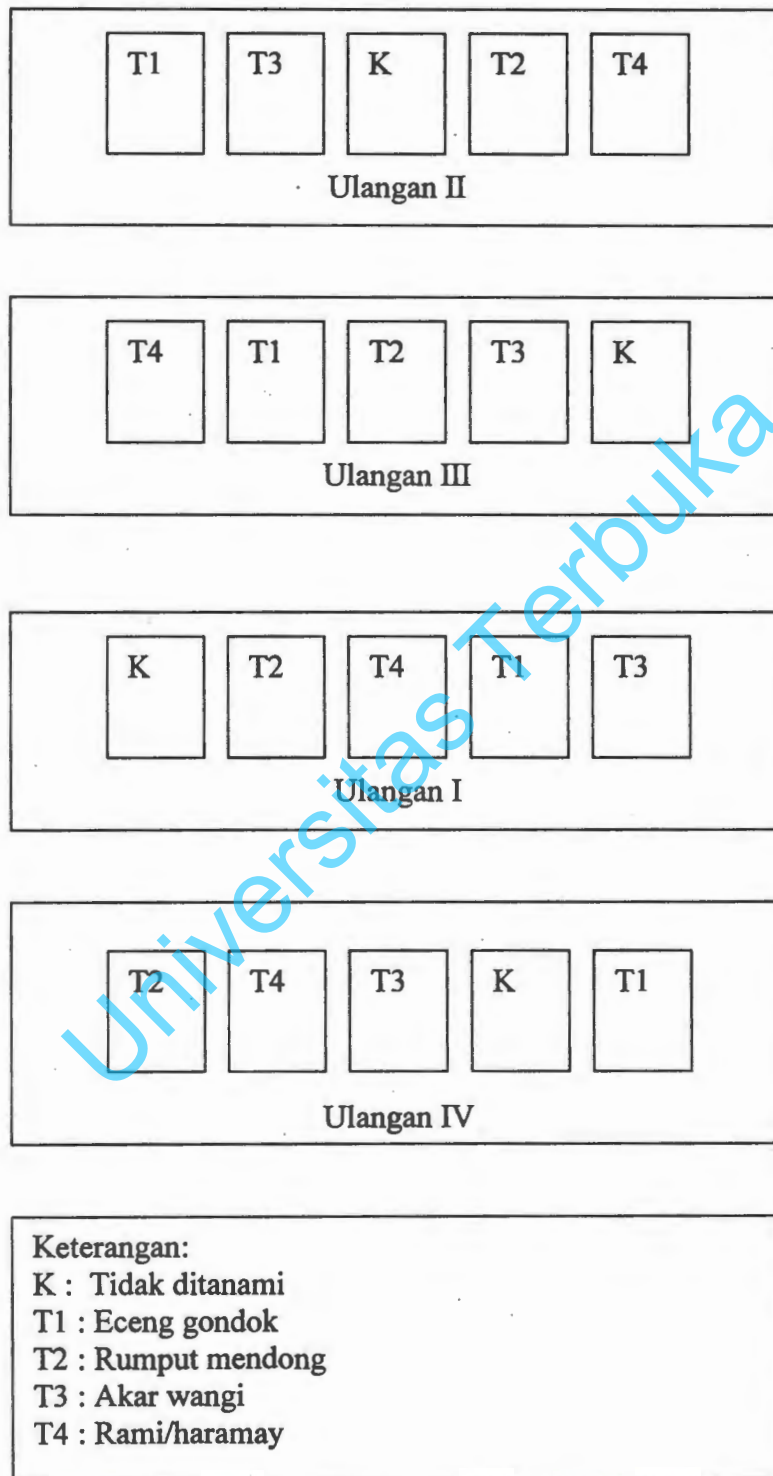
3.3.1. Rancangan Percobaan

Percobaan untuk menurunkan kandungan logam berat dalam tanah dilakukan melalui penggunaan tanaman pengikat logam berat atau dalam penelitian ini disebut dengan fitoremediasi. Selain itu juga digunakan bahan organik dan bakteri. Selanjutnya percobaan penurunan natrium digunakan dengan pencucian.

3.3.1.1. Penggunaan Vegetasi pada Percobaan di Rumah Kaca

Penelitian dilakukan dengan menggunakan rancangan acak lengkap dengan perlakuan tanah ditanami vegetasi eceng gondok (T1), mendong (T2), akar wangi (T3), haramay (T4) dan tidak ditanami/kontrol (T5). Percobaan

dilakukan dengan empat kali ulangan, sehingga ada 20 satuan percobaan. Desain percobaan seperti tertera pada Gambar 7.

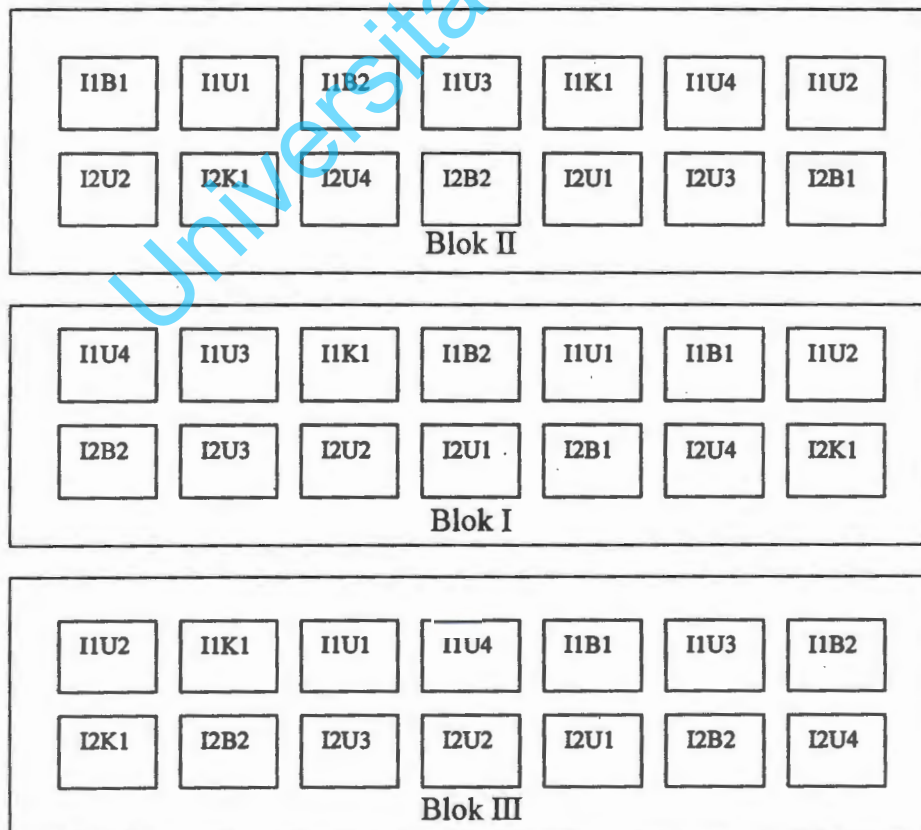


Gambar 7. Tata letak pot percobaan fitoremediasi di rumah kaca

3.3.1.2. Penggunaan Bahan Organik dan Bakteri pada Percobaan di Rumah Kaca

Bahan organik berupa kotoran ayam diperoleh dari peternak ayam yang terletak sekitar 100 meter dari lokasi penelitian lapang (Blok Rancakeong, Desa Linggar, Kecamatan Rancaekek). Pupuk kandang ini sebelum digunakan dianalisis kadar C dan N, hasil analisis menunjukkan nilai C/N ratio sebesar tujuh.

Penelitian rumah kaca disusun dengan menggunakan rancangan petak terpisah, dengan perlakuan petak utama adalah dua jenis sumber air yaitu air irigasi saring (I1) dan air sumur dalam (I2). Pada masing-masing petak utama terdiri atas tujuh anak petak. Selanjutnya perlakuan anak petak adalah tanpa pemberian bahan organik (K1), pemberian bahan organik sebanyak 20 gram/pot (U1), 40 gram/pot (U2), 60 gram/pot (U3) dan 80 gram/pot (U4). Inokulasi isolat ICBB 1204 (B1) dan inokulasi ICBB 1220 (B2). Tanaman indikator yang digunakan adalah tanaman padi yang biasa ditanam petani setempat yaitu varietas Widas. Tata letak percobaan tertera pada Gambar 8, dan gambar pot persiapan percobaan tertera pada Lampiran 1.



Gambar 8. Tata letak pot percobaan penggunaan bahan organik dan bakteri di rumah kaca

Keterangan:

I1K1 : Air irigasi yang disaring

I1B1 : Air irigasi yang disaring + bakteri *Desulfotomaculum orientis* ICBB 1204

I1B2 : Air irigasi yang disaring + bakteri *Desulfotomaculum orientis* ICBB 1220

I1U1 : Air irigasi yang disaring + kotoran ayam 20 gram/pot

I1U2 : Air irigasi yang disaring + kotoran ayam 40 gram/pot

I1U3 : Air irigasi yang disaring + kotoran ayam 60 gram/pot

I1U4 : Air irigasi yang disaring + kotoran ayam 80 gram/pot

I2K1 : Air sumur dalam

I2B1 : Air sumur dalam + bakteri *Desulfotomaculum orientis* ICBB 1204

I2B2 : Air sumur dalam + bakteri *Desulfotomaculum orientis* ICBB 1220

I2U1 : Air sumur dalam + kotoran ayam 20 gram/pot

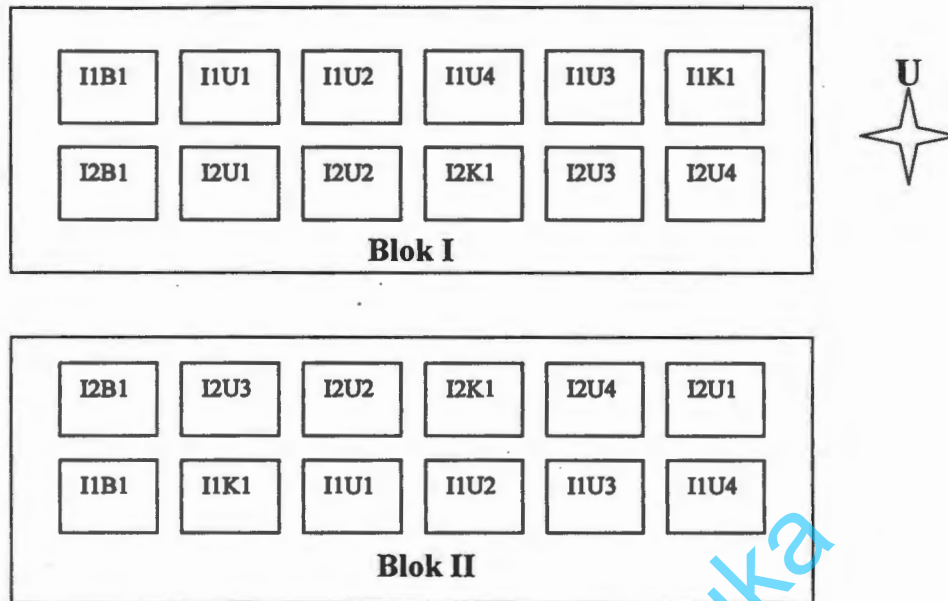
I2U2 : Air sumur dalam + kotoran ayam 40 gram/pot

I2U3 : Air sumur dalam + kotoran ayam 60 gram/pot

I2U4 : Air sumur dalam + kotoran ayam 80 gram/pot

3.3.1.3. Penggunaan Bahan Organik dan Bakteri pada Percobaan di Lapang

Penelitian di lapang menggunakan perlakuan yang berbeda dengan penelitian di rumah kaca, yaitu menggunakan berbagai jenis bahan organik, seperti kotoran ayam, kotoran sapi, kotoran kambing dan kompos tanaman, dengan dosis yang sama yaitu 5 ton/ha. Pemilihan 5 ton/ha didasarkan pada hasil percobaan di rumah kaca yang menunjukkan bahwa dengan pemberian dosis tersebut telah menurunkan konsentrasi logam berat di tanah. Kotoran ayam dan kotoran sapi diperoleh dari daerah sekitar Kecamatan Rancaekek. Kotoran kambing matang diperoleh dari Balai Penelitian Ternak Ciawi dan kompos tanaman diperoleh dari kebun bibit Agroteko, Institut Pertanian Bogor. Kotoran ayam dan kotoran sapi dimatangkan terlebih dahulu dengan cara ditutup kayu/disimpan ditempat teduh, kemudian dibalik setiap 3 hari selama empat minggu. Perlakuan penelitian di lapang disusun menggunakan rancangan petak terpisah. Petak utama adalah sumber air irigasi yaitu air irigasi saring dan air sumur dalam. Anak petak adalah penggunaan berbagai jenis bahan organik yaitu: kotoran ayam, kotoran sapi, kotoran kambing dan kompos tanaman serta isolat bakteri ICBB 1204. Percobaan dilakukan dengan dua ulangan, sehingga ada 24 satuan percobaan. Masing-masing petak percobaan berukuran 4 x 5 m, sedangkan tata letak percobaan tertera pada Gambar 9.



Gambar 9. Tata letak petak percobaan penggunaan bahan organik dan bakteri di lapang

Keterangan:

- I1K1 : Air irigasi yang disaring
 I1B1 : Air irigasi yang disaring + bakteri *Desulfotomaculum orientis* ICBB 1204
 I1U1 : Air irigasi yang disaring + kotoran sapi 5 ton/ha
 I1U2 : Air irigasi yang disaring + kotoran kambing 5 ton/ha
 I1U3 : Air irigasi yang disaring + kotoran ayam 5 ton/ha
 I1U4 : Air irigasi yang disaring + kompos tanaman 5 ton/ha
 I2K1 : Air sumur dalam
 I2B1 : Air sumur dalam + bakteri *Desulfotomaculum orientis* ICBB 1204
 I2U1 : Air sumur dalam + kotoran sapi 5 ton/ha
 I2U2 : Air sumur dalam + kotoran kambing 5 ton/ha
 I2U3 : Air sumur dalam + kotoran ayam 5 ton/ha
 I2U4 : Air sumur dalam + kompos tanaman 5 ton/ha

3.3.2. Pelaksanaan Penelitian

Sebelum kegiatan di rumah kaca atau di lapang dilaksanakan, dilakukan terlebih dahulu peremajaan dan perbanyakkan bakteri dari koleksi isolat yang ada di Laboratorium Mikrobiologi dan Bioteknologi Lingkungan PPLH – IPB dan ICBB yaitu bakteri *Desulfotomaculum orientis* isolat ICBB 1204 dan ICBB 1220. Langkah yang dilakukan adalah menyiapkan media Postgate B dalam tabung ulir. Komposisi media cair Postgate B seperti tertera pada Lampiran 2. Isolat terpilih yang tersimpan beku dalam tabung tertutup, diencerkan dengan menggunakan saker, kemudian diambil sebagian dan dimasukkan ke dalam tabung yang telah

berisi media Postgate B. Lalu ditutup rapat dan biarkan beberapa hari. Pengambilan isolat dilakukan di dalam luminar.

3.3.2.1. Pelaksanaan Penelitian di Rumah Kaca

Percobaan penggunaan bahan organik dan bakteri di rumah kaca menggunakan 42 pot. Seluruh pot dilubangi pada bagian dasar dan dibuat saluran pengeluaran air. Tanah yang telah ditumbuk, diaduk dan diayak dimasukkan kedalam pot masing-masing sebanyak 8 kg lalu dicuci dengan menggunakan air irigasi saring dan air sumur dalam sesuai desain penelitian. Caranya yaitu mula-mula air disiramkan pada tanah, tanah diaduk-aduk, digenangi kemudian airnya dikeluarkan. Selanjutnya digenangi kembali selama 1 minggu dan dikeluarkan kembali, kemudian tanah diolah kembali dan digenangi selama 3 hari, kemudian air dikeluarkan kembali. Setelah itu tanah diberi bakteri ICBB 1204 dan ICBB 1220 sebanyak $1,8 \times 10^6$ per pot dan untuk perlakuan bahan organik ditambahkan kotoran ayam sebanyak 20, 40, 60 dan 80 gram per pot. Lalu diinkubasi selama dua minggu dalam keadaan tertutup, kemudian dilakukan penanaman padi. Satu hari sebelum tanam diberi pupuk Urea dengan dosis 1,7 g/pot N, SP3 dengan dosis 0,55 g/pot P_2O_5 dan KCl dengan dosis 0,60 g/pot K_2O . Kemudian tiap pot ditanam 5 bibit padi berumur 10 hari. Selanjutnya dilakukan penyiraman setiap pagi hari.

Percobaan penggunaan berbagai vegetasi di rumah kaca menggunakan 20 pot/ember ukuran diameter 30 cm dan tinggi 30 cm. Masing-masing pot diisi tanah sebanyak 8 kg. Setelah itu setiap pot dibasahi dengan air dan ditanami bibit eceng gondok, mendong, akar wangi, dan haramay masing-masing seberat 0,5 gram/pot dan pot tidak ditanami sebagai kontrol. Pot yang ditanami eceng gondok dan mendong digenangi, sedangkan pot yang ditanami akar wangi dan haramay, berada dalam kondisi basah. Pemupukan diberikan satu hari menjelang tanam, dengan jumlah pemberian pupuk urea dengan dosis sebanyak 0,64 gram/pot N, SP3 dengan dosis 0,55 gram/pot P_2O_5 dan KCl dengan dosis K_2O sebanyak 0,60 gram/pot. Penanaman dilakukan untuk jangka waktu 4 bulan.

3.3.2.2. Pelaksanaan Penelitian di Lapang

Percobaan penggunaan bahan organik dan bakteri di lapang dilakukan pertama-tama dengan menyiapkan bak/kolam penyaring dan bak/kolam penampung air irigasi dengan ukuran 8 x 8 meter untuk bak penampung air S. Cikijing, bak ukuran 8 x 8 meter untuk bak penyaring dan bak ukuran 6 x 8 meter sebagai bak penampung hasil saringan. Bahan penyaring yang digunakan adalah pasir putih yang didatangkan dari pantai Pangandaran sebanyak 4 ton, dan zeolit yang didatangkan dari Purwakarta sebanyak 3 ton dengan ukuran diameter 3 mm. Sebelum menentukan menggunakan dua bahan ini dilakukan percobaan pendahuluan untuk menurunkan kandungan natrium dalam air irigasi seperti tertera pada Lampiran 3. Selanjutnya pada lahan sawah dibuat dua petak utama yaitu petak yang diiri dengan air irigasi yang telah disaring dan petak yang diiri dengan air sumur dalam. Kemudian pada masing-masing petak utama dibuat enam anak petak sehingga seluruhnya ada 24 anak petak. Ukuran masing-masing anak petak adalah 4 x 5 meter. Gambar petak tertera pada Lampiran 4. Pada masing-masing petak baik yang diiri air irigasi yang disaring dan diiri air sumur dalam dibuat jalan pemasukkan dan pembuangan air dan dibuat tidak saling berpengaruh, maksudnya air buangan dari satu petak tidak masuk ke petak lainnya. Gambar petak sawah seperti tertera pada Lampiran 5.

Petak-petak sawah dialiri air sumur dalam dan air irigasi saring sesuai masing-masing perlakuan. Lalu tanah diolah, digenangi kemudian airnya dikeluarkan, selanjutnya digenangi kembali selama 1 minggu dan dikeluarkan, setelah itu tanah diolah kembali dan digenangi selama 3 hari, kemudian air dikeluarkan kembali. Setelah itu tanah disebar bahan organik dan dibiarkan selama 2 minggu, kemudian dilakukan penanaman padi. Untuk inokulasi bakteri dilakukan dengan cara mencelupkan akar bibit tanaman padi pada larutan berisi isolat ICBB 1204 kemudian langsung ditanam. Pemupukan diberikan dalam bentuk pupuk Urea dengan dosis 75 kg/ha N, SP3 dengan dosis P_2O_5 50 kg/ha dan KCl dengan dosis K_2O 75 kg/ha. Pemupukan diberikan dalam dua tahap sama banyaknya, berturut – turut sehari sebelum tanam, selanjutnya pada padi berumur 21 hari. Penanaman benih padi ini menggunakan jarak 25 cm x 25. Pemeliharaan

tanaman dilakukan dengan memberi 20 kg karbofuran per hektar pada saat tanam dan umur 2 minggu setelah tanam.

3.3.3. Peubah yang Diamati

Penelitian difokuskan pada kandungan natrium dan logam berat (Pb, Cd dan Cr) dalam tanah maupun tanaman. Analisis tanaman dilakukan terhadap seluruh bahan tanaman. Contoh tanaman yang telah digiling diambil untuk dianalisis di laboratorium untuk mengetahui kandungan logam beratnya serta serapan logam pada akar dan daun/jerami. Pada percobaan penggunaan vegetasi pengikat logam berat / fitoremediasi, bagian tanaman yang dianalisis adalah akar dan daun, sedang pada percobaan penggunaan bahan organik dan bakteri bagian tanaman yang dianalisis yaitu akar, daun serta gabah. Pada analisis tanah, dilakukan pengukuran adanya kandungan natrium sebelum dan setelah mengolah tanah. Sedang pengukuran kandungan Pb, Cd dan Cr tanah dilakukan sebelum mengolah tanah dan pada saat panen. Pengambilan tanah dilakukan secara komposit.

Analisis awal tanah dan uji kandungan logam berat dalam tanah dan tanaman dilakukan pada Laboratorium Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Sedangkan peremajaan atau perbanyakkan bakteri pengakumulasi logam berat dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi dan Bioteknologi Lingkungan Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH) IPB dan ICBB Darmaga. Prosedur analisis kandungan logam berat seperti tertera pada Lampiran 6. Khusus analisis unsur krom dilakukan terhadap krom total dengan panjang gelombang $\lambda_{Cr} = 357,9$. Hal ini disebabkan alat AAS Varian AA 50 yang digunakan untuk menganalisis tidak mampu untuk membaca/menangkap sinar yang dipancarkan dari Cr^{3+} maupun Cr^{6+} . Sementara Cr^{3+} dalam jumlah tertentu dibutuhkan oleh tanaman namun tidak demikian dengan Cr^{6+} yang mempunyai sifat sangat toksik. Selanjutnya untuk logam Pb dan Cd yang juga bersifat toksik dan dianalisis dengan alat yang sama dengan panjang gelombang $\lambda_{Pb} = 217,0$ dan $\lambda_{Cd} = 228,8$.

3.4. Analisis Statistik

Model percobaan untuk penelitian penggunaan bahan organik dan bakteri di rumah kaca digunakan *analysis of varians* (ANOVA), yaitu:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = nilai pengamatan satuan percobaan pada ulangan ke -k dengan perlakuan dosis bahan organik dan jenis bakteri pada tarah ke i dan jenis sumber air pada taraf ke - j

μ = nilai rata - rata umum

α_i = pengaruh dosis bahan organik dan jenis bakteri ke - i

β_j = pengaruh sumber air ke-j

$\alpha\beta_{ij}$ = pengaruh dosis bahan organik dan jenis bakteri ke i dan sumber air ke - j

ε_{ijk} = pengaruh acak

Pada penelitian penggunaan bahan organik dan bakteri di lapang digunakan *analysis of varians* (ANOVA) dengan model percobaan sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = nilai pengamatan satuan percobaan pada ulangan ke-k dengan perlakuan jenis amelioran (bahan organik dan bakteri) pada tarah ke-i dan jenis sumber air pada taraf ke - j

μ = nilai rata - rata umum

α_i = pengaruh jenis amelioran ke-i

β_j = pengaruh sumber air ke-j

$\alpha\beta_{ij}$ = pengaruh jenis amelioran ke i dan sumber air ke-j

ε_{ijk} = pengaruh acak

Selanjutnya analisis statistik yang digunakan untuk melihat pengaruh penggunaan tanaman pengikat logam berat yang di lakukan di rumah kaca menggunakan model percobaan sebagai berikut:

$$Y_{ij} = u + t_i + E_{ij}$$

Di mana,

Y_{ij} = hasil pengamatan dari perlakuan ke-i dan ulangan ke-j

U = nilai tengah umum

t_i = pengaruh perlakuan ke-i

E_{ij} = pengaruh galat dari satuan percobaan dengan perlakuan ke-i dan ulangan ke-j.

Selanjutnya untuk mengetahui perbedaan di antara perlakuan digunakan uji perbandingan berganda Duncan dengan taraf kepercayaan 95 %.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Tanah di Lokasi Penelitian

Tanah sawah di lokasi penelitian terletak di Blok Rancakeong, Desa Linggar, Kecamatan Rancaekek, merupakan suatu lahan sawah datar pada ketinggian sekitar 700 m di atas permukaan laut. Tanah berasal dari endapan alluvium serta mempunyai drainase terhambat. Data sifat-sifat fisika dan kimia tanah tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat-sifat fisika dan kimia tanah di lokasi penelitian pada awal penelitian

Jenis analisa	Data lapangan; ulangan			Nilai	Syarat padi sawah (Sl)*	
	I	II	III			
Tekstur: Pasir (%)	9	7	6		Halus sampai agak halus	
Debu (%)	34	44	37			
Liat (%)	57	49	57			
pH	H ₂ O	6,2	5,8	6,4	Agak masam	5,5 – 7,0
	KCl	5,5	5,1	5,6		
C (%)	2,09	2,15	1,92	Sedang	>1,5	
N (%)	0,28	0,29	0,27	Sedang	≥ sedang	
C/N	7	7	7	Rendah	rendah	
HCl 25 % (mg/100 g)						
P ₂ O ₅	238	239	241	Sangat tinggi	≥ tinggi	
K ₂ O	38	32	41	Sedang	≥ sedang	
Olsen P ₂ O ₅ (ppm)	203	175	170	Tinggi	≥ tinggi	
Susunan kation tersedia						
Ca me/100g	14,20	14,19	12,92	Tinggi	-	
Mg me/100g	4,68	4,87	4,66	Tinggi	-	
K me/100g	0,63	0,50	0,69	Sedang	-	
Na me/100g	10,60	10,50	10,11	Tinggi	0,1	
Al ³⁺ me/100g	0,00	0,00	0,11			
H ⁺ me/100g	0,23	0,24	0,21			
Jumlah me/100g	30,11	30,06	28,38			
KTK me/100g	31,71	31,85	29,89	Tinggi	≥ sedang	
KB (%)	95	94	95	Sangat tinggi	> 50	

* = Sumber : Hardjowigeno dan Widiatmaka. (2001)

Berdasarkan data pada Tabel 1, tampak bahwa tanah di lokasi penelitian mempunyai tekstur liat sampai liat berdebu. Berdasarkan kriteria penilaian tanah oleh Sitorus (2000) serta Hardjowigeno dan Widiatmaka (2001), kadar C organik dan N tanah tergolong sedang. Kadar P₂O₅ tersedia tergolong tinggi, sedangkan kadar K dapat dipertukarkan tergolong sedang.

Selanjutnya kadar Ca yang dapat ditukar tergolong tinggi, kadar Mg tergolong tinggi. Tanah di tempat penelitian mempunyai kapasitas tukar kation

(KTK) dan kejenuhan Basa (KB) yang tergolong tinggi. Nilai KB yang tinggi menunjukkan bahwa tanah tersebut mempunyai kesuburan yang baik.

Reaksi tanah (pH) berada pada kisaran angka 5,8 sampai dengan 6,4. Angka ini menunjukkan bahwa tanah sawah di Rancaekek tergolong agak masam hingga netral. Sementara kadar natrium dalam tanah di lokasi penelitian sebesar 10 me/100g. Angka ini tergolong sangat tinggi karena batas natrium dalam tanah pertanian sebesar 1me/100g (Hardjowigeno dan Widiatmaka 2001). Selain itu adanya kadar natrium dengan konsentrasi tinggi (10 me/100g) menunjukkan tanah telah tercemar karena mempunyai kejenuhan natrium atau ESP (*exchangible sodium percentage*) sebesar 35 %. Hal ini sejalan dengan pendapat Hardjowigeno (1994) yang menerangkan bahwa tingkat kejenuhan natrium yang aman untuk tanaman agar dapat tumbuh dengan baik adalah kurang dari 15 %. Bila lebih dari itu atau bahkan lebih dari 20 % akan merusak tumbuhnya tanaman. Santoso (1993) menerangkan bahwa tingginya natrium dapat mengganggu penyerapan air oleh tanaman karena tekanan osmotik larutan tanah lebih tinggi dibandingkan tekanan osmotik dalam sel akar.

Tingginya natrium menyebabkan tanah sawah sulit digunakan untuk pertanian. Hal ini disebabkan adanya natrium disekitar akar dapat mengganggu pertumbuhan tanaman seperti terganggunya proses fotosintesis. Santoso (1993) menerangkan bahwa tanaman yang tumbuh dalam media bergaram akan mengalami tekanan fisiologis dari ion Na^+ dan Cl^- dan dapat menghancurkan struktur enzim. Dengan demikian terganggunya pertumbuhan tanaman menyebabkan adanya penurunan hasil pertanian. Bila suatu lahan mengalami penurunan kualitas karena terjadinya penurunan produksi atau sudah tidak dapat lagi digunakan untuk peruntukannya maka dapat digolongkan telah tercemar.

Tanah sawah di lokasi penelitian juga mengandung berbagai logam seperti tertera pada Tabel 2. Beberapa di antaranya seperti besi (Fe), aluminium (Al), seng (Zn), krom (Cr), dan boron (B) telah memasuki batas kritis tanah.

Sebagian dari logam berat yang tercantum dalam Tabel 2 merupakan unsur mikro, yaitu dibutuhkan tanaman dalam jumlah kecil. Sebaliknya, bila jumlahnya terlalu besar akan menjadi racun bagi tanaman maupun organisme dalam tanah (Pendias dan Pendias, 2000).

Tabel 2. Kadar logam total (ekstrak $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$) pada tanah sawah di lokasi penelitian di Blok Rancakeong

No	Parameter	Satuan	Kelompok			Rentang angka kritis kadar logam dalam tanah
			I	II	III	
1	Fe	ppm	58807	51750	52809	10000-100000**
2	Al	ppm	10749	10209	10309	50.000-200.000***
3	Mn	ppm	546	514	505	1000*
4	Cu	ppm	58	58	59	60 - 125*
5	Zn	ppm	116	110	104	70 - 400*
6	Pb	ppm	29,48	20,67	20,67	100 - 400*
7	Cd	ppm	1,55	2,02	1,18	3 - 8*
8	Co	ppm	19,9	19,7	20,1	25 - 50*
9	Cr	ppm	41,81	36,16	46,21	75 - 100*
10	B	ppm	111,8	98,5	125,1	2-3**
11	Ni	ppm	16,2	16,1	16,1	32 - 100*

* = Sumber : Pendias dan Pendias (1992)

** = Sumber : Mengel dan Kirby (1987)

*** = Sumber : Ming dan Henninger (1989)

Selain logam yang diperlukan oleh tanaman, tanah sawah juga mengandung logam berat yang hingga kini belum diketahui manfaatnya bagi tumbuhan seperti Pb dan Cd (Tabel 3).

Tabel 3. Kadar logam tersedia (ekstrak CH_3COOH) pada tanah sawah di lokasi penelitian di Blok Rancakeong

No	Parameter	Satuan	Kelompok			Rentang angka kritis kadar logam tersedia
			I	II	III	
1	Fe	ppm	101,17	127,19	139,14	-
2	Al	ppm	14,96	16,60	16,91	0,1-0,6*
3	Mn	ppm	44,50	27,9	17,31	0,1-10*
4	Cu	ppm	0,91	0,97	0,95	0,03-0,3*
5	Zn	ppm	2,44	3,20	4,45	<0,005*
6	Pb	ppm	0,30	1,53	0,20	0,001*
7	Cd	ppm	0,04	0,04	0,03	0,001*
8	Co	ppm	0,16	0,30	0,53	0,01*
9	Cr	ppm	0,17	0,11	0,23	0,001*
10	B	ppm	5,44	5,06	5,72	0,1-1,0**
11	Ni	ppm	0,19	0,20	0,22	0,05*
12	Na	ppm	2100	2100	2200	-

* = Sumber : Ming dan Henninger (1989)

** = Sumber : Mengel dan Kirby (1987)

Dengan demikian tanah sawah di Blok Rancakeong Desa Linggar Kecamatan Rancaekek dapat digolongkan telah tercemar dan menjadi tanah yang memerlukan penanganan / rehabilitasi karena mengandung natrium dan logam berat. Tingginya kadar natrium serta adanya logam berat berbahaya beracun yang ada dalam tanah sawah menunjukkan wilayah tersebut mengalami masalah lingkungan. Masalah lingkungan yang dapat mengakibatkan kerusakan tanah tersebut menurut Dent (1993) dapat dikelompokkan ke dalam kerusakan kimia tanah yang dicirikan hilangnya kesuburan tanah dan terkandungnya unsur-unsur kimia yang tidak dibutuhkan tanaman dan manusia pemakannya

4.2 Pengaruh Pencucian dengan Menggunakan Air Sumur Dalam dan Air Irigasi Saring terhadap Kadar Natrium dalam Tanah

Tingginya kadar natrium dalam tanah di Kecamatan Rancaekek diduga akibat penggunaan air irigasi dari aliran Sungai Cikijing yang juga mengandung natrium yang tinggi. Upaya penurunan kadar natrium dalam tanah sawah dilakukan melalui pencucian dengan menggunakan air irigasi saring dan air sumur dalam. Air irigasi saring merupakan air Sungai Cikijing yang disaring dengan menggunakan pasir putih dan zeolit. Hasil yang diperoleh menunjukkan adanya penyaringan dapat menurunkan kadar natrium dari 1098 ppm menjadi 622 ppm. Angka ini dalam kadar lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi natrium dalam tanah yang berada dalam kisaran 1100 sampai dengan 2100 ppm Na. Walaupun adanya penyaringan sederhana dengan zeolit dan pasir putih berpengaruh terhadap penurunan natrium, namun hasil yang diperoleh belum memenuhi kriteria baku mutu air irigasi. Hal ini diduga karena tingginya konsentrasi natrium dalam air Sungai Cikijing menyebabkan molekul zeolit tidak mampu menyerap semua natrium yang ada.

Air sumur dalam (ASD) adalah air yang berada dibawah muka air tanah dan untuk mendapatkan air tersebut dilakukan melalui pemboran dan pemompaan. Hasil analisis air Sungai Cikijing, air irigasi saring dan air sumur dalam tertera pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisis sifat-sifat kimia Air Sungai Cikijing, Air Irigasi Saring dan Air Sumur Dalam

No	Parameter	Satuan	Data nilai air irigasi **			Baku mutu air irigasi* (Gol.D)
			ASC	AIS	ASD	
1	Na	Ppm	1098,000	622,000	51,29	60
2	Fe	Ppm	0,078	0,033	0,000	-
3	B	Ppm	1,364	1,250	-	1
4	Mn	Ppm	0,501	0,832	0,550	2
5	Pb	Ppm	0,009	0,009	0,000	1
6	Cd	Ppm	0,005	0,006	0,000	0,01
7	Co	Ppm	0,025	0,038	0,000	0,2
8	Ni	Ppm	0,002	0,001	0,000	0,5
9	Cr	Ppm	0,027	0,018	0,000	1
10	Cu	Ppm	0,007	0,004	0,000	0,2
11	Zn	Ppm	0,008	0,007	0,000	2
12	PH		7,1	7,0	7,000	5 - 9
13	DtHl, 25°	dS/m	4,14	1,78	0,551	-

* = Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 1990.

** ASC = Air Sungai Cikijing
AIS = Air irigasi saring
ASD = Air sumur dalam

Berdasarkan data pada Tabel 4, tampak bahwa ASD di wilayah Kecamatan Rancaekek mempunyai kadar natrium lebih rendah dibandingkan dengan air aliran Sungai Cikijing (ASC) maupun air hasil saringnya atau air irigasi saring (AIS). Selanjutnya kadar natrium pada air sumur dalam, memenuhi kriteria batas baku mutu air irigasi sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 1990. Namun tidak demikian dengan air irigasi saring dan air Sungai Cikijing.

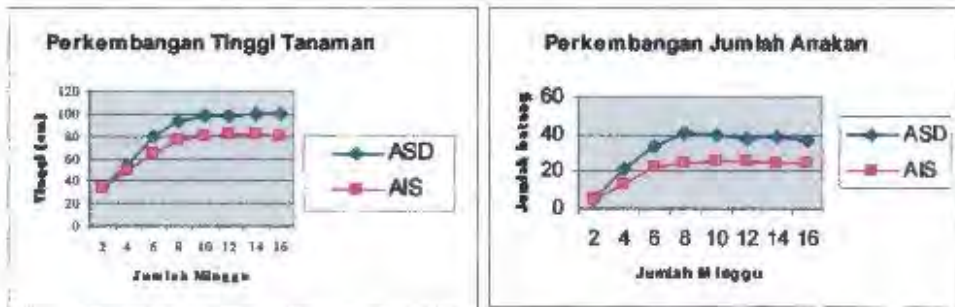
Pencucian natrium dalam tanah sawah dilakukan pada waktu pengolahan tanah, dengan menggunakan air sumur dalam dan air irigasi saring. Penelitian yang dilakukan oleh Haryono *et al.*, (2001) pada tanah sawah tercemar limbah natrium menunjukkan bahwa pencucian (penggenangan satu dan dua minggu) dapat menurunkan kadar natrium dalam tanah. Kurnia *et al.*, (2003) dalam penelitiannya mendapatkan bahwa pencucian setiap dua minggu selama satu musim tanam mampu menurunkan natrium dalam air drainase dari konsentrasi 1100 ppm menjadi kurang dari 100 ppm. Sementara air yang digunakan untuk pencucian mengandung natrium lebih kecil dari 60 ppm. Dengan demikian pencucian tanah sawah dengan air yang mengandung natrium lebih rendah diduga dapat menurunkan kadar natrium, setidaknya hingga mencapai nilai kadar natrium air pencucinya.

Aplikasi penggunaan air sumur dalam dan air irigasi saring pada percobaan tanaman padi di rumah kaca menunjukkan bahwa pencucian mampu menurunkan kadar natrium dalam tanah. Pencucian yang dilakukan sebelum tanam yaitu pada saat pengolahan tanah, kemudian dilakukan penggenangan sebanyak dua kali, mampu menurunkan kadar natrium dari 2011 menjadi 1275 ppm Na (sekitar 6 me/100g) untuk tanah sawah yang diairi air sumur dalam, dan berkurang dari 2011 menjadi 1511 ppm Na (sekitar 6,5 me/100g) untuk tanah sawah yang diairi air irigasi saring. Kadar natrium pada tanah sawah yang diairi air irigasi saring lebih tinggi dibandingkan dengan tanah sawah yang diairi air sumur dalam.

Hal tersebut tidak berbeda jauh dengan percobaan di lapang. Kadar Na untuk tanah sawah yang dicuci menggunakan air sumur dalam berkurang dari 2854 ppm Na menjadi 1318 ppm Na (sekitar 6 me/100g), sedangkan pada tanah yang dicuci dengan air irigasi saring berkurang dari 2854 ppm Na menjadi 1724 ppm Na (sekitar 8 me/100g).

Natrium dalam jumlah sedikit dibutuhkan oleh beberapa jenis tanaman, namun dalam jumlah berlebih dapat mengganggu pertumbuhan tanaman. Natrium dalam tanah sawah (di lapang) seringkali berfluktuasi, karena setelah penggenangan garam natrium dapat tercuci oleh hujan atau tertimbun di lapisan atas tanah oleh adanya evaporasi (Fitter dan Hay, 1991). Kelebihan natrium dalam tanah, terutama pada lapisan/bidang olah, akan menyebabkan kerusakan tidak hanya pada struktur tanah akan tetapi dapat merusak pertumbuhan tanaman karena terjadi plasmolisis (Santoso, 1993).

Pada percobaan di rumah kaca tanaman yang memperoleh perlakuan kedua macam jenis air tersebut menunjukkan pertumbuhan yang berbeda mulai 6 minggu setelah tanam (MST) dan seterusnya dimana padi yang diairi air sumur dalam lebih tinggi dari yang diairi air irigasi saring. Tanaman padi tumbuh secara cepat (baik) mulai dari awal tanam hingga 10 MST, setelah itu mulai lambat dan akhirnya tetap hingga panen. Pemberian air sumur dalam dan air irigasi saring berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman dan jumlah anakan produktif. Selanjutnya tanaman yang diairi air sumur dalam, pertumbuhannya lebih tinggi dan jumlah anakan produktif lebih banyak dibandingkan dengan tanaman yang diairi dengan air irigasi saring. Perbedaan tinggi dan jumlah anakan tanaman padi yang diairi air sumur dalam dan air irigasi saring tertera pada Gambar 10.



Gambar 10. Perkembangan tinggi dan jumlah anakan tanaman padi pada tanah sawah yang diairi ASD dan AIS pada percobaan pencucian penggunaan bahan organik di rumah kaca

Tinggi tanaman pada tanah yang diairi air sumur dalam (99,1 cm) berbeda nyata dengan tinggi tanaman yang diairi air irigasi saring (80,8 cm). Sementara jumlah anakan produktif rata-rata tanaman yang diairi air sumur dalam sebesar 36 buah berbeda nyata dengan tanaman yang diairi air irigasi saring sebesar 23. Pengaruh kadar natrium terhadap tinggi tanaman mengikuti persamaan regresi $Y = 112 - 0,008 Na$ dengan R^2 sebesar 0,595. Pengaruh kadar natrium terhadap jumlah anakan produktif mengikuti persamaan regresi $Y = 49,5 - 0,007 Na$ dengan R^2 sebesar 0,485. Walaupun penggunaan air irigasi yang disaring berpengaruh lebih rendah dibandingkan dengan air sumur dalam, namun hasil tersebut masih lebih baik bila dibandingkan dengan tanaman yang diairi air Sungai Cikijing yang tidak disaring/limbah mumi seperti tertera pada Gambar 11.



Gambar 11. Pertumbuhan tanaman padi dengan tiga jenis air yang berbeda

Hal yang tidak jauh berbeda juga terjadi di lapang dimana tinggi rata-rata tanaman yang diairi air sumur dalam dapat mencapai 58,2 cm sementara air irigasi saring hanya mencapai 46,2 cm. Jumlah anakan untuk tanaman padi yang diairi air sumur dalam 16 buah dan untuk tanaman yang diari air irigasi saring sebanyak 11 buah. Namun untuk beberapa petak sawah yang diairi air irigasi saring terjadi kematian tanaman padi dalam beberapa jumlah rumpun. Pengaruh natrium terhadap tinggi tanaman pada percobaan lapangan mengikuti persamaan regresi $Y = 80,8 - 0,007 Na$ dengan R^2 sebesar 0,43. Pengaruh natrium terhadap jumlah anakan produktif mengikuti persamaan regresi $Y = 21,5 - 0,002 Na$ dengan R^2 sebesar 0,51.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tingginya kadar natrium dalam tanah berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman, baik terhadap tinggi tanaman maupun jumlah anakan. Tingginya kadar natrium dalam tanah menyebabkan peptisasi partikel liat tanah dan hilangnya ruang pori yang berisi udara (Fitter dan Hay, 1991). Akibatnya, serapan berbagai unsur hara esensial bagi tanaman yang tumbuh di atasnya terganggu karena tingginya konsentrasi garam terlarut dalam tanah. Tingginya garam terlarut dalam tanah dapat meningkatkan tekanan osmotik larutan tanah sehingga mengganggu pengaturan osmose dan transport zat terlarut serta dapat mengurangi jumlah air yang dapat masuk ke dalam akar tanaman (Chapman, 1974). Sebaliknya air dari sel tanaman akan keluar (medium perakaran), sehingga sel dapat kekurangan cairan, akibatnya tanaman akan mati.

4.3. Pengaruh Penggunaan Vegetasi Pengikat Logam Berat terhadap Kadar Pb, Cd dan Cr

Teknologi untuk memperbaiki lahan terkontaminasi logam berat dengan menggunakan vegetasi dikenal dengan fitoremediasi. Vegetasi yang digunakan untuk fitoremediasi adalah tanaman yang mempunyai penyerapan tinggi dan mampu tumbuh pada tanah yang terkontaminasi (Hasegawa, 2000).

4.3.1. Kadar Logam Berat dalam Tanah

Penggunaan vegetasi nyata menurunkan kadar Cd dan Cr tersedia dalam tanah (ekstrak dengan NH_4COOH) namun tidak demikian terhadap Pb. Pengaruh

eceng gondok dalam menurunkan Cd dalam tanah lebih tinggi dibandingkan dengan tiga vegetasi lainnya. Selanjutnya seluruh vegetasi nyata menurunkan Cr tersedia dalam tanah dan pengaruhnya antar tanaman tidak berbeda nyata (Tabel 5).

Tabel 5. Nilai tengah berpasangan kadar logam berat dalam tanah ekstrak NH_4COOH (Percobaan fitoremediasi di rumah kaca)

Jenis perlakuan	Kadar logam berat tersedia dalam tanah (ppm)		
	Pb	Cd	Cr
Tanpa vegetasi	1,8325 a	0,4550 a	0,5075 a
Eceng gondok	1,6375 a	0,3525 c	0,4325 ab
Mendong	1,6325 a	0,4175 ab	0,3325 b
Akar wangi	1,6300 a	0,3800 bc	0,3000 b
Haramay	1,7275 a	0,4050 ab	0,3025 b

Keterangan:

Huruf kecil(a,b,c) yang berbeda pada kolom sama menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$) kadar logam antar tanaman.

Walaupun tidak nyata, kadar Pb pada penggunaan vegetasi cenderung lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan tanpa vegetasi. Bila dibandingkan dengan tanpa vegetasi maka haramay mampu menurunkan Pb tersedia sebesar 5,72 %, eceng gondok sebesar 10,64 %, mendong sebesar 10,91 % dan akar wangi sebesar 11,05 %. Sementara untuk Cd vegetasi mendong mampu menurunkan Cd tersedia dalam tanah sebesar 8,24 %, haramay sebesar 10,98 %, akar wangi sebesar 16,48 % dan eceng gondok sebesar 22,52 %. Selanjutnya untuk Cr, eceng gondok mampu menurunkan Cr tersedia dalam tanah sebesar 14,78 %, mendong sebesar 34,48 %, haramay sebesar 40 % dan akar wangi sebesar 40,88 %.

Dengan demikian maka masing-masing vegetasi mempunyai kemampuan berbeda dalam menurunkan kadar logam berat dalam tanah. Adanya penurunan kadar logam berat dalam tanah diduga karena sebagian dari ion logam diserap tanaman.

Selanjutnya bila ditinjau keberadaan logam berat total dalam tanah (ekstrak $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$ pekat) maka penggunaan vegetasi pengikat logam yaitu eceng gondok, mendong, akar wangi dan haramay tidak berpengaruh nyata terhadap kadar Pb dan Cr total dalam tanah kecuali terhadap kadar Cd. Namun penggunaan keempat vegetasi ini cenderung menurunkan logam berat dalam tanah seperti tertera pada Tabel 6.

Bila dibandingkan dengan tanpa vegetasi (kontrol), penggunaan eceng gondok mampu menurunkan kadar Pb di tanah sebesar 9,22 %, Cd sebesar 38,54 %, dan Cr sebesar 19,94 %. Mendong mampu menurunkan kadar Pb sebesar 5,83 %, Cd sebesar 30,54 % dan Cr sebesar 25,60 %. Selanjutnya akar wangi mampu menurunkan kadar Pb sebesar 4,06 %, Cd sebesar 28,73 % dan Cr sebesar 19,26 %. Sementara haramay mampu menurunkan kadar Pb sebesar 3,46 %, Cd sebesar 25,45 % dan Cr sebesar 9,37 %.

Tabel 6. Nilai tengah berpasangan kadar logam berat dalam tanah ekstrak $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$ (Percobaan fitoremediasi di rumah kaca)

Jenis perlakuan	Kadar logam berat dalam tanah (ppm)		
	Pb	Cd	Cr
Tanpa vegetasi	30,03 a	2,75 a	41,28 a
Eceng gondok	27,26 a	1,69 b	33,05 a
Mendong	28,28 a	1,91 ab	30,57 a
Akar wangi	28,81 a	1,96 ab	33,33 a
Haramay	28,89 a	2,05 ab	37,41 a

Keterangan:

Huruf kecil(a,b,c) yang berbeda pada kolom sama menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$) kadar logam antar tanaman.

Hasil penelitian di lapang yang dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat bekerjasama dengan Dinas Kependudukan dan Lingkungan Hidup seperti dilaporkan oleh Kurnia *et al.*, (2003) menerangkan bahwa eceng gondok dan mendong mampu menurunkan kadar logam berat total dalam tanah sawah (Tabel 7).

Tabel 7. Nilai rata-rata kadar logam berat dalam tanah ekstrak $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$ (Percobaan fitoremediasi di lapang)*

Jenis perlakuan	Kadar logam berat dalam tanah (ppm)		
	Pb	Cd	Cr
Tanpa vegetasi	13,74	0,13	26,41
Eceng gondok	11,52	0,11	23,95
Mendong	12,71	0,11	26,09

Keterangan :

* = tertera dalam Kurnia *et.al.*, (2003)

Adapun vegetasi yang dicobakan adalah eceng gondok, mendong, akar wangi dan haramay. Pada awal tanam seluruh vegetasi sulit tumbuh dengan baik. Setelah diairi air sumur dalam dan dikeluarkan kembali (dicuci) sebanyak dua kali

maka mulai tampak adanya pertumbuhan. Namun akar wangi dan haramay tidak bertahan lama, sementara eceng gondok dan mendong tampak lebih toleran dengan kondisi lapang yang ada. Akar wangi bertahan hidup hingga tiga minggu dan relatif lebih lama dibandingkan dengan haramay yang hanya mampu bertahan hingga umur dua minggu. Sulit tumbuhnya ke empat vegetasi ini di awal tanam diduga karena tingginya kadar natrium dalam tanah, sementara kurang bertahannya akar wangi di lapang diduga karena vegetasi ini memerlukan air yang tidak terlalu banyak. Sementara kurang bertahannya haramay diduga karena vegetasi ini tidak bertahan hidup pada tanah tergenang maupun tanah yang terlalu basah. Dengan demikian eceng gondok dan mendong merupakan vegetasi yang lebih disarankan dicobakan di wilayah Rancaekek dibandingkan dengan akar wangi dan haramay.

4.3.2. Kadar dan Serapan Logam Berat dalam Akar

Data nilai tengah berpasangan kadar logam berat dalam akar tertera pada Tabel 8. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa ada perbedaan nyata kadar Pb, Cd dan Cr pada akar dari keempat vegetasi.

Tabel 8. Nilai tengah berpasangan kadar logam berat dalam akar (Percobaan fitoremediasi di rumah kaca)

Macam tanaman	Kadar logam berat rata-rata dalam akar (ppm)		
	Pb	Cd	Cr
Eceng gondok	21,37 a	2,71 a	19,10 a
Mendong	21,69 a	2,06 a	22,64 a
Akar wangi	5,95 b	1,78 ab	5,69 b
Haramay	6,15 b	1,26 b	5,88 b

Keterangan:

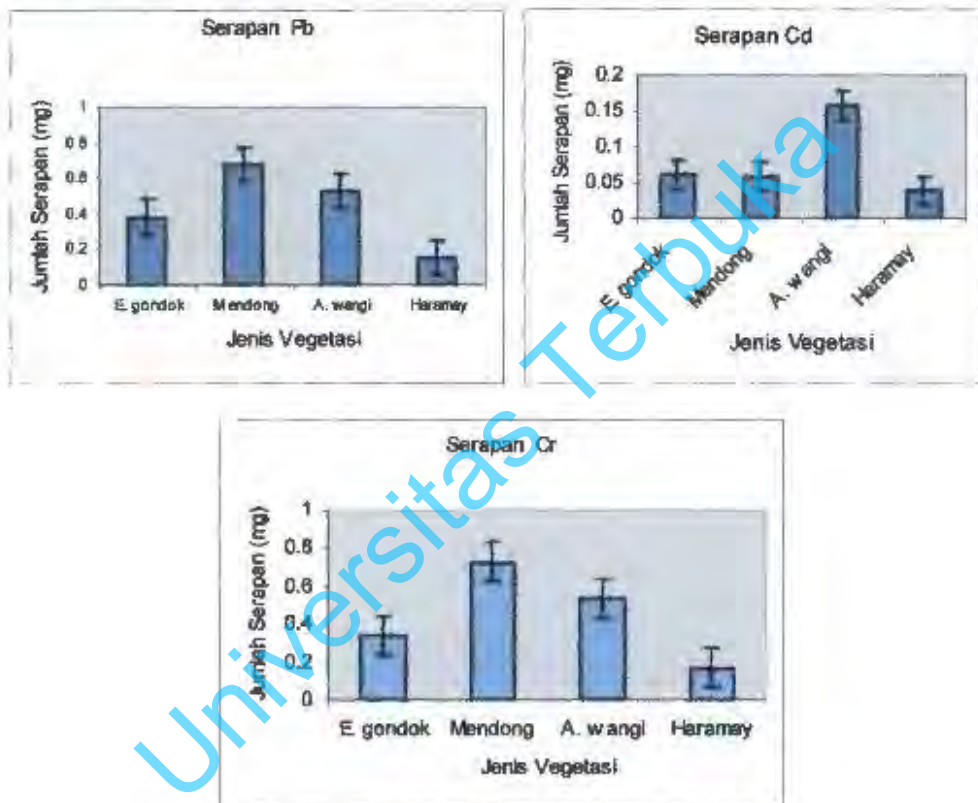
Huruf kecil(a,b,c) yang berbeda pada kolom sama menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$) kadar logam antar tanaman.

Berdasarkan uji nilai tengah berpasangan dapat diterangkan bahwa kadar Pb tertinggi ada pada mendong dan tidak berbeda nyata dengan eceng gondok namun berbeda nyata dengan akar wangi dan haramay. Sementara untuk Cd, vegetasi yang paling berbeda nyata dengan vegetasi lainnya adalah haramay.

Kadar Pb dan Cd pada haramay lebih rendah dibandingkan dengan eceng gondok dan mendong. Sementara untuk Cr, kadar tertinggi ada pada mendong dan

tidak berbeda nyata dengan eceng gondok akan tetapi berbeda nyata dengan akar wangi dan haramay. Berdasarkan uraian tersebut dapat dijelaskan bahwa eceng gondok dan mendong mampu mengakumulasi logam berat di akar lebih tinggi dibandingkan dengan akar wangi dan haramay.

Bila dilihat berdasarkan serapannya, hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata serapan Pb, Cd dan Cr di akar dari keempat vegetasi pada taraf 0,05, tertera pada Lampiran 7. Besarnya serapan pada akar keempat vegetasi dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Serapan logam berat dalam akar vegetasi

Hasil uji nilai tengah berpasangan menunjukkan bahwa serapan Pb tertinggi di akar adalah mendong yaitu sebesar 0,6781 miligram/pot dan secara statistik berbeda nyata dengan haramay akan tetapi tidak berbeda nyata dengan eceng gondok dan akar wangi. Selain tertinggi dalam menyerap Pb, mendong juga tertinggi dalam menyerap Cr di akar (0,7289 miligram/pot) dan berbeda nyata dengan haramay akan tetapi tidak berbeda nyata dengan eceng gondok dan akar

wangi. Selanjutnya akar wangi merupakan vegetasi yang paling tinggi menyerap Cd (0,1579 miligram/pot) dan berbeda nyata dengan tiga vegetasi lainnya.

Tingginya kadar dan serapan Pb, Cd dan Cr pada akar eceng gondok dan mendong diduga karena sistem perakaran kedua vegetasi ini mempunyai banyak bulu-bulu akar. Dengan banyaknya bulu-bulu akar menyebabkan tapak jerapan akar lebih tinggi. Sementara untuk akar wangi dan haramay, penelitian yang dilakukan oleh Dewi (2004) menerangkan bahwa kedua tanaman tersebut mampu menyerap logam Pb dan Cd pada akar tanaman. Serapan Pb pada akar haramay dapat mencapai sebesar 26,819 $\mu\text{g}/\text{pot}$ sedang akar wangi sebesar 44,657 $\mu\text{g}/\text{pot}$. Selanjutnya untuk Cd pada haramay sebesar 4,021 $\mu\text{g}/\text{pot}$ dan 7,727 $\mu\text{g}/\text{pot}$ untuk akar wangi.

4.3.3. Kadar dan Serapan Logam Berat di Daun

Logam berat tidak hanya terakumulasi dalam akar namun dapat ditranslokasikan dalam daun. Kadar logam berat dalam daun tertera pada Tabel 9.

Tabel 9. Nilai tengah berpasangan kadar logam berat dalam daun (Percobaan penggunaan fitoremediasi di rumah kaca)

Macam vegetasi	Kadar logam berat dalam daun (ppm)		
	Pb	Cd	Cr
Eceng gondok	14,01 b	1,75 b	5,89 a
Mendong	5,44 c	0,94 c	5,72 b
Akar wangi	5,94 c	0,56 d	5,68 b
Haramay	24,64 a	2,90 a	5,85 a

Keterangan:

Huruf kecil(a,b,c) yang berbeda pada kolom sama menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$) kadar logam antar tanaman.

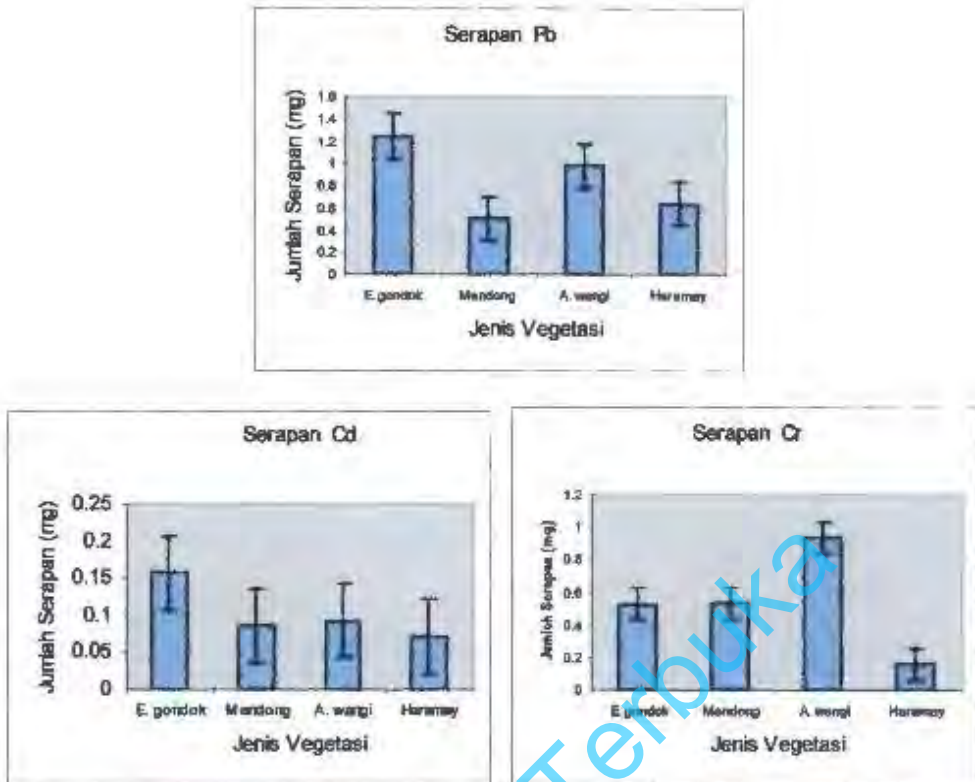
Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa ada perbedaan nyata kadar Pb, Cd dan Cr pada daun dari keempat vegetasi. Selanjutnya berdasarkan uji nilai tengah berpasangan dapat diterangkan bahwa kadar Pb pada haramay lebih tinggi dan berbeda nyata dibandingkan dengan ketiga vegetasi lainnya. Selanjutnya kadar Pb pada eceng gondok lebih tinggi dibandingkan akar wangi dan mendong, namun antara akar wangi dan mendong tidak berbeda nyata. Sementara untuk Cd, menunjukkan bahwa masing-masing vegetasi berbeda nyata, kadar Cd di daun

tertinggi ada pada haramay, kemudian eceng gondok, akar wangi dan mendong. Selanjutnya untuk Cr, dapat diterangkan bahwa eceng gondok tidak berbeda nyata dengan haramay, namun berbeda nyata dengan mendong dan akar wangi, sementara mendong tidak berbeda nyata dengan akar wangi

Berdasarkan uraian diatas dapat disimpulkan bahwa eceng gondok dan haramay mampu mentranslokasikan logam Pb dan Cd dari akar ke daun lebih tinggi dibanding dengan mendong dan akar wangi. Tingginya kadar logam berat pada vegetasi haramay diduga karena haramay mempunyai akar tunggang yang besar dan kuat. Pada saat respirasi diduga tumbuhan akan mengeluarkan asam-asam organik didaerah perakaran sehingga sehingga logam berat yang ada disekitar akar menjadi lebih mudah diserap oleh perakaran vegetasi. Pendias dan Pendias (2000) menjelaskan bahwa adanya eksudat akar akan menyebabkan tersedianya asam-asam organik disekitar perakaran sehingga pH tanah menurun, dan adanya penurunan pH menyebabkan logam berat mudah terjerap. Selain itu diduga haramay mempunyai bentuk daun yang lebih besar dibandingkan dengan ketiga vegetasi lainnya sehingga memungkinkan tersimpannya logam berat diantara sel-sel daun.

Adanya logam berat dalam bagian-bagian tanaman menunjukkan dapat terjerapnya logam berat dalam tanah ke dalam jaringan tanaman bagian bawah yang selanjutnya ditranslokasi dan terakumulasi pada tanaman bagian atas misalnya daun, seperti tertera pada Gambar 13.

Hasil analisis sidik ragam tertera pada Lampiran 8 menunjukkan ada pengaruh nyata pemberian keempat vegetasi terhadap serapan logam dalam daun. Eceng gondok merupakan vegetasi tertinggi (1,2423 miligram/pot) dalam mengakumulasi Pb di daun dibandingkan dengan mendong, akar wangi dan haramay. Akan tetapi secara statistik eceng gondok tidak berbeda nyata bila dibandingkan dengan akar wangi dan haramay, namun berbeda nyata dengan mendong.



Gambar 13. Serapan logam berat di daun

Selain Pb, eceng gondok juga tertinggi (0,1577 miligram/pot) dalam mengakumulasi Cd di daun dan berbeda nyata dengan mendong dan haramay namun tidak berbeda nyata dengan akar wangi. Hal ini sejalan dengan penelitian Zhu *et al.*, (1999) yang menerangkan bahwa eceng gondok mampu mengakumulasi Cd dengan tinggi bahkan hingga 61,7 mg/kg berat kering per hari. Tingginya kemampuan eceng gondok dalam mengakumulasi logam berat diduga karena eceng gondok mempunyai vakuola yang besar dalam struktur selnya sehingga mampu menyimpan logam berat dalam jaringan tanaman.

Sementara akar wangi tertinggi (0,9390 miligram/pot) dalam mengakumulasi Cr di daun dan berbeda nyata dengan tiga vegetasi lainnya. Hasil penelitian yang hampir sama dilakukan oleh Dewi (2004) yang menerangkan bahwa akar wangi lebih tinggi mengakumulasi Pb dan Cd pada jaringan tanaman dibandingkan dengan haramay. Selanjutnya diterangkan bahwa akumulasi Pb pada tajuk haramay dapat mencapai sebesar 12,807 $\mu\text{g}/\text{pot}$ sedang akar wangi sebesar 11,824 $\mu\text{g}/\text{pot}$ sementara untuk Cd pada haramay mampu mengakumulasi sebesar 1,105 $\mu\text{g}/\text{pot}$ dan akar wangi sebesar 5,341 $\mu\text{g}/\text{pot}$.

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa pengikatan logam berat dalam tanah bervariasi pada setiap tanaman. Eceng gondok relatif lebih tinggi mengakumulasi logam berat dalam daun, sedang akar wangi mampu mengikat kuat logam berat dalam akar. Dengan demikian kemampuan terjerapnya atau terakumulasinya logam berat pada bagian tanaman berbeda untuk setiap jenis vegetasi. Dudka *et al.*, (1996) dalam penelitiannya membandingkan konsentrasi Pb dan Cd pada tanaman kentang, pisang dan gandum. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa konsentrasi Pb dan Cd berbeda-beda pada bagian tanaman dan jenis tanaman. Sementara (Fergusson, 1991) menerangkan bahwa banyak faktor yang mempengaruhi kadar logam berat pada vegetasi di antaranya adalah jenis vegetasi, kadar dan ketersediaan logam berat tersebut dalam tanah.

Dengan demikian penggunaan tanaman pengikat logam atau bioakumulator mampu menyerap dan mengakumulasi logam berat di dalam bagian-bagian tanaman dan tanaman yang relatif tahan di wilayah Rancaekek adalah eceng gondok dan mendong.

4.4. Pengaruh Penggunaan Bahan Organik terhadap Pb, Cd dan Cr

Bahan organik yang digunakan untuk mengkelat logam berat adalah bahan organik yang telah terdekomposisi di dalam tanah sehingga menghasilkan asam-asam organik yang mampu berikatan dengan logam berat. Percobaan rehabilitasi tanah sawah dengan menggunakan bahan organik dilakukan di rumah kaca dan di lapang.

4.4.1. Percobaan di Rumah Kaca

4.4.1.1. Kadar Logam Berat dalam Tanah, Akar, Daun dan Beras.

Penambahan bahan organik pada tanah sawah di Blok Rancakeong memberi pengaruh terhadap penurunan logam berat dalam tanah sawah tersebut. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa pemberian bahan organik berpengaruh nyata terhadap penurunan Pb, Cd dan Cr tertera pada Lampiran 9, dan hasil uji nilai tengah berpasangan tertera pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil uji nilai tengah berpasangan kadar logam berat dalam tanah ekstrak NH_4COOH (Percobaan penggunaan bahan organik di rumah kaca)

Dosis bahan organik (gram/pot)	Nilai rata-rata dalam tanah (ppm)		
	Pb	Cd	Cr
0	1,7317 a	0,3217 a	1,2183 a
20	1,1450 b	0,3166 a	1,2150 a
40	0,9217 b	0,2583 ab	1,2033 a
60	0,5600 c	0,2833 a	1,1883 ab
80	0,5717 c	0,2017 b	1,0083 b

Keterangan:

Huruf kecil(a,b,c) yang berbeda pada kolom sama menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$) kadar logam antar dosis bahan organik

Berdasarkan data pada Tabel 10 dapat dijelaskan bahwa penambahan bahan organik sebesar 20 gram/pot menurunkan secara nyata kadar Pb dalam tanah dibandingkan dengan tanpa penambahan bahan organik. Sedangkan untuk Cd dan Cr, penurunan nyata terjadi pada penambahan bahan organik sebesar 80 gram/pot.

Bila dibandingkan dengan tanpa pemberian bahan organik, maka pemberian bahan organik kotoran ayam mampu menurunkan Pb dalam tanah berkisar antara 33,88 sampai dengan 67,66 %, Cd sebesar 1,57 sampai dengan 37,30 % dan Cr sebesar 0,27 sampai dengan 17,23 % dengan variasi dosis bahan organik yang diberikan sebesar 20 sampai dengan 80 gram per pot. Penurunan Pb, Cd dan Cr tertinggi ada pada penggunaan dosis 80 gram/pot. Semakin banyak bahan organik yang diberikan menunjukkan adanya kecenderungan menurun terhadap logam berat tersedia bagi tanaman

Penelitian sejalan dilakukan oleh Widyastuti *et al.*, (2003), yang menjelaskan bahwa penambahan bahan organik dapat menurunkan kadar Cr pada tanah yang tercemar limbah industri tekstil. Selanjutnya diterangkan bahwa adanya penambahan pupuk kandang sebesar 10 ton/ha, mampu menurunkan Cr dari 0,870 ppm (tanpa bahan organik) menjadi 0,7150 ppm (setelah ditambahkan bahan organik). Sementara pada penggunaan kompos sebanyak 10 ton/ha, terjadi penurunan Cr dari konsentrasi 0,870 ppm menjadi 0,5087 ppm.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pemberian bahan organik mampu mereduksi/menurunkan logam berat dalam tanah. Penurunan kadar logam

berat tersedia dalam tanah diduga karena logam berat tersebut terikat kuat pada koloid organik atau membentuk kompleks yang sukar larut. Hal ini sejalan dengan pendapat Tan (1991) yang menerangkan bahwa adanya bahan organik menyebabkan logam sulit terekstrak karena logam berat terikat kuat atau terkelat dan tersimpan sebagai sentral dari struktur molekul.

Keberadaan logam berat dalam tanah berimplikasi terhadap kadar logam tersebut pada jaringan tanaman karena logam berat yang ada di tanaman di antaranya berasal dari tanah tempat tanaman tersebut tumbuh. Hasil analisis kadar Pb, Cd dan Cr pada jaringan tanaman yang terekstrak oleh pelarut $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$ tertera pada Tabel 11.

Tabel 11. Logam berat dalam akar, daun dan beras ekstrak $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$ (Percobaan penggunaan bahan organik di rumah kaca).

Jenis logam	Dosis bahan organik (g/pot)	Kadar logam berat dalam bagian tanaman (ppm)					
		Air Irigasi Saring			Air Sumur Dalam		
		Akar	Daun	Beras	Akar	Daun	Beras
Pb	0	18,43	13,20	6,82	19,84	9,23	7,05
	20	17,42	9,37	5,89	17,21	7,48	6,82
	40	17,21	9,37	4,85	13,33	6,24	4,85
	60	15,51	9,10	4,85	13,12	4,85	4,85
	80	15,36	7,48	3,47	12,51	6,20	3,47
Cd	0	1,41	0,85	0,33	1,43	0,76	0,30
	20	1,21	0,81	0,30	1,21	0,75	0,20
	40	1,21	0,80	0,30	1,12	0,75	0,15
	60	0,96	0,75	0,25	1,08	0,70	0,10
	80	1,04	0,77	0,20	0,96	0,55	0,12
Cr	0	21,76	5,46	4,23	21,76	5,46	4,23
	20	21,76	4,23	2,40	16,23	4,23	2,21
	40	12,68	4,23	2,30	16,91	4,23	2,21
	60	16,69	2,44	1,41	10,45	2,40	1,41
	80	12,68	2,44	0,00	10,45	1,48	2,12

Adanya penambahan bahan organik cenderung menurunkan kadar Pb, Cd dan Cr pada jaringan tanaman. Kadar Pb, Cd dan Cr dalam akar, lebih tinggi dibandingkan dengan kadar dalam daun dan beras. Penelitian yang hampir sama dilakukan oleh Rustiawan (1994) dengan menggunakan tanaman sayuran, yang

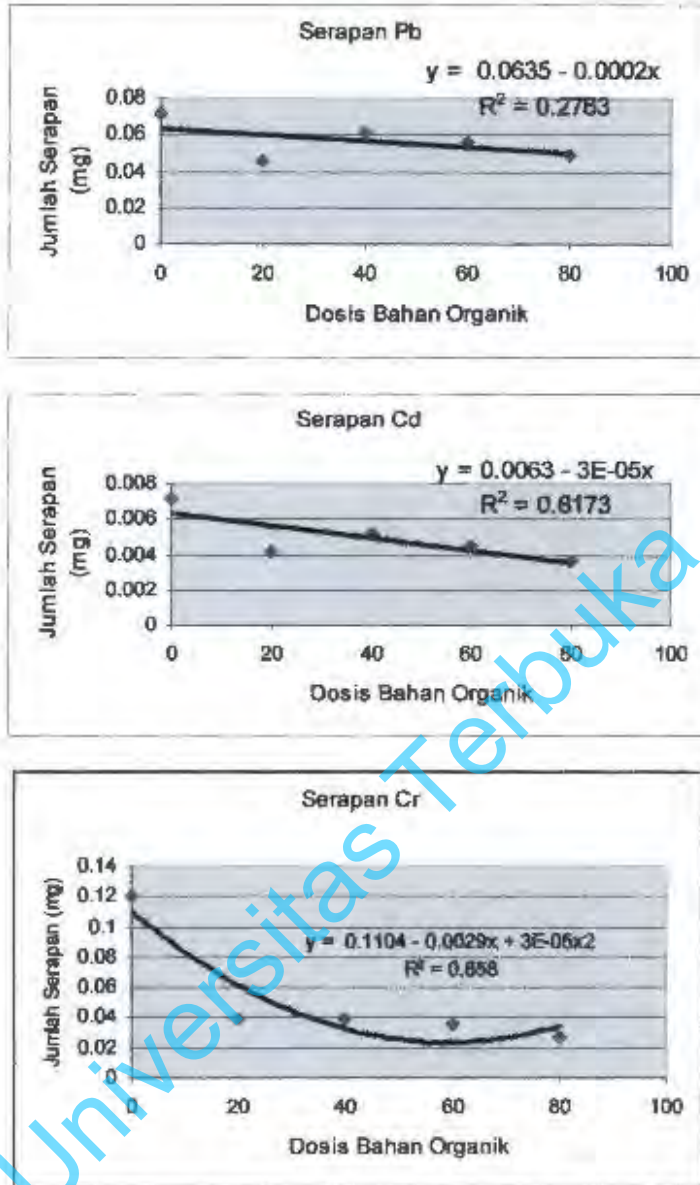
menerangkan bahwa akumulasi timbal dalam sayuran terbesar ada pada bagian akar, kemudian bagian daun dan disusul bagian batang. Tingginya kadar logam berat dalam akar diduga karena sifat logam itu sendiri yang mempunyai massa yang besar sehingga sulit untuk ditranslokasikan ke jaringan tanaman bagian atas kecuali bila ada energi yang tersedia untuk memindahkan logam dari akar ke daun.

Walaupun kadar Pb, Cd dan Cr dalam jaringan tanaman turun dengan adanya pemberian bahan organik, namun angka untuk Pb yang diperoleh masih tergolong tinggi karena melebihi batas yang diperkenankan oleh WHO untuk tanaman pangan yaitu sebesar 2,0 ppm Pb, serta SK Ditjen POM No 03725/B/SK/VII/89 sebesar 1,0 ppm Pb dalam tepung. Sedangkan kadar Cd dalam beras yang dihasilkan telah memenuhi batas yang diperkenankan oleh WHO untuk tanaman pangan sebesar 0,2 ppm Cd walaupun menurut SK Ditjen POM No 03725/B/SK/VII/89 belum layak, karena batas Cd dalam tepung yang diperkenankan sebesar 0,005 ppm. Sementara batas yang diperkenankan oleh WHO dan SK Ditjen POM untuk Cr belum tertera secara jelas. Namun toleransi krom dalam tanaman umumnya berkisar antara 5 – 10 ppm (Mengel dan Kirby, 1987).

4.4.1.2. Serapan Logam Berat dalam Akar dan Jerami

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa pemberian bahan organik nyata menurunkan serapan Pb, Cd dan Cr di akar tanaman padi tertera pada Lampiran 10. Hasil uji nilai tengah berpasangan untuk Cd dan Cr menunjukkan tidak ada perbedaan nyata di antara berbagai dosis yang diberikan, namun ada kecenderungan serapan logam berat menurun dengan semakin banyaknya dosis bahan organik yang diberikan seperti tertera pada Gambar 14.

Bila dibandingkan dengan tanpa pemberian bahan organik (kontrol), penggunaan bahan organik mampu menurunkan serapan Pb sebesar 43,43 % sampai dengan 56,22 % dengan variasi dosis sebesar 20, 40, 60 dan 80 gram per pot. Selain Pb, penggunaan variasi bahan organik ini juga mampu menurunkan kadar Cd sebesar 28,27 % sampai dengan 49,88 % dan Cr sebesar 66,73 % sampai dengan 77,26 %.

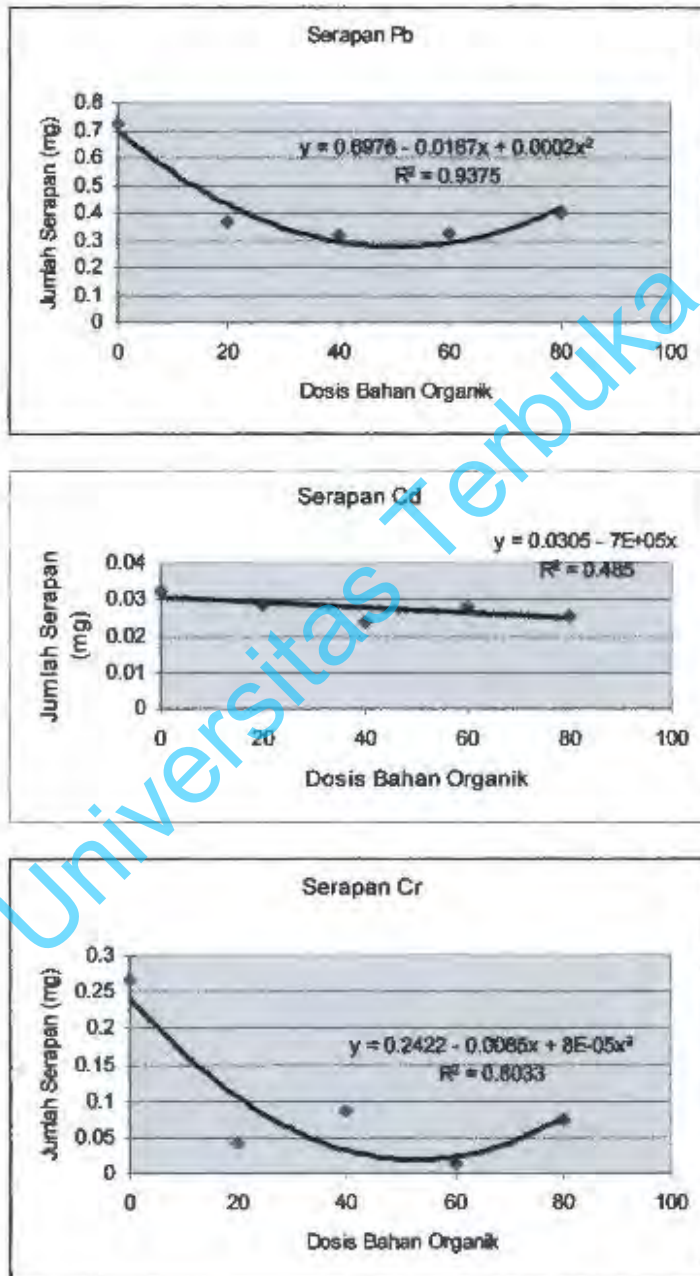


Gambar 14. Serapan logam berat dalam akar tanaman padi pada tanah sawah yang diberi bahan organik

Analisis regresi hubungan antara dosis bahan organik yang diberikan dengan jumlah serapan Pb dalam akar mengikuti persamaan $Y = 0,0635 - 0,0002X$, ($R^2 = 0,2763$), untuk Cd mengikuti persamaan $Y = 0,0063 - 3E-05X$, ($R^2 = 0,6173$), dan untuk Cr mengikuti persamaan $Y = 0,1104 - 0,0029X + 3E-05X^2$, ($R^2 = 0,858$). Melalui persamaan-persamaan tersebut dapat diterangkan bahwa dengan semakin banyak bahan organik yang

diberikan akan semakin menurunkan serapan logam berat dalam bagian akar meskipun penurunannya sangat kecil.

Selain dalam akar, logam berat juga terakumulasi dalam jerami/daun (Gambar 15). Hasil analisis sidik ragam tertera pada Lampiran 11 menunjukkan bahwa penambahan bahan organik berpengaruh nyata terhadap penurunan serapan



Gambar 15. Serapan logam berat di jerami tanaman padi pada tanah sawah yang diberi bahan organik

Pb dan Cr di jerami akan tetapi tidak demikian untuk Cd. Hasil uji nilai tengah berpasangan menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nyata di antara berbagai dosis yang diberikan, akan tetapi ada kecenderungan menurun dengan semakin banyaknya dosis bahan organik yang diberikan.

Bila dibandingkan dengan tanpa pemberian bahan organik (kontrol), penggunaan bahan organik sebesar 20, 40, 60, dan 80 gram/pot memberi penurunan logam Pb sebesar 46,54 % sampai dengan 54,50 %. Selain Pb, penggunaan variasi bahan organik ini juga mampu menurunkan kadar Cd sebesar 7,06 % sampai dengan 16,30 % dan Cr sebesar 57,22 % sampai dengan 91,84 %

Analisis regresi hubungan antara dosis bahan organik yang diberikan dengan jumlah serapan Pb dalam daun/jerami mengikuti persamaan $Y = 0,6976 - 0,0167X + 0,0002X^2$ ($R^2 = 0,9375$), untuk Cd mengikuti persamaan $Y = 0,0305 - 7E+05x$ ($R^2 = 0,4850$), dan untuk Cr mengikuti persamaan $Y = 0,2422 - 0,0085X + 8E-05X^2$ ($R^2 = 0,8033$). Melalui persamaan-persamaan tersebut dapat diterangkan bahwa dengan semakin banyak bahan organik yang diberikan akan semakin menurunkan serapan logam berat pada bagian daun meskipun penurunannya sangat kecil.

Berdasarkan uraian di atas tampak bahwa penambahan bahan organik mampu mengurangi kadar logam berat pada jaringan tanaman khususnya jaringan tanaman bagian atas. Penurunan kadar logam berat dalam tanah diduga karena logam berat diikat oleh kompleks organik dan bersifat tidak larut sehingga tidak tersedia bagi tanaman.

4.4.2. Percobaan di Lapang

4.4.2.1. Kadar Logam Berat dalam Tanah, Akar, Daun dan Beras

Percobaan di lapang menggunakan empat jenis bahan organik yaitu kotoran ayam, kotoran sapi, kotoran kambing dan kompos tanaman dengan dosis yang sama yaitu 5 ton/ha. Hasil analisis sidik ragam percobaan penggunaan bahan organik di lapang menunjukkan pemberian berbagai jenis bahan organik tidak berpengaruh nyata terhadap penurunan kadar Pb, Cd dan Cr tersedia dalam tanah seperti tertera pada Lampiran 12. Meskipun tidak memberi pengaruh nyata namun adanya penambahan bahan organik cenderung menurunkan kadar Pb, Cd dan Cr tersedia dalam tanah, seperti tertera pada Tabel 12.

Tabel 12. Kadar logam berat tersedia dalam tanah ekstrak NH_4COOH (Percobaan penggunaan bahan organik di rumah kaca)

Jenis bahan organik	Nilai rata-rata logam tersedia dalam tanah (ppm)		
	Pb	Cd	Cr
Tanpa bahan organik	0,5122	0,3083	0,1500
Kotoran sapi	0,3310	0,3515	0,1500
Kotoran kambing	0,4390	0,3082	0,1500
Kotoran ayam	0,3307	0,2657	0,0000
Kompos tanaman	0,4038	0,2232	0,0000

Berdasarkan Tabel 12 dapat dijelaskan bahwa penambahan kotoran ayam mampu menurunkan Pb tersedia dalam tanah sebesar 35,43 %, kompos tanaman sebesar 21,16 %, kotoran kambing sebesar 14,29 % dan kotoran sapi sebesar 35,37 % dari kadar Pb tanpa pemberian bahan organik.

Demikian pula dengan kadar Cd tersedia dalam tanah, pemberian bahan organik kotoran ayam mampu menurunkan kadar Cd sebesar 13,82 % dan kompos tanaman sebesar 27,60 % dari kadar Cd tanpa pemberian bahan organik. Sedangkan untuk kadar Cr tersedia dalam tanah, pemberian bahan organik kotoran ayam dan kompos tanaman mampu menurunkan seluruh Cr tersedia dalam tanah.

Hasil penelitian ini tidak jauh berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Tala'ohu *et al.*, (2000). Dalam hasil penelitiannya diterangkan bahwa pemberian pupuk kandang berupa kotoran sapi sebesar 5 g/kg tanah dapat mengikat ion Pb dari 117,0 ppm menjadi 109,8 ppm, sedang untuk Cd dari 5,9 menjadi 5,7 ppm.

Selain dalam tanah logam berat juga terdapat dalam jaringan tanaman. Hasil analisis kadar Pb, Cd dan Cr pada bagian tanaman yang terekstrak oleh pelarut $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$ tertera pada Tabel 13.

Data pada tabel 13, menunjukkan bahwa kadar logam berat pada tanaman bagian atas cenderung lebih rendah dibandingkan dengan kadar logam berat tersebut dalam tanaman bagian bawah. Kadar Pb, Cd dan Cr pada daun/jerami dan beras lebih rendah dibandingkan kadar dalam akar. Kadar Pb dalam beras umumnya berada di bawah 2,00 ppm. Angka ini memenuhi batas tanaman pangan yang diperkenankan oleh WHO yaitu sebesar 2,0 ppm Pb akan tetapi hanya sebagian yang memenuhi SK Ditjen POM No 03725/B/SK/VII/89 sebesar

1,0 ppm Pb, yaitu pada penambahan bahan organik kotoran ayam dan kompos tanaman pada tanah sawah yang diairi air sumur dalam.

Tabel 13. Logam berat dalam akar, daun dan beras ekstrak $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$.
(Percobaan penggunaan bahan organik di lapang)

Jenis Logam berat	Macam Perlakuan	Kadar logam berat dalam bagian tanaman (ppm)					
		Air Irigasi Saring			Air Sumur Dalam		
		Akar	Daun	Beras	Akar	Daun	Beras
Pb	Tanpa bahan org	7,55	3,80	2,38	8,85	3,74	1,88
	Kotoran sapi	7,55	3,62	2,45	6,91	2,88	1,88
	Kotoran kambing	7,74	3,58	1,79	8,81	3,84	1,13
	Kotoran ayam	4,97	2,28	1,41	7,95	1,72	0,57
	Kompos tanaman	5,83	2,86	1,98	8,43	1,92	0,94
Cd	Tanpa bahan org	0,40	0,30	0,30	0,48	0,20	0,20
	Kotoran sapi	0,40	0,25	0,20	0,48	0,16	0,20
	Kotoran kambing	0,48	0,20	0,20	0,40	0,20	0,08
	Kotoran ayam	0,40	0,20	0,15	0,40	0,16	0,08
	Kompos tanaman	0,44	0,20	0,20	0,40	0,15	0,12
Cr	Tanpa bahan org	26,37	9,10	4,87	18,62	5,70	2,23
	Kotoran sapi	16,24	5,92	5,31	14,98	6,02	2,57
	Kotoran kambing	21,03	5,07	3,07	16,75	4,61	2,05
	Kotoran ayam	16,24	5,26	2,99	13,77	3,84	1,56
	Kompos tanaman	18,25	8,12	3,32	16,09	4,06	1,34

Selain Pb, daun/jerami dan beras yang dihasilkan juga mengandung Cd. Kadar Cd dalam beras yang diberi kotoran ayam dan kompos tanaman menunjukkan angka kurang dari 0,20 ppm Cd. Sementara batas yang diperkenankan oleh WHO untuk tanaman pangan sebesar 0,2 ppm Cd, dan batas yang diperkenankan untuk tepung sesuai SK Ditjen POM No 03725/B/SK/VII/89 sebesar 0,005 ppm Cd. Selanjutnya untuk Cr menunjukkan bahwa kadar Cr dalam jerami lebih dari 2,99 ppm Cr dan dalam beras lebih dari 1,34 ppm Cr. Angka pada jerami maupun beras walaupun tidak tercantum dalam PP RI / SK Ditjen POM namun angka tersebut diduga tergolong tinggi. Pendias dan Pendias (2000) menerangkan bahwa pada umumnya tanaman mengandung Cr dalam konsentrasi yang kecil yaitu berkisar antara 0,02 sampai dengan 0,2 ppm Cr karena umumnya logam ini sangat kuat terikat dalam tanah.

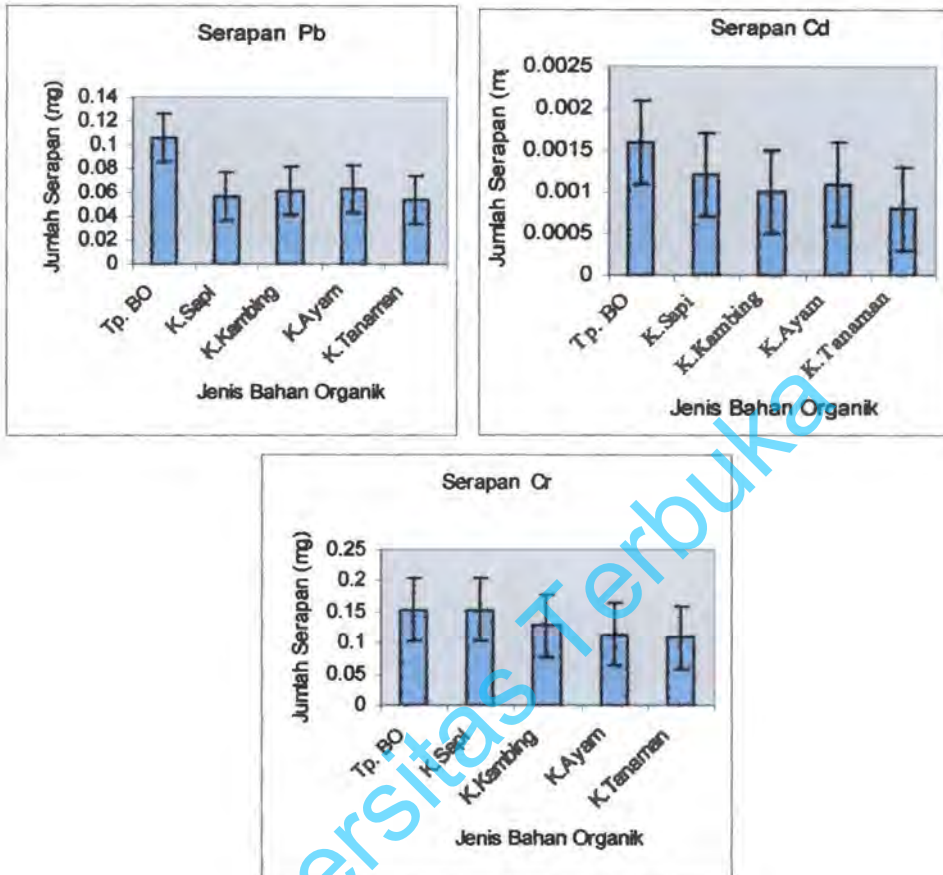
Adanya kadar logam berat dalam tanah sawah dan jaringan tanaman menunjukkan bahwa tanah sawah tersebut telah tercemar, sebab beras yang dihasilkanpun mengandung logam berat khususnya logam berat berbahaya. Beras yang mengandung logam berat bila terus menerus dikonsumsi oleh masyarakat lambat laun mengakibatkan terakumulasinya logam berat tersebut dalam tubuh si pemakan. Hal ini sejalan dengan Darmono (1995) yang mengatakan bahwa makanan merupakan sumber utama masuknya logam berat ke dalam tubuh manusia. Sementara logam berat khususnya Pb dan Cd tidak dibutuhkan oleh tubuh dan bersifat akumulatif pada tubuh si pemakan. Akumulasi logam berat yang berlarut-larut dapat mengakibatkan gagal ginjal, kehilangan sel-sel darah merah, kerapuhan tulang dan tekanan darah tinggi.

Rusaknya fungsi ginjal diduga karena logam berat akan berikatan dengan protein metalothionien yang mengandung unsur sistein dimana logam berat terikat pada gugus sulfhidril. Di dalam ginjal ikatan ini mengakibatkan kerusakan celah membran glomerulus yang berfungsi sebagai penyaring, sehingga protein yang seharusnya kembali masuk kedalam aliran darah menjadi masuk ke dalam urin. Akibatnya protein dalam urin semakin tinggi (Ratnaningsih, 2001). Pada orang dewasa penyerapan Pb dapat mencapai 10 sampai dengan 15 % sedangkan pada anak-anak dapat mencapai 50 %. *World Health Organization* (WHO, 1996) menetapkan nilai ambang batas Pb yang masih diperkenankan dikonsumsi sebesar 420 µg/hari dan Cd sebesar 70 µg/hari untuk berat badan sekitar 60 kg. Sementara krom sebesar 2,4 mg per kilogram berat badan. Bila beras di Rancaekek dikonsumsi orang sebesar 200 gram per hari maka asupan Pb yang masuk ke dalam tubuh dapat mencapai kisaran 272 µg/hari dan Cd sebesar 40 µg/hari dan krom sebesar 1800 µg/hari. Walaupun nilai ini masih berada dibawah ambang batas namun karena sifatnya yang akumulatif maka adanya logam berat dalam tubuh dapat menyebabkan keracunan. Gejala awal keracunan Pb berupa rasa sakit di sekitar perut, gangguan syaraf dan intelegensia pada anak-anak, sedangkan gejala keracunan Cd antara lain berupa gangguan penciuman, dan emfisema.

4.4.2.2. Serapan Logam Berat dalam Akar dan Jerami

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa pemberian empat jenis bahan organik tidak berpengaruh nyata terhadap penurunan serapan Pb, Cd dan Cr

dalam akar (Lampiran 13). Meskipun tidak memberi pengaruh nyata namun penambahan bahan organik menunjukkan kecenderungan menurun seperti tertera pada Gambar 16.

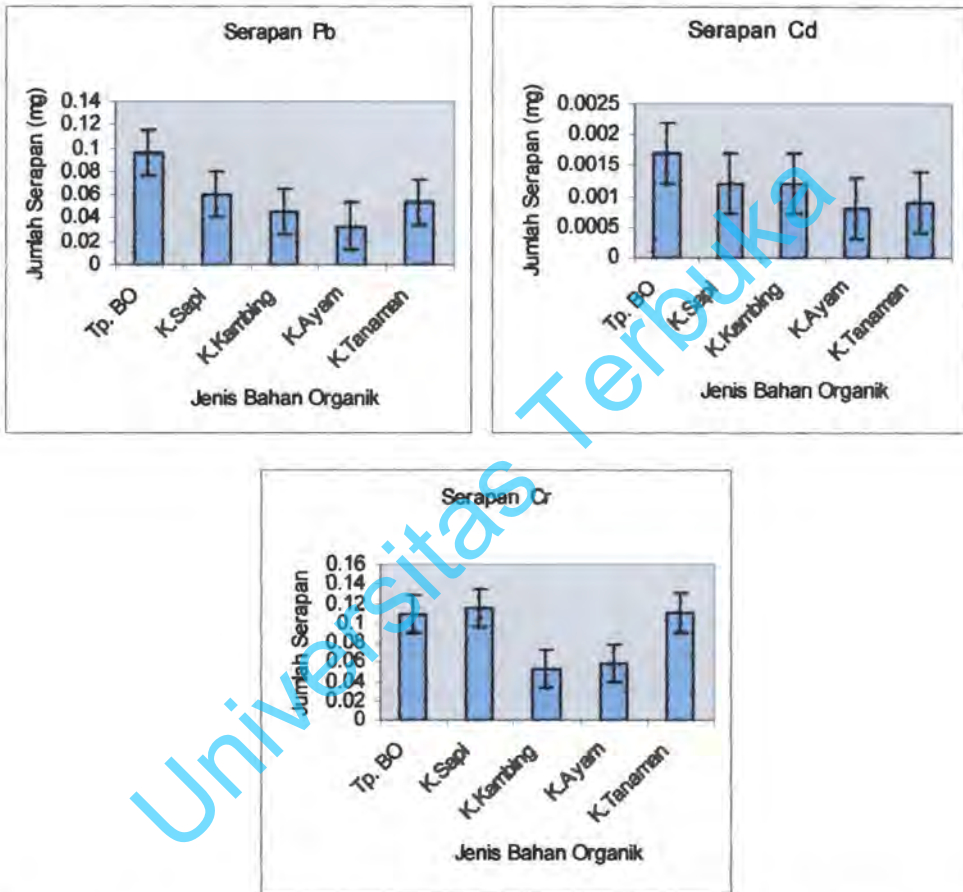


Gambar 16. Serapan logam berat dalam akar tanaman padi pada tanah sawah yang diberi bahan organik

Serapan Pb, Cd dan Cr dalam akar tanaman padi menunjukkan angka yang beragam pada beberapa macam bahan organik yang diberikan. Kompos tanaman, tertinggi dalam menurunkan serapan Pb, Cd dan Cr dibandingkan dengan kotoran sapi, kambing dan kotoran ayam. Bila dibandingkan dengan tanpa tanaman, kotoran ayam mampu menurunkan serapan Pb sebesar 10,55 %, kotoran sapi sebesar 19,25 % dan kotoran kambing sebesar 11,69 % dan kompos tanaman sebesar 23,54 %. Sementara untuk Cd, bila dibandingkan dengan tanpa bahan organik maka pemberian kompos tanaman mampu menurunkan serapan sebesar 33,07 %, kotoran ayam sebesar 11,81 %, kotoran sapi sebesar 5,51 % dan kotoran

kambing sebesar 19,68 %. Selain Pb dan Cd keempat bahan organik ini juga mampu menurunkan serapan Cr di akar. Bila dibandingkan dengan tanpa pemberian bahan organik maka pemberian kotoran ayam mampu menurunkan serapan Cr sebesar 16,72 %, kotoran kambing sebesar 25,93 % dan kompos tanaman sebesar 28,65 %.

Selain dalam akar, pemberian bahan organik mampu mengurangi terserapnya logam berat dalam jerami seperti tertera pada Gambar 17.



Gambar 17. Serapan logam dalam jerami tanaman padi pada tanah sawah yang diberi bahan organik

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa pemberian berbagai jenis bahan organik tidak berpengaruh nyata terhadap penurunan serapan Pb, Cd dan Cr dalam daun / jerami (Lampiran 14). Pada Gambar 17 tampak bahwa dengan penggunaan bahan organik, logam berat cenderung terikat dalam tanah dan hanya sebagian yang terserap/ditranslokasikan dalam tanaman. Logam berat yang terserap dalam tanaman yang diberi bahan organik lebih rendah dibandingkan

dengan tanaman yang tidak diberi bahan organik. Kotoran ayam menurunkan serapan Pb di jerami hingga 65,24%, kotoran kambing sebesar 52,40 %, kotoran sapi sebesar 36,95 % dan kompos tanaman sebesar 44,05 %. Selain Pb, penggunaan kotoran ayam mampu menurunkan serapan Cd di jerami sebesar 53,93 %, kompos tanaman sebesar 45,50 %, kotoran kambing sebesar 31,46 % dan kotoran sapi sebesar 32,58 %. Selanjutnya untuk krom, bila dibandingkan dengan tanpa bahan organik, penggunaan kotoran ayam mampu menurunkan serapan Cr di jerami sebesar 43,81 % dan kotoran kambing sebesar 49,95 %.

Berdasarkan data tersebut dapat diterangkan bahwa kemampuan penurunan serapan logam berat berbeda pada tiap jenis bahan organik. Kotoran ayam mengikat Pb di tanah lebih tinggi dibandingkan dengan kotoran sapi, kotoran kambing maupun kompos tanaman sehingga serapannya dalam tanaman lebih kecil. Selain Pb, kotoran ayam juga tertinggi dalam menurunkan serapan Cd di jerami dibandingkan dengan tiga bahan organik lainnya.

Berdasarkan hasil percobaan di rumah kaca maupun di lapang dapat dijelaskan bahwa adanya bahan organik mampu menurunkan kadar logam berat tersedia dalam tanah dan dalam jaringan tanaman. Walaupun mampu menurunkan kadar logam berat namun pengaruh nyata penggunaan bahan organik dalam tanah terjadi pada percobaan di rumah kaca sedang pada percobaan di lapang tidak demikian. Percobaan di lapang menunjukkan adanya penambahan bahan organik belum memberi pengaruh nyata. Hal ini diduga pada penambahan bahan organik sebanyak 5 ton/ha belum cukup untuk mengkelat logam berat namun apabila dosis yang diberikan lebih banyak diduga akan memberikan hasil yang berbeda. Penelitian senada dilakukan oleh Widyastuti *et al.*, (2003) yang menjelaskan bahwa penambahan bahan organik sebesar 10 ton/ha mampu menurunkan kadar Cr tersedia dalam tanah.

Dengan demikian penggunaan bahan organik dapat mengkelat logam berat dalam tanah dan besarnya bahan organik yang dibutuhkan berbeda pada setiap lahan. Pada percobaan di rumah kaca kadar logam berat yang terekstrak cenderung lebih besar dibandingkan dengan di lapang. Lebih banyaknya logam berat yang dapat terjerap diduga karena dalam percobaan di rumah kaca bidang gerak logam berat terbatas seluas pot, sementara di lapang pergerakan logam

berat lebih besar, bahkan kemungkinan logam berat masuk ke dalam lapisan tanah yang lebih dalam. Sutono *et al.*, (2000) menerangkan bahwa logam berat pada tanah sawah di Rancaekek tidak hanya berada pada lapisan bidang olah yaitu 0 sampai dengan 20 cm akan tetapi terdapat pula pada lapisan tanah di bawahnya, namun semakin ke bawah kadarnya semakin berkurang. Selain itu penelitian di lapang banyak dipengaruhi oleh faktor dari luar yang kadangkala tidak terduga sebelumnya sehingga memberi hasil yang agak berbeda dengan di rumah kaca.

Menurut Notohadiprawiro (1999), hasil dekomposisi bahan organik yang mengandung gugus asam amino dan karboksilat mampu mengikat logam berat. Penggunaan bahan organik dengan dosis sebesar 20 gram/pot nyata menurunkan kadar Pb tersedia dalam tanah, sedang Cd dan Cr perbedaan nyata terlihat pada pemberian bahan organik sebanyak 80 gram/pot. Hal ini diduga afinitas Pb terhadap bahan organik lebih tinggi dibandingkan dengan Cd dalam tanah. Dugaan ini sejalan dengan pendapat Rachim (1995) yang menerangkan bahwa afinitas organik terhadap Pb lebih tinggi dibandingkan dengan Cd. Kompleks logam dengan senyawa organik yang mempunyai afinitas tinggi menyebabkan logam menjadi stabil dan tidak tersedia bagi tanaman. Sementara Cr merupakan senyawa polivalen dan diduga memerlukan banyak ligan untuk mengikat logam. Pendias dan Pendias (2000) menerangkan bahwa adanya penambahan bahan organik di dalam tanah menyebabkan afinitas organik tinggi sehingga membentuk ikatan yang lebih stabil di dalam tanah, karena pada umumnya kelarutan logam berat rendah jika terakumulasi pada lapisan tanah yang kaya akan bahan organik.

Selanjutnya bahan organik berupa kotoran ayam memberi hasil lebih tinggi dibandingkan dengan kotoran sapi, kotoran kambing maupun kompos tanaman dalam mereduksi logam berat, baik dalam tanah maupun dalam jaringan tanaman khususnya jaringan tanaman bagian atas. Tingginya kemampuan kotoran ayam dalam mereduksi logam berat diduga karena kotoran ayam mempunyai nilai ratio C/N lebih rendah dibandingkan dengan ketiga bahan organik lainnya. Berdasarkan hasil analisis bahan organik yang digunakan dalam penelitian didapat nilai ratio C/N kotoran ayam sebesar 22,31 sedang kotoran sapi sebesar 62,62 kotoran kambing sebesar 49,47 dan kompos tanaman sebesar 24,07. Hal ini menandakan bahwa kotoran ayam lebih matang dibandingkan dengan ketiga

bahan organik lainnya sehingga kotoran ayam lebih mudah terdekomposisi dalam tanah. Berdasarkan data tersebut maka kotoran kambing dan kotoran sapi belum terdekomposisi dengan baik karena mengandung nilai ratio C/N yang tinggi. Bahan organik yang telah terdekomposisi dengan baik diduga akan menghasilkan fraksi humat yang tinggi (Tan, 1991). Tingginya fraksi humat menunjukkan kemungkinan terjadinya kelat yang tinggi sehingga senyawa-senyawa humat yang terkandung di dalamnya mampu mengikat logam berat dengan baik. Penelitian yang dilakukan oleh Arsiati (2002) menunjukkan bahwa kotoran ayam mempunyai fraksi humat lebih tinggi dibandingkan dengan kotoran sapi. Selanjutnya walaupun bahan organik kotoran sapi, kotoran kambing dan kompos tanaman lebih rendah dalam mereduksi logam berat, namun adanya bahan organik ini terbukti mampu menurunkan kadar logam berat baik dalam tanah maupun dalam jaringan tanaman, dan hal ini menggambarkan bahwa ion Pb, Cd dan Cr tersedia mampu berikatan dengan ligan organik dan membentuk kelat.

4.5. Penggunaan Bakteri untuk Mereduksi Pb, Cd dan Cr

Bakteri merupakan salah satu jenis mikroba yang dapat digunakan untuk mereduksi logam berat dan salah satu jenis bakteri yang dapat digunakan untuk mengakumulasi logam berat adalah *Desulfotomaculum orientis* isolat ICBB 1204 dan ICBB 1220 (Suyasa, 2002; Kurniawan, 2004). Rehabilitasi tanah sawah dengan menggunakan *Desulfotomaculum orientis* isolat ICBB 1204 dan ICBB 1220 diduga mampu menurunkan kadar logam berat tersedia dalam tanah. Percobaan rehabilitasi tanah sawah dengan menggunakan bakteri ini dilakukan di rumah kaca dan di lapang.

4.5.1. Percobaan di Rumah Kaca

4.5.1.1. Kadar Logam Berat dalam Tanah, Akar, Daun dan Beras.

Hasil analisis sidik ragam seperti tertera pada Lampiran 15 menunjukkan bahwa inokulasi isolat ICBB 1204 dan ICBB 1220 berpengaruh nyata terhadap penurunan kadar Pb, Cd dan Cr tersedia dalam tanah. Selanjutnya hasil uji nilai tengah berpasangan menunjukkan bahwa inokulasi isolat ICBB 1204 tidak berbeda nyata dengan ICBB 1220. Hal ini menunjukkan bahwa kedua isolat

bakteri tersebut mampu mereduksi logam berat namun kekuatannya dalam mereduksi logam tidak berbeda nyata. Nilai tengah kadar Pb, Cd dan Cr dalam tanah yang dapat terekstrak melalui pelarut NH_4COOH tertera pada Tabel 14.

Tabel 14. Nilai tengah berpasangan kadar logam berat dalam tanah ekstrak NH_4COOH (Percobaan inokulasi bakteri di rumah kaca)

Logam berat	Nilai tengah kadar logam di tanah (ppm)		
	Tanpa Inokulasi	ICBB 1204	ICBB 1220
Pb	1,7317 a	1,2150 b	1,2083 b
Cd	0,3217 a	0,1666 b	0,1650 b
Cr	1,2183 a	0,7183 b	0,6183 b

Keterangan:

Huruf kecil(a,b,c) yang berbeda pada jalur sama menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$) kadar logam antar jenis isolat bakteri

Berdasarkan data pada Tabel 14 dapat diterangkan bahwa bila dibandingkan dengan tanpa inokulasi bakteri, maka inokulasi isolat ICBB 1204 mampu menurunkan kadar Pb sebesar 29,83 %, Cd sebesar 48,21 % dan Cr sebesar 41,04 %. Demikian pula dengan isolat ICBB 1220, inokulasi bakteri ini mampu menurunkan kadar Pb di tanah sebesar 30,22 %, Cd sebesar 48,71 % dan Cr sebesar 49,24 %. Berdasarkan angka-angka tersebut dapat diterangkan bahwa kemampuan kedua isolat tersebut hampir sama dalam menurunkan kadar logam berat dalam tanah.

Penurunan kadar logam berat tidak hanya terjadi dalam tanah namun adanya inokulasi bakteri ini juga mampu menurunkan kadar logam berat dalam jaringan tanaman seperti tertera pada Tabel 15.

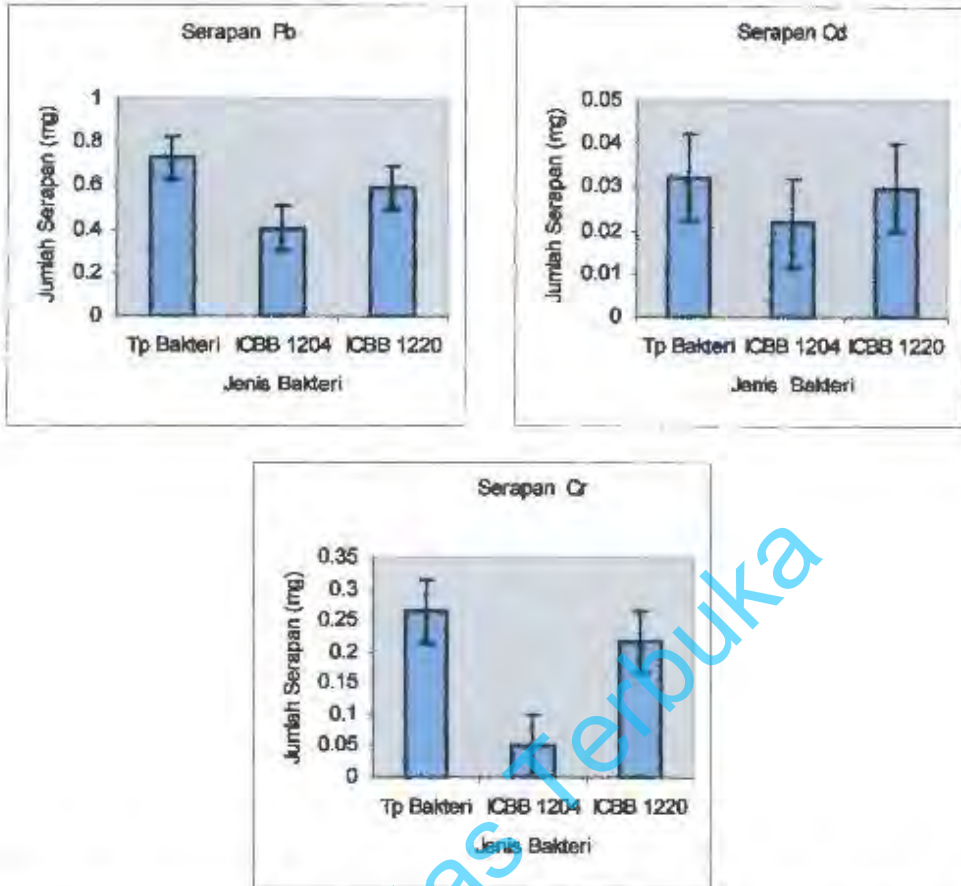
Tabel 15. Logam berat dalam akar, daun dan beras ekstrak $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$ (Percobaan inokulasi bakteri di rumah kaca)

Jenis logam berat	Jaringan tanaman	Kadar logam berat dalam bagian tanaman (ppm)					
		Air Irigasi Saring			Air Sumur Dalam		
		Tp. Bakteri	ICBB 1204	ICBB 1220	Tp. Bakteri	ICBB 1204	ICBB 1220
Pb	Akar	18,43	13,87	15,65	19,18	15,65	17,34
	Jerami	14,99	9,37	6,24	12,92	6,24	7,65
	Beras	6,82	2,48	2,48	7,05	2,28	0,00
Cd	Akar	1,14	0,90	1,12	1,43	1,15	1,21
	Jerami	0,86	0,75	0,70	0,76	0,37	0,55
	Beras	0,20	0,10	0,00	0,20	0,00	0,00
Cr	Akar	21,76	16,01	10,45	18,14	15,67	17,34
	Jerami	5,46	4,23	3,15	5,46	4,23	4,23
	Beras	4,23	2,40	2,40	4,23	2,40	0,00

Walaupun inokulasi bakteri mampu menurunkan kadar Pb pada daun/jerami namun kadar Pb yang ada masih melebihi batas tanaman pangan yang diperkenankan oleh WHO yaitu sebesar 2,0 ppm Pb. Hal yang tidak jauh berbeda juga ditunjukkan dari beras yang dihasilkan. Inokulasi bakteri mampu menurunkan kadar Pb di beras akan tetapi kadarnya masih melebihi 1,0 ppm Pb yaitu angka yang diperkenankan untuk tepung sesuai SK Ditjen POM No 03725/B/Sk/VII/89. Selain Pb, beras yang dihasilkan juga mengandung Cd yang telah memenuhi batas yang diperkenankan oleh WHO sebesar 0,2 ppm, namun pada sebagian beras yang dihasilkan pada percobaan di rumah kaca masih menunjukkan angka yang belum memenuhi batas kriteria kadar Cd sesuai SK Ditjen POM No 03725/B/SK/VII/89 sebesar 0,005 ppm Cd. Selanjutnya untuk Cr pada daun/jerami sebesar 1,41 ppm Cr dan pada beras tidak terdeteksi adanya Cr. Angka Cr pada jerami walaupun tidak tercantum dalam SK Ditjen POM namun angka tersebut diduga tergolong tinggi.

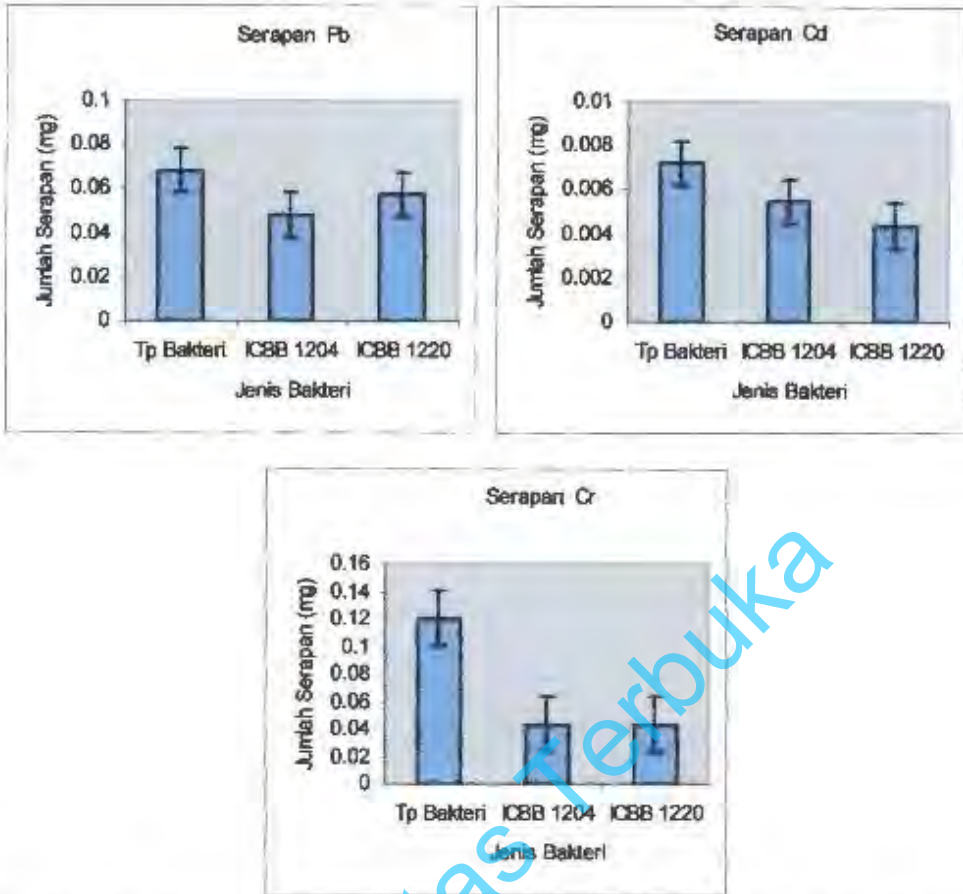
4.5.1.2. Serapan Logam Berat dalam Akar dan Jerami

Serapan logam berat dalam akar dan tertera pada Gambar 18. Penurunan kadar logam berat tersedia dalam tanah mengurangi translokasi logam berat pada jaringan tanaman. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa ada pengaruh nyata pemberian inokulasi bakteri terhadap serapan Pb, Cd, dan Cr dalam akar (Lampiran 16). Serapan logam berat di akar pada tanah dengan inokulasi bakteri lebih rendah dibandingkan dengan tanah tanpa inokulasi bakteri. Bila dibandingkan dengan tanpa inokulasi bakteri maka inokulasi isolat ICBB 1204 mampu menurunkan serapan Pb dalam akar hingga mencapai 44,19 %, Cd sebesar 65,75 % dan Cr sebesar 74,34 %. Demikian pula dengan inokulasi isolat ICBB 1220, bila dibandingkan dengan tanpa inokulasi bakteri maka isolat ICBB 1220 mampu menurunkan serapan Pb sebesar 42,74 %, Cd sebesar 38,35 % dan Cr sebesar 64,19 %. Walaupun kedua isolat tersebut mampu menurunkan serapan logam berat dalam akar, namun berdasarkan uji nilai tengah berpasangan menunjukkan bahwa kemampuan serapan kedua isolat tersebut tidak berbeda nyata.



Gambar 18. Serapan logam berat dalam akar tanaman padi pada tanah sawah dengan inoculasi bakteri

Hal yang agak berbeda ditunjukkan pada serapan dalam jerami seperti tertera pada Gambar 19. Inokulasi ICBB 1204 maupun ICBB 1220 tidak berpengaruh nyata terhadap serapan Pb dan Cd dalam jerami, tetapi berpengaruh nyata terhadap serapan Cr (Lampiran 17). Bila dibandingkan dengan tanpa inoculasi bakteri maka inoculasi isolat ICBB 1204 mampu menurunkan serapan Pb sebesar 42,46 %, Cd sebesar 32,71 %, dan Cr sebesar 76,29 %. Demikian pula dengan inoculasi isolat ICBB 1220, bila dibandingkan dengan tanpa inoculasi bakteri maka inoculasi isolat ICBB 1220 mampu menurunkan serapan Pb sebesar 18,72 %, Cd sebesar 7,72 % dan Cr sebesar 81,08 %.



Gambar 19. Serapan logam berat pada jerami tanaman padi pada tanah sawah dengan inokulasi bakteri

4.5.2. Penelitian di Lapang

4.5.2.1. Kadar Logam Berat dalam Tanah, Akar, Jerami dan Beras

Pada penelitian lapang inokulasi bakteri yang digunakan adalah isolat ICBB 1204, pemilihan bakteri ini karena hasil peremajaan isolat ICBB 1220 di laboratorium belum cukup untuk percobaan lapang, sementara musim tanam petani di Rancaekkek sudah berlangsung. Selain itu pada percobaan di rumah kaca menunjukkan bahwa inokulasi isolat ICBB 1204 dan ICBB 1220 berpengaruh nyata dalam menurunkan kandungan logam dalam tanah dibandingkan dengan tanpa inokulasi isolat bakteri tersebut, namun antara ICBB 1204 dan ICBB 1220 tidak berbeda nyata. Pada percobaan lapang, hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa inokulasi isolat ICBB 1204 berpengaruh nyata terhadap penurunan kadar Pb tersedia dalam tanah, namun tidak berpengaruh nyata untuk Cd dan Cr seperti tertera pada Lampiran 18. Walaupun tidak berpengaruh nyata

terhadap Cd dan Cr, namun penggunaan isolat ICBB 1204 cenderung menurunkan kadar logam berat dalam tanah seperti tertera pada Tabel 16.

Tabel 16. Hasil uji nilai tengah berpasangan kadar logam berat dalam tanah ekstrak NH_4COOH (Percobaan inokulasi bakteri di lapang)

Logam berat	Nilai tengah kadar logam berat dalam tanah (ppm)	
	Tanpa inokulasi	ICBB 1204
Pb	0,5122 a	0,3309 b
Cd	0,3038 a	0,2665 a
Cr	0,1500 a	0,0000 a

Keterangan:

Huruf kecil(a,b,c) yang berbeda pada jalur sama menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$) kadar logam

Bila dibandingkan dengan tanpa inokulasi bakteri, inokulasi bakteri ICBB 1204 mampu menurunkan kadar Pb tersedia dalam tanah sebesar 35,39 %, Cd sebesar 13,56 % dan seluruh Cr. Dengan demikian inokulasi bakteri di lapang mampu menurunkan logam berat pada tanah sawah. Selain dalam tanah penurunan logam berat terdapat pula pada bagian tanaman seperti tertera pada Tabel 17.

Tabel 17. Logam berat dalam akar, jerami dan beras ekstrak $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$ (Percobaan inokulasi bakteri di lapang)

Jenis logam berat	Jaringan tanaman	Kadar logam berat dalam bagian tanaman (ppm)			
		Air Irigasi Saring		Air Sumur Dalam	
		Tp. Bakteri	ICBB 1204	Tp Bakteri	ICBB 1204
Pb	Akar	7,55	7,55	8,85	7,35
	Jerami	3,80	2,07	3,74	2,20
	Beras	2,38	1,22	1,88	1,32
Cd	Akar	0,40	0,40	0,48	0,44
	Jerami	0,20	0,12	0,15	0,12
	Beras	0,12	0,04	0,10	0,00
Cr	Akar	26,37	18,69	18,62	15,54
	Jerami	9,10	5,81	5,70	4,38
	Beras	4,87	3,43	3,74	2,23

Data pada Tabel 17 menunjukkan bahwa kadar logam berat pada tanaman tanpa inokulasi bakteri menunjukkan angka yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman dengan inokulasi bakteri. Kadar logam berat tampak lebih banyak di akar dibandingkan pada jerami maupun pada beras. Adanya inokulasi bakteri mampu menurunkan kadar Pb pada beras, dan angka yang diperoleh telah memenuhi batas tanaman pangan yang diperkenankan oleh WHO yaitu sebesar

2,0 ppm Pb. Namun angka ini belum memenuhi angka yang diperkenankan SK Ditjen POM No 03725/B/Sk/VII/89 untuk tepung sebesar 1,0 ppm Pb.

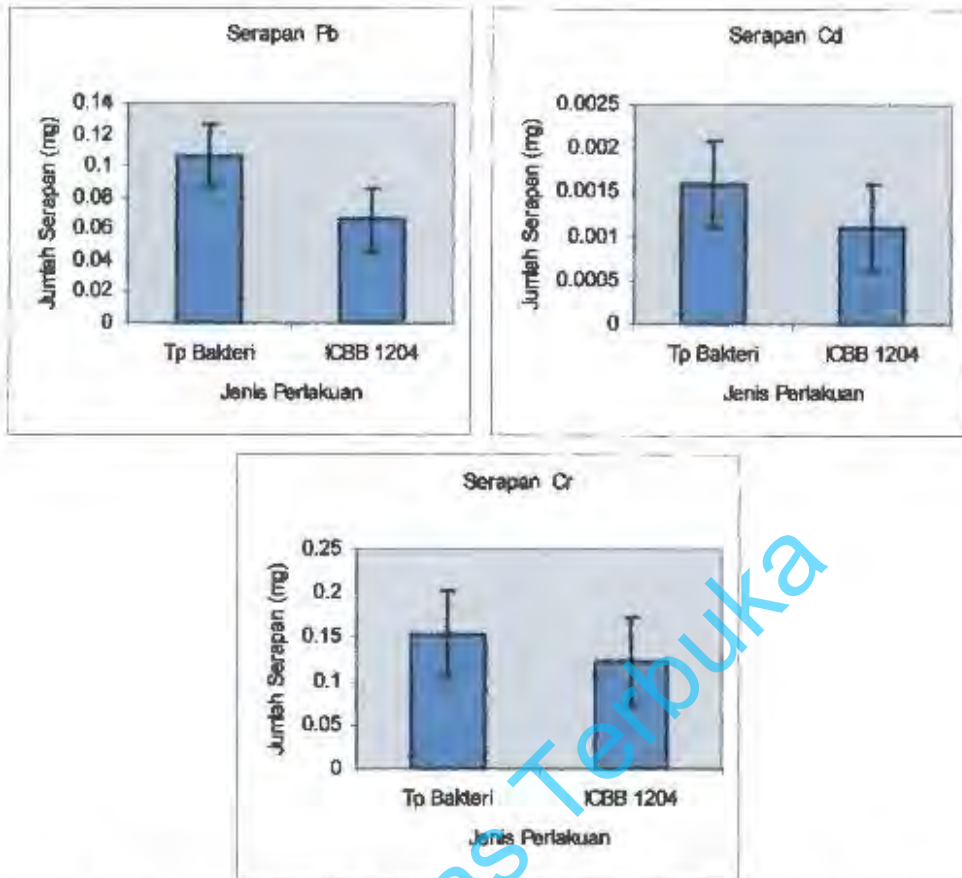
Selain Pb, beras yang dihasilkan juga mengandung Cd yang telah memenuhi angka yang diperkenankan oleh WHO sebesar 0,2 ppm Cd dan sebagian telah memenuhi batas yang diperkenankan SK Ditjen POM No 03725/B/SK/VII/89 sebesar 0,005 ppm Cd. Selanjutnya untuk Cr menunjukkan bahwa angka yang diperoleh pada daun/jerami dan beras menunjukkan angka lebih besar dari 2 ppm Cr. Angka pada jerami maupun beras walaupun tidak tercantum dalam SK Ditjen POM namun angka tersebut diduga tergolong tinggi. Secara umum adanya inokulasi bakteri mampu mereduksi Pb, Cd dan Cr dalam jaringan tanaman.

4.5.2.2. Serapan Logam Berat oleh Akar dan Jerami Tanaman Padi

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa inokulasi isolat ICBB 1204 tidak berpengaruh nyata dalam menurunkan serapan Pb, Cd, maupun Cr dalam akar (Lampiran 19).

Walaupun tidak berpengaruh nyata penggunaan isolat bakteri cenderung menurunkan serapan logam berat dalam akar. Bila dibandingkan dengan tanpa inokulasi bakteri maka inokulasi isolat ICBB 1204 mampu menurunkan serapan Pb di akar hingga mencapai 38,05 % dan Cd sebesar 31,25 % dan Cr sebesar 19,53 % dan data serapan Pb, Cd serta Cr tertera pada Gambar 20.

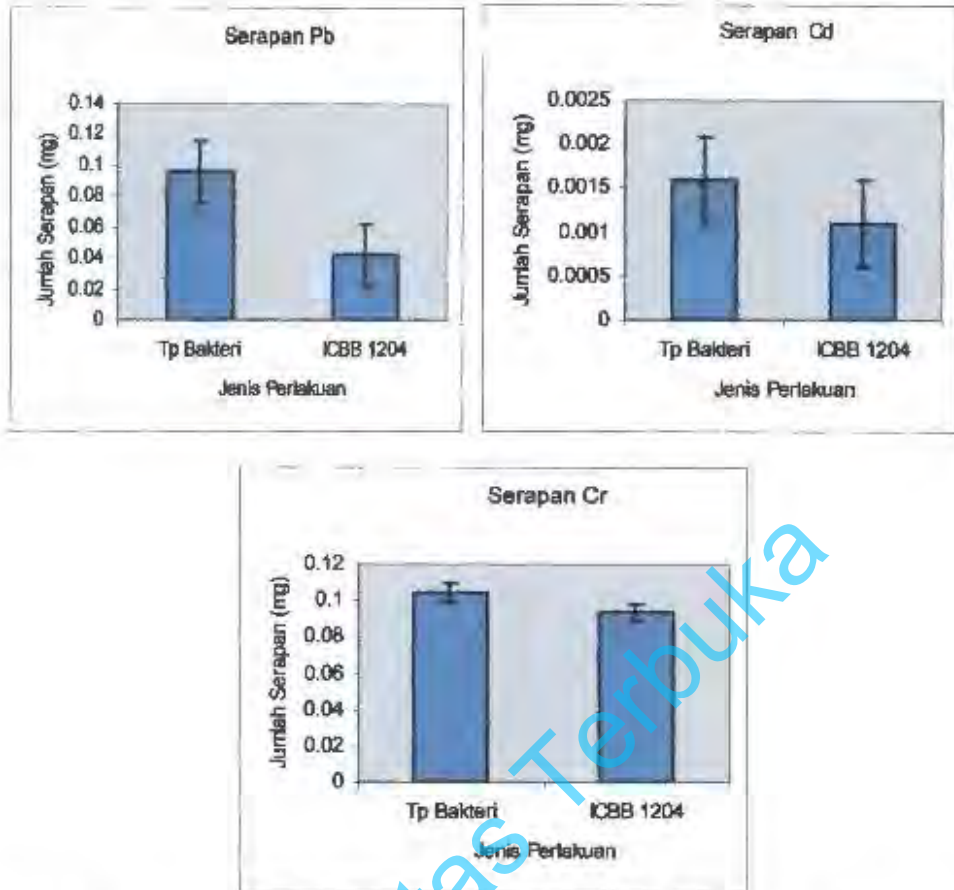
Berdasarkan Gambar 20 dapat dijelaskan bahwa inokulasi bakteri mampu menurunkan serapan logam dalam akar. Penelitian yang sejalan juga dilakukan oleh Burd *et al.*, (2000) pada tanaman jagung yang menunjukkan bahwa adanya inokulasi bakteri *K. ascorbata* SUD165 mampu menurunkan kadar Pb pada akar. Tanaman tanpa inokulasi *K. ascorbata* SUD 165 mempunyai kadar Pb sebesar 16,11 mg/g berat kering sedang dengan inokulasi menjadi 15,42 mg/g berat kering.



Gambar 20. Serapan logam berat dalam akar tanaman padi pada tanah sawah dengan inokulasi bakteri

Selain dalam akar inokulasi bakteri ICBB 1204 juga secara nyata mampu menurunkan serapan Pb dalam daun/jerami namun tidak demikian dengan Cd dan Cr (Lampiran 20). Walaupun tidak berpengaruh nyata namun penggunaan isolat bakteri tersebut mampu menurunkan serapan logam berat dalam jerami tanaman padi tertera pada Gambar 21.

Bila dibandingkan dengan tanpa inokulasi bakteri maka inokulasi isolat ICBB 1204 mampu menurunkan serapan Pb sebesar 40,03 %, Cd sebesar 3,45 %, dan Cr sebesar 26,46 %.



Gambar 21. Serapan logam berat dalam jerami tanaman padi pada tanah sawah dengan inokulasi bakteri

Berdasarkan hasil percobaan di rumah kaca maupun di lapang dapat dijelaskan bahwa adanya inokulasi bakteri *D. orientis* ICBB 1204 dan ICBB 1220 mampu menurunkan kadar logam berat tersedia dalam tanah serta serapannya dalam jaringan tanaman. Walaupun kedua isolat ini mampu menurunkan kadar logam berat, akan tetapi pengaruh nyata penurunan kadar logam berat dalam tanah terjadi pada percobaan di rumah kaca sedang pada percobaan di lapang tidak demikian. Percobaan di lapang menunjukkan adanya inokulasi isolat ICBB 1204 belum memberi pengaruh nyata. Selain itu pada percobaan di rumah kaca dikondisikan dengan seminimal mungkin masuknya udara dalam tanah terutama pada dua minggu pertama, yaitu dengan cara menutup rapat setiap pot dengan plastik baik bagian dalam maupun luar sehingga kecil kemungkinan adanya kontaminasi dengan udara. Sedang pada percobaan lapang hal ini sulit dilakukan sehingga inokulasi bakteri hanya dilakukan dengan cara mencelupkan bagian akar

sebelum padi ditanam. Kemungkinan lainnya adalah pergerakan bakteri di lapang tidak sama dengan di rumah kaca karena bidang gerak bakteri di lapang lebih luas bahkan kemungkinan masuk ke dalam lapisan tanah yang lebih dalam. Sementara pada percobaan di rumah kaca ruang gerak bakteri hanya seluas pot sehingga diduga dalam percobaan di rumah kaca sampel tanah yang terambil lebih homogen.

Isolat ICBB 1204 mempunyai kemampuan yang tidak berbeda nyata dibandingkan dengan isolat ICBB 1220 dalam menurunkan logam berat. Suyase (2002) dalam penelitiannya menerangkan bahwa isolat ICBB 1204 dan ICBB 1220 mempunyai kemampuan menurunkan Pb sama besar yaitu 99 %. Sementara untuk Cd, isolat ICBB 1220 memberi hasil sebesar 90% sedang ICBB 1204 sebesar 87 %. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Kumiawan (2004) menerangkan bahwa isolat ICBB 1220 mampu menurunkan Pb terlarut dari konsentrasi awal sebesar 10,43 menjadi 0,77 ppm, sedang isolat ICBB 1204 mampu menurunkan Pb dari konsentrasi awal sebesar 10,54 menjadi 1,01 ppm. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Lina (2004) pada limbah yang mengandung Cr menunjukkan bahwa penggunaan ICBB 1204 mampu menurunkan Cr terlarut dari konsentrasi awal sebesar 69,36 menjadi 0,83 ppm Cr.

4.6. Perhitungan Hasil

Selain mampu menurunkan kadar logam berat, penggunaan bahan organik juga mampu meningkatkan hasil gabah kering walaupun peningkatannya belum secara nyata berbeda. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa pemberian bahan organik tidak berpengaruh nyata terhadap hasil gabah kering, namun penggunaan air sumur dalam berbeda nyata dengan air irigasi saring, tertera pada Lampiran 21

Penggunaan air sumur dalam memperoleh hasil rata-rata sebesar 55,30 gram/pot sedang air irigasi saring rata-rata sebesar 17,26 gram/pot. Adanya perbedaan hasil ini diduga karena kadar natrium pada tanah sawah yang diairi air irigasi saring lebih tinggi dibandingkan dengan air sumur dalam. Selain itu penggunaan air irigasi saring diduga banyak mengendapkan garam-garam pada permukaan tanah, akibatnya permeabilitas tanah terganggu sehingga menghambat

transport ion yang dibutuhkan tanaman dari dalam tanah (Santoso. 1993). Selain itu penggunaan air sumur dalam menghasilkan tanaman yang lebih baik dibandingkan dengan air irigasi saring seperti ditunjukkan pada Gambar 22.



Gambar 22. Pertumbuhan tanaman padi yang diairi Air Sumur Dalam dan Air Irigasi Saring

Walaupun gabah kering yang dihasilkan dari tanah sawah yang diairi air irigasi lebih rendah dibandingkan dengan air sumur dalam namun hasil ini masih lebih tinggi dibandingkan dengan hasil dari tanah sawah yang diairi air aliran Sungai Cikijing yang tidak disaring seperti tertera pada Tabel 18. Tanah sawah yang diari air sumur dalam dengan ditambahkan berbagai dosis bahan organik, menghasilkan berat gabah kering berkisar antara 50,89 sampai dengan 59,12 gram/pot. Sedang tanaman yang diairi air irigasi saring dengan berbagai dosis bahan organik berkisar antara 16,17 sampai dengan 18,48 gram/pot. Sementara tanah sawah yang diairi air aliran Sungai Cikijing yang tidak disaring berkisar 6,03 sampai dengan 7,08 gram/pot.

Selanjutnya pemberian berbagai dosis bahan organik memberi hasil berbeda terhadap jumlah gabah kering yang dihasilkan per pot. Hasil tertinggi diperoleh pada penambahan 60 gram bahan organik per pot yaitu sebesar 37,907 gram gabah kering, selanjutnya pada penambahan 80 gram, 40 gram dan 20 gram bahan organik berturut – turut sebesar 37,65 gram, 36,45 gram dan 34,68 gram gabah kering. Sementara tanah sawah yang tidak diberi bahan organik menghasilkan gabah kering sebesar 34,73 gram. Dengan demikian walaupun tidak

berbeda nyata namun tanaman padi yang dipupuk bahan organik cenderung menghasilkan gabah kering lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa pemberian bahan organik.

Tabel 18. Hasil tanaman padi pada percobaan dengan menggunakan tiga sumber air yang berbeda

Sumber irigasi	Jumlah malai per rumpun/pot	Kisaran berat gabah per malai (gram)	Kisaran berat gabah kering /pot (gram)
Air sumur dalam	23 – 52	2,05 – 2,26	50,89 – 59,12
Air irigasi Saring	16 -27	1,70 - 1,84	16,17 – 18,48
Air Sungai Cikijing	9 – 11	1,52 – 1,59	6,03 – 7,08

Penelitian yang dilakukan oleh Subartatik *et al.*, (1993) menerangkan bahwa tanaman padi yang dipupuk dengan bahan organik hasilnya dapat meningkat dibandingkan dengan tanpa pemberian bahan organik. Penelitian yang hampir sama dilakukan oleh Poniman *et al.*, (2000) yang menerangkan bahwa pemberian bahan organik pada lahan sawah irigasi memberikan tanggapan positif yang ditunjukkan dengan peningkatan hasil. Pemberian bahan organik 5 ton/ha menghasilkan gabah kering sebesar 6,27 ton/ha sedang tanpa pemberian bahan organik sebesar 3,13 ton/ha.

Pemberian bahan organik 5 ton/ha berupa pupuk kandang atau serasah tanaman yang sebagian ditanam dan sebagian dimulsaikan dapat menghasilkan produksi kedelai 2 kali lebih tinggi dari pada kontrol atau setara dengan hasil yang diperoleh dengan pemupukan urea, TSP, dan KCl masing-masing dengan takaran 50 kg/ha (Mulyadi *et al.*, 1995).

Hasil yang tidak jauh berbeda juga ditunjukkan pada penggunaan bakteri, adanya inokulasi bakteri tidak berpengaruh nyata terhadap hasil gabah kering tanaman padi akan tetapi penggunaan air sumur dalam berbeda nyata dengan air irigasi saring terhadap jumlah gabah kering yang dihasilkan (Lampiran 22).

Tanah sawah dengan inokulasi isolat ICBB 1204 menghasilkan berat gabah kering sebesar 34,15 gram per pot dan isolat ICBB 1220 sebesar 31,08 gram per pot, sedang tanaman tanpa inokulasi bakteri sebesar 34,730 gram per pot. Walaupun hasil gabah yang diperoleh lebih rendah namun hasil tersebut tidak

berbeda nyata. Sementara penelitian yang dilakukan oleh Burd *et al.*, (2000), menerangkan bahwa inokulasi bakteri *K.ascorbata* SUD 165 selain mampu menurunkan kadar logam berat dalam jaringan tanaman juga mampu meningkatkan berat kering jagung dari 1,27 gram menjadi 1,38 gram akan tetapi perubahannya tidak berbeda nyata.

Pada percobaan di lapang, tidak diperoleh hasil gabah yang dapat dihitung secara statistik karena sebagian besar gabah yang dihasilkan diserang tikus saat mendekati panen. Namun berdasarkan perkembangan tanaman di lapang tampak bahwa tanaman yang diairi air sumur dalam lebih besar hasilnya dibandingkan dengan tanaman yang diairi air irigasi saring dengan jumlah rata-rata anakan sebesar 16,30 untuk tanaman yang diairi air sumur dalam dan 11,86 untuk tanaman yang diairi air irigasi saring. Hasil ini tergolong rendah, karena selama musim tanam di musim kemarau 2004, hampir tidak ada hujan sehingga adanya natrium yang tinggi di dalam tanah diduga sebagai penyebab utama sulitnya tanaman dapat tumbuh dengan baik.

Hasil wawancara dengan beberapa petani setempat diperoleh informasi bahwa pada musim tanam kemarau 2004 produksi yang dihasilkan 1 sampai dengan 2 ton per hektar bahkan beberapa di antaranya memperoleh hasil kurang dari 1 ton/ha karena sebagian gabah yang dihasilkan tidak berisi/kosong. Hal ini diduga karena tanaman kekurangan air saat masa pertumbuhan sebab petani enggan menggenangi sawahnya. Enggannya petani mengairi sawah disebabkan air irigasi yang berasal dari Sungai Cikijing berwarna kelam dan berbau sangat menyengat. Selain itu juga dikatakan bahwa bila sawah digenangi terus menerus akan mematikan tanaman. Suganda *et al.*, (2002) mengatakan bahwa sejak adanya kegiatan industri di sekitar Rancaekek telah menyebabkan berkurangnya produksi gabah kering menjadi sebesar 1 sampai dengan 1,5 ton per hektar bahkan dapat tidak panen bila dimusim kemarau. Sementara hasil produksi sebelum tercemar sekitar 4 – 5 ton/ha. Luas tanah sawah di Kecamatan Rancaekek yang terkena pengaruh limbah sebesar 1.215 hektar, dengan demikian wilayah ini akan kehilangan sekitar 3.645 sampai dengan 4.860 ton gabah. Bila harga gabah sebesar Rp 1000,-/kg maka kerugian petani dapat mencapai sekitar Rp 3,6 – 4,8 milyar/musim.

Berdasarkan uraian di atas dapat dijelaskan bahwa penggunaan sumber air irigasi merupakan faktor utama dalam mendapatkan hasil gabah kering dari tanah sawah di Kecamatan Rancaekek. Penggunaan air irigasi sering belum menghasilkan gabah yang diharapkan. Akan tetapi penggunaan saringan ini masih memberi angka yang lebih tinggi dibandingkan dengan angka yang ditunjukkan pada tanah sawah yang hanya diairi oleh air Sungai Cikijing. Sementara pemberian air sumur dalam mampu memberi hasil gabah yang lebih tinggi dibandingkan dengan kedua sumber air irigasi tersebut. Dengan demikian penggunaan air sumur dalam dari Rancaekek mampu meningkatkan hasil produksi gabah/beras. Hal ini seperti ditunjukkan oleh Kurnia *et al.*, (2003) dalam penelitiannya menerangkan bahwa penggunaan air sumur dalam pada tanah sawah di Rancaekek dapat meningkatkan hasil produksi. Produksi beras pada musim tanam kemarau 2003 dapat mencapai 8,91 sampai dengan 10,45 ton/ha. Hasil ini telah melebihi hasil produksi sebelum berkembangnya industri di kawasan tersebut yang mencapai 4 sampai 5 ton/ha (Sutono *et al.*, 2000).

4.7. Perbaikan Tanah Sawah Tercemar Limbah Industri Tekstil di Kecamatan Rancaekek

Perbaikan tanah sawah di Kecamatan Rancaekek akan berarti apabila penggunaan IPAL dan pengawasan penggunaan IPAL berjalan dengan baik, sehingga air buangan yang mengalir pada Sungai Cikijing sebagai air irigasi tidak mengandung senyawa berbahaya beracun. Apabila IPAL telah berfungsi dengan baik maka tanah sawah di Kecamatan Rancaekek yang saat ini telah tercemar bahan berbahaya beracun dapat dilakukan upaya perbaikannya. Bahan tersebut di antaranya adalah natrium dan logam berat. Tingginya kadar natrium pada air buangan industri tekstil akibat pemakaian NaOH , Na_2CO_3 , Na_2HPO_4 pada proses pelepasan *wax* dan *bleaching* menyebabkan air irigasi dari Sungai Cikijing dan tanah sawah di Kecamatan Rancaekek mengandung natrium yang tinggi. Selain proses pelepasan *wax* dan *bleaching*, pada kegiatan industri tekstil juga terjadi proses pewarnaan dan pencelupan (*dyeing*). Kegiatan ini dapat memberi pengaruh terhadap lingkungan khususnya air sungai dan tanah sawah. Hal ini disebabkan bahan baku yang digunakan umumnya dari senyawa logam berat dan hanya

sebagian dari bahan-bahan tersebut teradsorpsi atau melekat pada tekstil, sementara sisanya terbawa bersama aliran buangan.

4.7.1. Perbaikan Tanah Sawah Tercemar Natrium

Upaya mengurangi kadar natrium dalam tanah sawah dimusim kemarau dapat dilakukan melalui pencucian dengan menggunakan air irigasi saring maupun air sumur dalam. Hasil percobaan di wilayah Rancaekek, menunjukkan bahwa penggunaan air sumur dalam memberi hasil yang lebih baik dibandingkan dengan air irigasi saring sehingga dapat menjadi pilihan penggunaan air irigasi di musim kemarau. Namun kendala yang dihadapi untuk melakukan pencucian adalah kesulitan untuk mendapatkan air dengan kadar natrium rendah sebagai bahan pencuci, karena air sungai yang mengalir di wilayah ini cenderung mempunyai kadar natrium yang tinggi terlebih di musim kemarau. Tingginya natrium juga terdapat dalam air sumur dangkal (Suganda *et al.*, 2002), namun tidak demikian dengan air sumur dalam. Oleh sebab itu, untuk mendapatkan air dengan kualitas natrium yang rendah hanya mengandalkan turunnya hujan dan penggunaan air sumur dalam. Sementara upaya penyaringan air Sungai Cikijing dengan pasir putih dan zeolit meskipun mampu menurunkan kadar natrium namun belum memberikan hasil yang diharapkan.

Meskipun penggunaan air sumur dalam bukanlah suatu pemecahan masalah lingkungan yang tepat akan tetapi penggunaan air sumur dalam dari Rancaekek mampu menurunkan kadar natrium. Penggunaan air sumur dalam, dapat menjadi alternatif pilihan. Akan tetapi di dalam pelaksanaannya memerlukan penanganan yang hati-hati karena pengambilan air tanah harus aman, tidak dilakukan secara berlebihan dan tidak menimbulkan pencemaran. Mengingat pengolahan tanah sawah membutuhkan air dalam jumlah besar, yaitu 2,1 l/dt dalam satu hektar dan setelah tanam membutuhkan sekitar 0,8 l/dt dalam satu hektar (Fakultas Pertanian-UGM, 1991) maka irigasi dengan air sumur dalam di Rancaekek tidak digunakan untuk setiap kali musim kemarau ataupun setiap kali musim tanam. Namun dapat digunakan untuk satu kali pencucian hingga konsentrasi natrium telah mencapai batas toleransi tumbuhnya tanaman. Hal ini disebabkan pengambilan air berlebihan dari tanah akan menimbulkan dampak

berupa penurunan permukaan tanah, pencemaran air tanah, pencemaran tanah, dan peningkatan biaya operasional, bahkan dapat menjadi keringnya sumber air tanah.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 77 tahun 2001 pasal 18 tentang Penyediaan Air Irigasi menerangkan bahwa untuk mengatasi kekurangan air pada lahan pertanian dapat dilakukan melalui pompanisasi, dan setiap pengambilan air bawah tanah dan air permukaan hanya dapat dilakukan setelah mendapat izin dari Gubernur Kepala Daerah dengan memperhatikan kelestarian lingkungan. Sementara Peraturan Daerah Provinsi Dati I Jabar No. 3 tahun 1988 menerangkan bahwa penggunaan air bawah tanah akan dikenakan retribusi berdasarkan kubikasi pengambilan atau pemakaian air. Akan tetapi juga dijelaskan bahwa retribusi ini akan dibebaskan bila digunakan untuk kepentingan : 1) rumah tangga (sampai pengambilan 100 m³/bulan), 2) tempat-tempat peribadatan, kantor dan badan sosial tertentu, 3) kepentingan irigasi tanaman pangan, perkebunan rakyat dan perikanan yang tidak bersifat komersial dan atau untuk kepentingan penelitian dan ilmu pengetahuan.

Penurunan kadar natrium juga dapat terjadi apabila curah hujan tinggi, akan tetapi daerah Kecamatan Rancakek mempunyai tipe curah hujan B1. Curah hujan di atas 200 mm/bulan biasanya terjadi pada bulan November hingga Februari, sedangkan pada bulan Juli dan Agustus tidak terjadi hujan atau curah hujan dibawah 100 mm/bulan (Suganda *et al.*, 2002). Bila musim kemarau acapkali terjadi kekeringan akan tetapi pada musim hujan kadang kala terjadi banjir karena tingginya curah hujan. Saat ini, air hujan masih menjadi satu-satunya harapan petani setempat untuk mengolah tanah sawahnya guna mendapatkan air dengan kadar natrium yang lebih rendah dibandingkan dengan air irigasi dari Sungai Cikijing. Namun upaya rehabilitasi lahan melalui pengairan dengan air sumur dalam akan menjadi kurang berarti apabila disuatu saat masih menggunakan kembali air irigasi Sungai Cikijing yang masih mengandung natrium dengan konsentrasi yang tinggi.

4.7.2. Perbaikan Tanah Sawah Tercemar Pb, Cd dan Cr.

Tanah sawah yang saat ini telah tercemar logam berat dapat diperbaiki melalui penggunaan vegetasi pengikat logam, bahan organik maupun bakteri.

Seluruh pendekatan tersebut memiliki kemampuan alami dalam memperbaiki sifat tanah, karena bahan yang digunakan berasal dari alam.

Upaya mengurangi kadar logam berat dalam tanah dengan remediasi secara biologi yaitu menggunakan tanaman bioakumulator mampu menyerap dan mengakumulasikan logam berat di dalam jaringan tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh vegetasi yang dicobakan di rumah kaca yaitu eceng gondok, mendong, akar wangi dan haramay mampu menurunkan kadar logam berat tersedia dalam tanah serta mengakumulasi logam berat dalam jaringan tanaman. Eceng gondok, mendong, dan akar wangi relatif lebih tinggi menyerap logam berat dibandingkan dengan haramay. Akan tetapi hanya eceng gondok dan mendong yang dapat tumbuh dengan baik pada tanah sawah di Rancaekek. Kedua vegetasi ini relatif lebih toleran dengan kondisi lapang meskipun pada awalnya dilakukan pencucian tanah guna menurunkan kadar natrium agar vegetasi dapat tumbuh dengan baik. Hal ini menunjukkan bahwa perbaikan tanah melalui penggunaan vegetasi dapat dilakukan untuk mengurangi keberadaan logam berat tersedia dalam tanah. Walaupun penggunaan vegetasi relatif berjalan lambat untuk menurunkan kadar logam berat dalam tanah, namun upaya ini dapat menjadi satu masukkan karena penanaman dengan jangka waktu lama diharapkan dapat menghasilkan penurunan kadar logam berat yang lebih besar lagi.

Penanganan permasalahan perbaikan kualitas tanah sawah juga dilakukan untuk menurunkan kadar logam berat yang ada dalam jaringan tanaman khususnya tanaman pangan. Upaya untuk mengurangi tertranslokasinya logam berat pada jaringan tanaman khususnya tanaman bagian atas atau beras menjadi suatu masukan dalam merehabilitasi tanah tercemar. Penggunaan bahan organik dapat menjadi salah satu alternatif yang dipilih, sebab berdasarkan hasil percobaan penggunaan bahan organik pada tanah sawah tercemar baik di rumah kaca maupun di lapang menunjukkan bahwa penggunaan bahan organik mampu menghambat terjerapnya logam berat pada akar. Terjerapnya logam berat dalam akar disebabkan adanya proses dekomposisi bahan organik yang menghasilkan asam-asam organik yang mampu menonaktifkan kation-kation pengikat fosfat seperti unsur-unsur yang tergolong dalam logam berat. Logam berat yang diikat kompleks organik bersifat tidak dapat larut sehingga tidak mudah dicuci dan

hampir tidak tersedia bagi tanaman (Stevenson, 1982). Dengan demikian keberadaannya dianggap ramah lingkungan dan berkelanjutan bagi sistem produksi tanaman di atasnya.

Adapun dosis bahan organik yang diperlukan untuk menurunkan kadar logam berat tidak sama untuk setiap jenis logam. Penurunan Pb secara signifikan terjadi pada penggunaan bahan organik kotoran ayam sebesar 20 gram/pot atau setara dengan 5 ton/ha, sementara penurunan Cd dan Cr tersedia dalam tanah secara signifikan terjadi pada penggunaan 80 gram/pot atau setara dengan 20 ton/ha. Selanjutnya semakin besar dosis bahan organik yang diberikan, serapan logam pada jaringan tanaman semakin menurun.

Dalam konsep pertanian organik, pupuk organik memegang peranan penting untuk mengurangi penggunaan pupuk anorganik yang berpotensi mencemari lingkungan, dan mengembalikan tingkat kesuburan tanah yang telah mengalami kemunduran akibat pengurusan hara yang terus menerus. Pemanfaatan bahan organik secara tidak langsung dapat berperan dalam rangka perbaikan kesuburan tanah dan perbaikan nutrisi tanaman. Akan tetapi, komponen organik yang ditambahkan ke dalam tanah jumlahnya terbatas dan seringkali terjadi kekurangan. Oleh karena itu, pencarian terhadap sumber-sumber komponen organik menjadi suatu tantangan tersendiri. Penggunaan kotoran hewan dapat menjadi satu pilihan, namun diperlukan kehati-hatian terhadap tingkat kematangan dari kotoran hewan tersebut agar tidak memberi hasil yang semakin meracuni tanaman. Adapun bahan organik matang yang digunakan untuk menurunkan kadar logam berat adalah bahan organik yang mempunyai nilai nisbah C/N kurang dari 30. Penggunaan kotoran ayam dan kompos tanaman relatif lebih tinggi dalam menurunkan kadar logam berat tersedia dalam tanah dibandingkan dengan kotoran sapi dan kotoran kambing. Tingginya kotoran ayam dan kompos tanaman dalam mengkelat logam berat dalam tanah diduga disebabkan kedua bahan organik ini mempunyai nilai C/N lebih rendah dibandingkan dengan kotoran sapi dan kambing.

Selain fitoremediasi ataupun penggunaan bahan organik, pengikatan logam berat di dalam tanah dapat pula dilakukan dengan menggunakan jasa biomassa mikroorganisme termasuk bakteri. Penggunaan bakteri *D. orientis* ICBB

1204 dan ICBB 1220 dari kelompok pereduksi sulfat secara nyata mampu menurunkan kadar logam berat tersedia pada tanah sawah blok Rancekeong Kecamatan Rancaekek, namun kemampuan diantara kedua isolat bakteri tersebut tidak menunjukkan perbedaan nyata. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan isolat ICBB 1204 maupun 1220 dapat menjadi suatu masukan untuk merehabilitasi tanah sawah di Rancaekek. Penggunaan bakteri ini dapat diaplikasikan di tanah sawah karena tergolong bakteri yang tidak berbahaya. Penggunaan bakteri ini ditujukan untuk mengurangi pengaruh bahan-bahan kimia yang mengkontaminasi tanah menjadi bentuk yang tidak berbahaya. Adanya penurunan kadar logam berat tersedia dalam tanah menunjukkan keberhasilan penanganan masalah lingkungan dengan pendekatan biologis melalui penggunaan bakteri *Desulfotomaculum orientis* ICBB 1204 dan ICBB 1220.

Bakteri *D. Orientis* menggunakan sulfat sebagai aseptor elektron sehingga terbentuk sulfida yang mudah berikatan dengan logam. Dengan terbentuknya endapan logam sulfida maka logam berat tidak berada dalam bentuk tersedia bagi tanaman. Keadaan ini menyebabkan bertakurnya logam berat yang terjepit dalam akar tanaman sehingga logam berat yang tertranslokasi pada tanaman bagian atas seperti beras semakin berkurang. Hasil percobaan menunjukkan adanya inokulasi bakteri menyebabkan penurunan kadar logam berat dalam jerami dan beras. Dengan demikian detoksifikasi logam berat dapat dilakukan melalui inokulasi bakteri.

Bakteri *Desulfotomaculum orientis* ICBB 1204 dan ICBB 1220 tidak hanya mampu menurunkan logam berat dalam tanah dan jaringan tanaman, namun dapat pula dalam air limbah (Suyase, 2002; Kurniawan, 2004 dan Lina 2004). Oleh karena itu, penurunan logam berat dapat dilakukan pada air Sungai Cikijing yang digunakan sebagai sumber air irigasi. Santosa (2003) menerangkan bahwa kelompok bakteri pereduksi sulfat dapat digunakan untuk mengendalikan cemaran logam berat terhadap air. Salah satu negara di benua Eropa yaitu Belanda telah menerapkan teknologi untuk mengurangi kontaminasi logam berat dalam air dengan membuat suatu gorong-gorong dalam tanah. Hal ini disebabkan bakteri ini hidup dalam kondisi anaerob.

Saat ini metode pengolahan limbah lebih banyak dilakukan secara kimia misalnya dengan menambahkan zat kimia tertentu untuk proses pemisahan ion logam berat dengan resin penukar ion. Selain itu, ada pula beberapa metode lain seperti penyerapan dengan menggunakan karbon aktif, dan elektrodialisis, namun metode ini memerlukan teknologi, energi, bahan kimia serta biaya yang tinggi. Pengolahan limbah dengan biaya murah dan mudah dalam pengoperasian menjadi suatu tantangan dalam mengatasi masalah lingkungan. Penggunaan bakteri *Desulfotomaculum orientis* ICBB 1204 dan ICBB 1220 merupakan suatu alternatif yang dapat dipilih karena penggunaan bakteri ini relatif murah, namun masih diperlukan kajian lebih lanjut berkenaan dengan teknologi yang dapat dengan mudah diaplikasikan di lapang sesuai dengan kondisi lingkungan sosial masyarakat setempat.

Berdasarkan uraian di atas dapat dijelaskan bahwa penggunaan vegetasi, bahan organik dan bakteri dapat digunakan untuk menurunkan kadar logam berat dalam tanah. Hasil percobaan menunjukkan penggunaan bakteri relatif lebih tinggi dalam menurunkan kadar logam berat tersedia dalam tanah, akan tetapi teknologi ini tidak segera dapat diaplikasikan pada petani setempat. Penggunaan vegetasi cenderung lebih mudah diaplikasikan karena relatif lebih sederhana dalam pengerjaannya. Kendala yang mungkin dihadapi adalah tidak semua petani bersedia tanahnya dialih tanam menjadi tanaman non pangan meskipun penanaman mendong tidak hanya mampu menurunkan kadar logam berat dalam tanah akan tetapi tetap dapat memberikan pendapatan bagi petani. Pengubahan jenis tanaman ini tidak berarti mematikan penghasilan petani karena berdasarkan hasil percobaan rumah kaca berat kering eceng gondok rata-rata dapat mencapai 60,84 gram/pot dan berat kering mendong rata-rata sebesar 121,57 gram daun per pot (tiap pot berisi 8 kg tanah kering) dengan panjang daun rata-rata 110 cm untuk masa tanam selama 4 bulan. Hasil berat kering vegetasi pada percobaan di rumah kaca memang sulit untuk memprediksi hasil sebenarnya. Akan tetapi sebagai ilustrasi dapat digunakan hasil percobaan lapang yang dilakukan antara Puslithangtanak dengan Pemda Bandung, untuk vegetasi eceng gondok dan mendong di tanah sawah Rancaekek. Adapun berat kering yang diperoleh sebanyak 18,4 ton/ha untuk mendong dan 33,86 ton/ha untuk eceng gondok. Bila

harga jual mendong kering Rp. 23.000,-/kuintal maka pendapatan kotor petani dapat mencapai Rp. 4.232.000,- (Empat juta duaratus tiga puluh dua ribu rupiah), untuk masa tanam selama 100 hari. Dengan demikian upaya rehabilitasi lahan dengan menggunakan tanaman mendong dapat menjadi salah satu masukan bagi petani setempat guna mendapatkan perbaikan tanah dari kadar logam berat dan tetap memberikan pendapatan bagi petani. Pengubahan jenis tanaman ini tidak dimaksudkan untuk mengalih fungsikan lahan dari tanaman pangan menjadi tanaman non pangan secara permanen, namun dilakukan untuk beberapa periode tanam saja.

Sebaik apapun upaya rehabilitasi tanah di Kecamatan Rancaekek bila IPAL belum berfungsi secara maksimal serta air Sungai Cikijing masih mengandung senyawa-senyawa yang dapat mengkontaminasi tanah sawah sekitar maka tidak akan memberi hasil yang berarti. Diperlukan adanya koordinasi yang melibatkan berbagai pihak, baik dari pemerintah daerah, pengusaha maupun masyarakat setempat untuk menjaga kelestarian lingkungan termasuk air Sungai Cikijing dan lahan-lahan pertanian sekitarnya. Dengan demikian kegiatan rehabilitasi tanah sawah ini tidak hanya menjadi beban petani namun termasuk pula unsur-unsur terkait seperti pengusaha tekstil di sekitar lokasi.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

- a. Air sumur dalam dan air irigasi saring cukup efektif dalam menurunkan kandungan natrium dalam tanah. Pencucian dengan air sumur dalam, lebih tinggi dalam menurunkan kandungan natrium dibandingkan dengan air irigasi saring.
- b. Eceng gondok, mendong, akar wangi dan haramay sebagai bioakumulator cukup efektif mengurangi pencemaran logam berat di tanah sawah. Eceng gondok, mendong, dan akar wangi lebih tinggi dalam menurunkan kandungan logam berat dalam tanah dibandingkan dengan haramay.
- c. Penggunaan bahan organik berupa kotoran ayam sebesar 5 ton/ha nyata menurunkan kandungan logam Pb dalam tanah, sedang untuk Cd dan Cr penurunan secara nyata terjadi pada penambahan sebesar 20 ton/ha.
- d. Bakteri *Desulfotomaculum orientis* isolat ICBB 1204 dan ICBB 1220 secara nyata mampu menurunkan kandungan logam berat tersedia dalam tanah sawah.
- e. Penggunaan bakteri *Desulfotomaculum orientis* isolat ICBB 1204 dan ICBB 1220 cenderung lebih tinggi dalam menurunkan kandungan logam berat tersedia dalam tanah dibandingkan dengan penggunaan vegetasi dan bahan organik.

5.2. Saran

1. Penggunaan vegetasi, bahan organik yang telah matang serta bakteri *Desulfotomaculum orientis* isolat ICBB 1204 dan 1220 disarankan dapat digunakan untuk mengurangi kandungan logam berat tersedia dalam tanah.
2. Perlu adanya kajian lebih lanjut pengembangan teknologi pemanfaatan bakteri *Desulfotomaculum orientis* yang mudah diterapkan bagi petani setempat.

3. Untuk keberlangsungan usahatani di Desa Linggar disarankan adanya koordinasi bersama dengan melibatkan dukungan berbagai pihak, baik dari pihak pemerintah daerah, pengusaha maupun masyarakat setempat untuk menjaga kualitas air pengairan dari sungai Cikijing dan lahan-lahan pertanian disekitarnya.

Universitas Terbuka

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman, A., S. Sutono, H. Kusnadi dan Y. Hadian 2000. Laporan pengkajian baku mutu tanah: Sumber dan proses terjadinya pencemaran logam berat. Laporan Akhir Bagian Proyek Penelitian Sumberdaya Lahan dan Agroklimat. No. 61-b/ Puslit-tanak/2000. Puslitbangtanak. Bogor.
- Rachim, A. 1995. Penggunaan Kation-Kation Polivalen dalam Kaitannya dengan Ketersediaan Fosfat untuk Meningkatkan Produksi Jagung pada Tanah Gambut. [Disertasi]. Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Alloway, B.J. 1995. Heavy Metals in Soils. Blackie Academic & Professional. London
- Arsyad, S. 2000. Konservasi Tanah Dan Air. Institut Pertanian Bogor – Press. Bogor
- Arsiati, A. 2002. Sifat-sifat Asam Humat Hasil Ekstraksi dari Berbagai Jenis Bahan dan Pengesthak. [Tesis]. Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- ATSDR. 2000. Case Studies in Environmental Medicine Chromium Toxicity Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. www.atsdr.cds.gov
- Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Tekstil (BBPPIT). 1982. Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran Lingkungan Akibat Air Buangan Industri Tekstil. BBPPIT. Bandung.
- Burd, G.I., D.G. Dixon, and B.R. Glick. 2000. Plant growth-promoting bacteria that decrease heavy metal toxicity in plants. *Journal Microbiology* 46: 237 – 245.
- Chapman, H.D. 1974. Diagnostic Criteria for Plants and Soils. Eurasia Publishing House Ltd. New Delhi.
- Cresser, M., and K. Killham. 1995. Soil Chemistry and Its Applications. Cambridge University Press. New York.
- Darmono, 1995. Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. Penerbit Universitas Indonesia. Jakarta.
- Darmono 2001. Lingkungan Hidup dan Pencemaran: Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam. UI – Press. Jakarta.

- Dedi, S.E., R. Rosman, dan M. P. Laksmanahardja. 1990. Budidaya akar wangi. *Di dalam* Prosiding Simposium I Hasil Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri. Buku VII. Tanaman Akar Wangi Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri. Bogor. hal. 1069 – 1074.
- Dent, F.J. 1993. Toward a standard methodology for the collection and analysis of land degradation data proposal for discussion. Seminar at Expert Consultation of the Asian Network on Problem Soil. Bangkok. Thailand.
- Departemen Kesehatan 1989. Surat Keputusan Dirjen Pengawasan Obat dan Makanan no: 03725/BISK/VII/89 tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Pada Makanan.
- Dewi, D.S. 2004. Remediasi Unsur Cd dan Pb Tanah pada Lahan Pertanian serta Pengaruh Residunya terhadap Serapan Tanaman Bayam (*Amaranthus sp.*). [Tesis]. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Dudka, S., M. Piotrowska and H. Terelak 1996. Transfer of Cadmium, Lead, and Zinc from industrially contaminated soil to crop plants: a field study. *Environmental Pollution*. 94 (2):181-188.
- Eco-USA Search 1999. cadmium. <http://www.eco.usa.net/toxics/cadmium.html>
- Environmental Protection Agency 2000. Cadmium and Coumpound <http://www.epa.gov/ttnuatw1/hlthef/cadmium.html>
- Fakultas Pertanian UGM. 1991. Penelitian dan Pemanfaatan Tanah Tingkat Tinjau Mendalam untuk Perencanaan Pengembangan Pemanfaatan Air Tanah di Kabupaten Purwakarta dan Subang, Jawa Barat. Fakultas Pertanian – UGM. Yogyakarta.
- Ferguson, J.E. 1991. *The Heavy Elements; Chemistry, Environmental Impact and Health Effects*. Pergamon Press. London.
- Fitter A.H. dan R.K.M. Hay 1991. Fisiologi Lingkungan Tanaman. Sri Andayani dan Purbayanti [Penerjemah]; Srigandono [Editor]. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Foth, H.D. 1980. *Soil Geography and Land Use*. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Haider, S.Z., K.M.A. Malik, M.M. Rahman and M. Ali. 1984. Pollution control by water hyacinth. *In* Proceeding of International Conference on Water Hyacinth.: 7 -11 February 1984. United Nation Environment Programme. Hyderabad. pp 627 – 633.
- Hardjowigeno, S. dan Widiatmaka 2001. Kesesuaian Lahan dan Perencanaan Tataguna Tanah. Jurusan Tanah. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Hart, B.T. 1982. Australian Water Quality Criteria for Heavy Metals. Australian Government Publishing Service. Canberra
- Haryono, S. Sutono, Sudirman dan U. Kurnia. 2001. Rehabilitasi tanah tercemar logam berat limbah industri / pertambangan. Laporan Akhir. Bagian Proyek Penelitian Sumberdaya Lahan dan Agroklimat (BP2SLA), No.17d / Puslitbangtanak/2001. Puslitbangtanak. Bogor.
- Hasegawa, I. 2002. Phytoremediation a novel strategy for removing toxic heavy metals for contaminated soils using plants. Farming Japan. 36 (6): 10 -15.
- Heryando dan Palar. 1994. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Rineka Cipta. Jakarta.
- Hockin, S.L. and G.M. Gaad 2003. Linked redox precipitation of sulfur and selenium under anaerobic conditions by sulfate-reducing bacterial biofilms. Applied and Environmental Microbiology. 69(12): 7063 - 7072.
- Holt, J.G., N.R. Krieg, P.H.A. Sneath, J.T. Staley and S. T. Williams. 1993. Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. Williams & Wilkins. Baltimore. USA.
- Jorgensen, E.S., and I. Johnsen. 1981. Principle of Environmental Science and Technology. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam.
- Kantor Menteri Negeri Lingkungan Hidup. 1995. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: Kep-51/MENLH/10/1995, tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri. Jakarta.
- Kelafant G. 1988. Lead SRP <http://www.occenvmed.net/eshsg/leadsdhh.htm>.
- Kurnia, U., D. Erfandi, S. Sutono, dan H. Kusnadi. 2003. Penelitian rehabilitasi dan reklamasi tanah sawah tercemar limbah industri tekstil di Kabupaten Bandung. Laporan Akhir. Bagian Proyek Penelitian Sumberdaya Tanah dan Proyek Pengkajian Teknologi Pertanian Partisipatif dengan Dinas Lingkungan Hidup Pemerintah Daerah Kabupaten Bandung. Balai Penelitian Tanah Puslitbangtanak. Bogor.
- Kurniawan, T. 2004. Imobilisasi Pb menggunakan *Desulfotomaculum orientis* ICBB 1220 dan 1204 dalam Media Kompos. [Skripsi]. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Lasat, M.M. 2002. Phytoextraction of toxic metals: A review of biological mechanisms. Environ. Qual. 31 (January-February):109-120.
- Leeper, G. W. 1978. Managing the Heavy Metals in the Land. Marcel Decker. Inc. New York.

- Lina F.D. 2004. Imobilisasi Logam Berat Kromium pada Berbagai Konsentrasi Sulfat dengan *Desulfotomaculum orientis* ICBB 1204. [Skripsi]. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Linder, M.C. 1992. Biokimia Nutrisi dan Metabolisme. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Liu, X., C.E. Bagwell, L. Wu, A.H. Devol, and J. Zhou. 2003. Molekuler diversity of sulfate-reducing bacteria from two different continental margin habitats. *Applied and Environmental Microbiology*. 69 (10): 6073 – 6081.
- Lukito, A.M. 2001. Tanaman Air. Agro Media Pustaka. Jakarta.
- Manahan, S.E. 1992. Toxicological Chemistry 2nd Ed. Lewis Publisher. Tokyo
- Mengel, K. and E. Kirby. 1987. Principles of Plant Nutrition. International Potash Inst. Bern Switzerland
- Ming, D.W. and D.L. Henninger. 1989. Lunar Base Agriculture: Soils for plant growth. American Society of Agronomy, Inc. Wisconsin.
- Ming, D.W. and F.A. Mumpton. 1984. Zeolites and soils, *in* Mineral in Soil Environments. 2nd Ed, Soil Science of America. USA.
- Mulyadi, Sukristyonubowo, Heryadi dan D Santoso. 1995. Pengaruh bahan organik dan pupuk N, P, dan K terhadap produktivitas lahan kering beriklim kering. Risalah Seminar Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor. 2: 63 – 66.
- Nasution I., M. Al Jabri dan A. Wihardjaka 2003. Identifikasi pencemaran logam berat pada tanaman padi sawah di DAS Bengawan Solo. *Didalam* Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Lingkungan Pertanian Buku I ; Kumpulan Makalah. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat dan Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret. Surakarta.hal. 213 - 229.
- Notohadiprawiro, T. 1999. Tanah dan Lingkungan. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Jakarta.
- Odum, E.P. 1971. Fundamental of Ecology. W.B. Saunders Co. Ltd. Philadelphia.
- Ohkawa, H. 2002. Strategies for transgenic plants reducing contamination of environmental chemicals. *Farming Japan* 36 (6): 22-27
- Oldeman, L.R. 1994. The global extent of soil degradation in soil resilience and sustainable land use. *In* Proceedings of a Symposium held in Budapest, 28 September to 2 October 1992, including the Second Workshop on the Ecological Foundations of Sustainable Agriculture (WEFSA II). CAB International. pp. 99 – 118.

- Pais, I. and J.B. Jones. 1997. *The Handbook of Trace Elements*. St. Lucia Press. Florida.
- Pendias, A.K. and H. Pendias. 2000. *Trace Elements in Soil and Plants*, 2th Ed. CRC Press, London.
- Poniman, P. Ali, Mulyadi, dan A. Wihardjaka. 2003. Upaya peningkatan produktivitas lahan melalui pengelolaan bahan organik *Didalam* Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Lingkungan Pertanian. Buku II: Kumpulan Poster. Surakarta, 21 Oktober 2003. Kerjasama Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat dengan Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret. Surakarta. hal. 530-542.
- Prasad M.N.V dan H.M.O. Freitas, 2003. Metal Hyperaccumulation in plants – Biodiversity Prospecting for Phytoremediation Technology. *Electronic Journal of Biotechnology*. 6 (3).
<http://www.ejbiotechnology.info/content/vol6/issue3/full/6/index.html>.
- Ramadhi, T.K. 2002. Identifikasi Pencemaran Lahan Sawah Akibat Limbah Industri Tekstil (Studi Kasus di Kecamatan Rancaekek, Kabupaten Bandung), Laporan Praktek Kerja Lapang. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Ratnaningsih, A. 2001. Pengaruh Kadmium terhadap Gangguan Patologik pada Hati dan Ginjal Tikus Percobaan. [Tesis]. Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Rustiawan, A. 1994. Kandungan Logam Berat Timah Hitam pada Komoditi Buah-buahan dan Sayuran di wilayah DKI Jakarta. [Tesis]. Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Saeni, M.S. 1997. Penentuan Tingkat Pencemaran Logam Berat dengan Analisis Rambut. Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap Ilmu Kimia Lingkungan FMIPA Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Saeni, M. S. 2002. Kimia Logam Berat. Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Saeni, M.S. dan H. R. Wuryandari 1997. Pencemaran Pb, Cd, dan Cu dalam kangkung, bayam dan air terhadap pencemaran dalam rambut di Kotamadya Bogor. *Buletin Kimia*. 12 : 55 – 65.
- Saida. 2001. Karakterisasi dan Uji Aktivitas Isolat Bakteri Pereduksi Sulfat asal Ekosistem Air Hitam Kalimantan Tengah. [Tesis]. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Santosa, D. A. 2003. Bioteknologi penambangan minyak bumi. Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Santoso, B. 1993. Tanah Salin-Tanah Sodik dan Cara Mereklamasinya. Jurusan Tanah. Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang
- Santoso, S. 2004. Kemampuan *Candida sp.* ICBB 1167 dan *Pseudomonas sp.* ICBB 1170 dalam Mendegradasi Fenol pada Limbah Industri Tekstil. [Skripsi]. Program Studi Ilmu Tanah. Departemen Tanah. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sarief, S. 1986. Kesuburan dan Pemupukan Tanah Pertanian. Pustaka Buana. Bandung.
- Sastiono, A. 1993. Perilaku Mineral Zeolit dan Pengaruhnya terhadap Perkembangan Tanah. [Disertasi]. Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Schlegel, H.G. dan K. Schmidt. 1994. Mikrobiologi Umum. R.M.T. Baskoro [Penerjemah]. Terjemahan dari Allgemeine Mikrobiologie. Gajah Mada University Press. Yogyakarta
- Sitorus, S.R.P. 2000. Bahan Kuliah Pengelolaan Sumberdaya Lahan. Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Slamet, Y.S. 1996. Kesehatan Lingkungan. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Soemarwoto, O. 1998. Dampak Lingkungan terhadap Kesehatan dalam Manusia, Kesehatan dan Lingkungan, Kualitas Hidup dalam Perspektif Perubahan Lingkungan Global. Penerbit Alumni. Bandung.
- Soepardi, G. 1983. Sifat dan Ciri Tanah. Jurusan Tanah. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Stevenson, F. J. 1982. Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reaction. John Wiley and Sons. New York.
- Sudirdja. 1989. Evaluasi Pengaruh Air Buangan Tekstil terhadap Kualitas Tanah, Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Padi Sawah, serta Beberapa Serapan Logam Berat. [Tesis]. UNPAD. Bandung
- Suganda, H., D. Setyorini, H. Kusnadi, I. Saripin dan U. Kurnia. 2002. Evaluasi pencemaran limbah industri untuk kelestarian sumberdaya lahan sawah. Laporan Kemajuan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor.
- Suhartatik. E., P. H. Soetjipto, dan H. Taslim. 1993. Pemberian pupuk nitrogen dan pupuk organik pada padi sawah. *Didalam* Perahi dan Pengembangan Teknologi Usahatani Tanaman Pangan. Puslitbangtan. Bogor. hal. 347 – 357.

- Suhendrayatna, 2001. Bioremoval logam berat dengan menggunakan mikroorganisme: suatu kajian kepustakaan. Japan: ISTECS. hal. 1-9.
- Sutono, S., Y. Hadian, H. Kusnadi, dan A. Abdurachman 2000. Perubahan sifat kimia tanah sawah dan kualitas hasil tanaman akibat air limbah industri tekstil. *Didalam* Prosiding Seminar Nasional Reorientasi Pendayagunaan Sumberdaya Tanah, Iklim dan Pupuk. Cipayung-Bogor, 31 Oktober – 2 November 2000. Puslitbangtanak. Bogor. hal. 163-187.
- Suyase, I.W.B. 2002. Peningkatan pH dan Pengendapan Logam Berat terlarut Air Asam Tambang (AAT) dengan Bakteri Pereduksi Sulfat dari Ekosistem Air Hitam Kalimantan Tengah. [Disertasi]. Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Tan, K.H. 1991. Dasar-Dasar Kimia Tanah. D. H. Goenadi [Penerjemah]; B. Radjaguguk [Editor]. Gadjah Mada Univ. Press. Yogyakarta.
- Tan, K.H. 2000. Environmental Soil Science. Marcel Dekker Inc. New York
- Tala'ohu, S.H., Yusrial dan F. Agus. 2000. Pengaruh zeolit dan pupuk kandang terhadap peningkatan dan pencucian Plumbum (Pb), Cadmium (Cd) serta Kalium (K) pada Inceptisols Samarang dan Cianjur, Jawa Barat. *Didalam* Prosiding Seminar Nasional Reorientasi Pendayagunaan Sumberdaya Tanah, Iklim dan Pupuk. Cipayung-Bogor, 31 Oktober – 2 November 2000. Puslitbangtanak. Bogor. Hal. 31-52.
- Talkurputra, N.D. dan R.T.M. Sutamihardja. 1978. Pencemaran air oleh industri tekstil di Indonesia. Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan. Laporan Penelitian. Program Pascasarjana. IPB Bogor.
- W.H.O. 1996. Trace Element in Human Nutrition and Health. Geneva.
- W.H.O. 2003. Lead Poisoning Overview. [http://www.leadpoisonnet/treat/overview. Htm](http://www.leadpoisonnet/treat/overview.htm).
- Widyastuti, E., R. Rosarastuti dan J. Syamsiyah 2003. Pengaruh macam bahan organik terhadap kelarutan dan kadar Cr tanaman jagung (*Zea mays L.*) di tanah Entisol yang tercemar limbah cair industri tekstil batik *Didalam* Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Lingkungan Pertanian Buku I : Kumpulan Makalah. Surakarta. 21 Oktober 2003. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat dan Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret. Surakarta. Hal. 335 – 350.
- Yaron, B., R. Calvet and R. Prost, 1996. Soil Pollution, Processes and Dynamics. Springer. New York.
- Zhu, Y.L., A.M. Zayed, J.H.Qian, M. Saousa, and N. Terry. 1999. Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: water hyacinth. *Journal Environment Quality* 28:338-344.

**Zulfahmi 1996. Model Reklamasi Lahan Pasca Penambangan Pasir dan Batu.
Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknik Mineral. Badan Penelitian dan
Pengembangan Energi dan Sumberdaya Mineral. Bandung.**

Universitas Terbuka

Lampiran 1. Persiapan Percobaan di Rumah Kaca



Gambar inkubasi bahan organik dalam tanah pada percobaan di rumah kaca



Gambar inkubasi bakteri dalam tanah pada percobaan di rumah kaca

Lampiran 2. Komposisi Media Cair Postgate B

Nama Media	Komposisi Per liter	Dosis
Media cair postgate B (Atlas, 1993)	Natrium laktat	3,5 g
	MgSO ₄ .7H ₂ O	2,0 g
	NH ₄ Cl	0,2 g
	KH ₂ PO ₄	0,5 g
	CaSO ₄	0,2 g
	FeSO ₄ .7H ₂ O	0,5 g
	Yeast extract	1,0 g
	Asam askorbat	0,1 g

Lampiran 3. Hasil Analisis Kandungan Natrium pada Air Irigasi yang telah Disaring

No	Jenis Perlakuan*	Komposisi	Kandungan Na (ppm)	
			Sebelum Disaring	Setelah Disaring
1	Kerikil + pasir hitam + zeolit + ijuk	1:1:1/2:1/2	1098	927
2	Kerikil + pasir hitam + ijuk	1:1:1/2	1098	1073
3	Kerikil + pasir putih + zeolit + ijuk	1:1:1/2:1/2	1098	780
4	Zeolit + kerikil + pasir putih + ijuk	1:1:1:1	1098	659
5	Zeolit + pasir putih	1:1	1098	622
6	Ijuk + pasir putih	2:1	1098	750
7	Ijuk + pasir putih + arang	2:1:1	1098	787
8	Zeolit + pasir putih cuci + Ijuk	1:1:1	1098	677
9	zeolit		1098	695

* = dianalisis di Laboratorium Puslitanak pada tanggal 15 dan 24 Juli 2003.

Lampiran 4. Sistem Penyaringan Air Sungai Cikijing



Gambar kolam penampung air aliran Sungai Cikijing pada percobaan di lapang



Gambar kolam penyaringan dengan menggunakan pasir putih dan zeolit



Gambar kolam penampung air saringan

Lampiran 5. Petak Percobaan di Lapang



Gambar petak percobaan di lapang ukuran 4 x 5 meter

Lampiran 6. Prosedur Analisis Kadar Pb, Cd dan Cr

1. Pengukuran Timbal

Alat-alat

Atomic Absorption Spectrophotometer dengan bahan bakar acetylene – udara atau nitrous oxide.

Pereaksi

Larutan standard 50 ppm Pb. Dipipet 5 ml larutan standard 1000 ppm Pb kedalam labu ukur 100 ml. Diencerkan dengan air murni sampai tanda garis 100 ml. Larutan standard 1000 ppm Pb dibuat dari larutan standard “Titrisol”.

Cara kerja

Contoh air yang disediakan dalam tabung reaksi diukur dengan *Atomic Absorption Spectrophotometer* dengan deret standard Pb sebagai pembanding.

Alat AAS dipasang untuk pengukuran Pb dan setelah dikalibrasi dengan deret standard yang telah disediakan lalu diukur contoh. Pembacaan standard dan contoh dicatat. Setiap 10 pengukuran alat dikalibrasi kembali dengan standard nol.

Menyediakan deret standard

Disediakan 6 buah tabung reaksi dan masing-masing diisi dengan 0, 1, 2, 3, 4, dan 5 ml larutan standard 50 ppm Pb. Semuanya diencerkan dengan air murni sampai masing-masing menjadi 10 ml. Dengan demikian deret standard ini berturut-turut mengandung : 0, 5, 10, 15, 20, 25 ppm Pb.

Cara menghitung:

Dibuat kurva standard kepekatan Pb (0 – 25 ppm) dan pembacaan *absorbance* Kepekatan Pb dalam contoh yang diukur dicari dalam kurva standard.

$$\text{Ppm Pb} = a$$

Dimana : a = ppm Pb dari kurva standard

2. Pengukuran Krom

Alat-alat

Atomic Absorption Spectrophotometer dengan bahan bakar acetylene – udara atau nirousoxide

Pereaksi

Larutan standard 20 ppm Cr. Dipipet 2 ml larutan standard 1000 ppm Cr ke dalam labu ukur 100 ml. Diencerkan dengan air murni samapi tanda garis 100 ml. Larutan standard 1000 ppm Cr dibuat dari larutan standard “Titrisol”.

Cara kerja:

Contoh air diukur dengan *Atomic Absorption Spectrophotometer* yang telah dikalibrasi dengan larutan deret standard Cr. Setiap 10 pengukuran alat dikalibrasi kembali dengan standard nol. Pembacaan standard dan contoh dicatat.

Menyediakan deret standard :

Kedalam 6 buah tabung reaksi berturut-turut diisi : 0, 1, 2, 3, 4, dan 5 ml larutan standard 20 ppm Cr. Semuanya diencerkan dengan air murni sampai masing-masing menjadi 10 ml. Deret standard ini berturut-turut mengandung: 0, 2,4,6,8 dan 10 ppm Cr.

Cara menghitung

Dibuat kurva standard dengan kepekatan Cr (0 – 10 ppm) dan pembacaan *absorbance*. Kepekatan Cr dalam contoh yang diukur dicari dalam kurva standard.

$$\text{Ppm Cr} = a$$

Dimana : a = ppm Cr dari kurva standard.

3. Pengukuran Cadmium

Alat – alat

Atomic Absorption Spectrophotometer dengan bahan bakar acetylene – udara atau nirousoxide

Pereaksi

Larutan standard 20 ppm Cd. Kedalam labu ukur 100 ml dipipet 2 ml larutan standard 1000 ppm Cd. Diencerkan dengan air murni sampai tanda garis 100 ml. Larutan standard 1000 ppm Cd dibuat dari larutan standard “Titrisol”

Cara kerja

Contoh air diukur dengan *Atomic Absorption Spectrophotometer* yang telah dikalibrasi dengan deret standard Cd yang telah disediakan. Setiap 10 pengukuran alat dikalibrasi kembali dengan larutan standard nol. Pembacaan standard dan contoh dicatat.

Menyediakan deret standard :

Kedalam 6 buah tabung reaksi berturut-turut diisi oleh ; 0, 1,2,3,4 dan 5 ml larutan standard 20 ppm Cd. Diencerkan masing-masing dengan air murni sampai menjadi 10 ml. Deret standard ini berturut-turut mengandung : 0, 2, 4, 6, 8 dan 10 ppm Cd.

Cara menghitung

Dibuat kurva standard dengan kepekatan Cd (0 – 10 ppm) dan pembacaan *absorbance*. Kepekatan Cd dalam contoh yang diukur dicari dalam kurva standard.

$$\text{Ppm Cd} = a$$

Dimana : a = ppm Cd dari kurva standard

Lampiran 7. Hasil Analisis Sidik Ragam Serapan Pb, Cd dan Cr dalam Akar pada Percobaan Penggunaan Vegetasi di Rumah Kaca

	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Pb	Ulang	1	0,03484455	0,03484455	1,18	0,3098
	Vegetasi	3	0,60983702	0,20327901	6,86	0,0133
	Vg*Ulang	3	0,01247465	0,04158217	1,40	0,3111
	Galat (b)	8	0,23710290	0,02963786	-	-
	Total	15	1,00653097			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cd	Ulang	1	0,00001656	0,00001656	0,02	0,8790
	Vegetasi	3	0,03437421	0,01145807	17,08	0,0008
	Vg*Ulang	3	0,00669322	0,00223107	3,33	0,0773
	Galat (b)	8	0,00536695	0,00067087	-	-
	Total	15	0,04645094			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cr	Ulang	1	0,01090912	0,01090912	0,28	0,6131
	Vegetasi	3	0,69953285	0,23317762	5,92	0,0199
	Vg*Ulang	3	0,01508895	0,00502965	0,13	0,9410
	Galat (b)	8	0,31527205	0,03940901	-	-
	Total	15	1,04080297			

Lampiran 8. Hasil Analisis Sidik Ragam Serapan Pb, Cd dan Cr dalam Daun pada Percobaan Penggunaan Vegetasi di Rumah Kaca

	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Pb	Ulang	1	0,00064298	0,00064298	0,02	0,9030
	Vegetasi	3	1,94862640	0,64954213	15,99	0,0010
	Vg*Ulang	3	0,06797509	0,02265836	0,56	0,6575
	Galat (b)	8	0,32499860	0,04062482	-	-
	Total	15	2,34224307			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cd	Ulang	1	0,00127201	0,00127201	1,65	0,2343
	Vegetasi	3	0,02532315	0,00844105	10,98	0,0033
	Vg*Ulang	3	0,00711957	0,00237319	3,09	0,0899
	Galat (b)	8	0,00614881	0,00076860	-	-
	Total	15	0,03986354			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cr	Ulang	1	0,00001892	0,00001892	1,60	0,2418
	Vegetasi	3	1,25704504	0,41901501	35387,91	0,0001
	Vg*Ulang	3	0,00001324	0,00000441	0,37	0,7751
	Galat (b)	8	0,00009473	0,00001184	-	-
	Total	15	1,25717192			

Lampiran 9. Hasil Analisis Sidik Ragam Pb, Cd dan Cr ekstrak CH₃COOH pada Percobaan Penggunaan Bahan Organik di Rumah Kaca

	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Pb	Kelompok	2	0,12026000	0,06013000	1,03	0,3802
	Pencuci	1	0,51745333	0,51745333	8,85	0,0090
	Galat (a)	2	0,47844667	0,23922333	-	-
	B.O.	4	5,63152000	1,40788000	24,07	0,0001
	Pencuci*B.O.	4	0,42941333	0,10735333	1,84	0,1715
	Galat (b)	16	0,93602667	0,05850167	-	-
		29	8,11312000			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cd	Kelompok	2	0,01250667	0,00625333	2,11	0,1531
	Pencuci	1	0,00056333	0,00056333	0,19	0,6683
	Galat (a)	2	0,01418667	0,00709333	-	-
	B.O.	4	0,05778000	0,01444500	4,89	0,0091
	Pencuci*B.O.	4	0,01435333	0,00358833	1,21	0,3436
	Galat (b)	16	0,04730667	0,04730667	-	-
		29	0,14669667			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cr	Kelompok	2	0,10008667	0,05004333	2,26	0,1369
	Pencuci	1	0,00001333	0,00001333	0,00	0,9807
	Galat (a)	2	0,00008667	0,00004333	-	-
	B.O.	4	0,19133333	0,04783333	2,16	0,1206
	Pencuci*B.O.	4	0,00025333	0,00006333	0,00	1,0000
	Galat (b)	16	0,35469333	0,02216833	-	-
		29	0,64646667			

Lampiran 10. Hasil Analisis Sidik Ragam Serapan Pb, Cd dan Cr di Akar pada Percobaan Penggunaan Bahan Organik di Rumah Kaca

	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Pb	Kelompok	2	0,00024233	0,00012116	0,75	0,4880
	Pencuci	1	0,00230388	0,00230388	14,27	0,0016
	Galat (a)	2	0,00267110	0,00133555	-	-
	B.O.	4	0,01348042	0,00337011	20,88	0,0001
	Pencuci*B.O.	4	0,00060955	0,00015239	0,94	0,4640
	Galat (b)	16	0,00258262	0,00016141	-	-
		29	0,02188991			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cd	Kelompok	2	0,00000446	0,00000223	0,92	0,4196
	Pencuci	1	0,00003853	0,00003853	15,85	0,0011
	Galat (a)	2	0,00003842	0,00001921	-	-
	B.O.	4	0,00004678	0,00001169	4,81	0,0097
	Pencuci*B.O.	4	0,00001101	0,00000275	1,13	0,3766
	Galat (b)	16	0,00003891	0,00000243	-	-
		29	0,00017811			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cr	Kelompok	2	0,00078469	0,00039235	0,98	0,3960
	Pencuci	1	0,00190403	0,00190403	4,77	0,0443
	Galat (a)	2	0,00417874	0,00208937	-	-
	B.O.	4	0,03495564	0,00873891	21,87	0,0001
	Pencuci*B.O.	4	0,00063444	0,00015861	0,40	0,8079
	Galat (b)	16	0,00639224	0,00039952	-	-
		29	0,04884979			

Lampiran 11. Hasil Analisis Sidik Ragam Serapan Pb, Cd dan Cr di Jerami pada Percobaan Penggunaan Bahan Organik di Rumah Kaca

	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Pb	Kelompok	2	0,0244681	0,0122341	2,01	0,1660
	Pencuci	1	0,1901325	0,1901325	31,29	0,0001
	Galat (a)	2	0,0537210	0,0268605	-	-
	B.O.	4	0,3409878	0,0852469	14,03	0,0001
	Pencuci*B.O.	4	0,0446471	0,0111618	1,84	0,1712
	Galat (b)	16	0,0972384	0,0060774		
		29				
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cd	Kelompok	2	0,0000035	0,0000001	17,30	0,0001
	Pencuci	1	0,0000141	0,0000141	139,48	0,0001
	Galat (a)	2	0,0000051	0,0000025		
	B.O.	4	0,0000008	0,0000002	2,10	0,1285
	Pencuci*B.O.	4	0,0000005	0,0000001	1,18	0,3575
	Galat (b)	16	0,0000016	0,0000001		
		29	0,0000257			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cr	Kelompok	2	0,0132965	0,0066483	2,14	0,1504
	Pencuci	1	0,0016133	0,0016133	0,52	0,4818
	Galat (a)	2	0,0063637	0,0031818		
	B.O.	4	0,1336979	0,0334245	10,75	0,0002
	Pencuci*B.O.	4	0,0317809	0,0079452	2,55	0,0792
	Galat (b)	16	0,0497678	0,0031105		
		29				

Lampiran 12. Hasil Analisis Sidik Ragam Kadar Pb, Cd dan Cr ekstrak CH₃COOH pada Percobaan Penggunaan Bahan Organik di Lapang

	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Pb	Kelompok	1	0,051176844	0,051176844	2.14	0.1815
	Pencuci	1	0,127408684	0,127408684	5.33	0.0497
	Galat (a)	1	0,127121512	0,127121512	-	-
	B.O.	4	0,094535403	0,023633855	0.99	0.4657
	Pencuci*B.O.	4	0,035480033	0,008870008	0.37	0.8230
	Galat (b)	8	19.11275080	0,0238909385	-	-
		19	0,626849985			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cd	Kelompok	1	0,01240020	0,01240020	1,12	0,3205
	Pencuci	1	0,01240020	0,01240020	1,12	0,3205
	Galat (a)	1	0,11796480	0,11796480	-	-
	B.O.	4	0,03792880	0,00948220	0,86	0,5280
	Pencuci*B.O.	4	0,03792880	0,00948220	0,86	0,5280
	Galat (b)	8	0,08845200	0,01105650	-	-
		19	0,30707480			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cr	Kelompok	2	0,16200000	0,16200000	6,00	0,0400
	Pencuci	1	0,16200000	0,16200000	6,00	0,0400
	Galat (a)	2	0,16200000	0,16200000	-	-
	B.O.	4	0,10800000	0,02700000	1,00	0,4609
	Pencuci*B.O.	4	0,10800000	0,02700000	1,00	0,4609
	Galat (b)	8	0,21600000	0,02700000	-	-
		19	0,91800000			

Lampiran 13. Hasil Analisis Sidik Ragam Serapan Pb, Cd dan Cr di Akar pada Percobaan Penggunaan Bahan Organik di Lapangan

	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Pb	Kelompok	1	0,00142298	0,00142298	1,58	0,2436
	Pencuci	1	0,00354145	0,00354145	3,94	0,0823
	Galat (a)	1	0,00009955	0,00009955	-	-
	B.O.	4	0,00819241	0,00204810	2,28	0,1492
	Pencuci*B.O.	4	0,00432932	0,00108233	1,21	0,3796
	Galat (b)	8	0,0078488	0,00089811	-	-
		19	0,02477059			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cd	Kelompok	1	0,00000115	0,00000115	8,90	0,0175
	Pencuci	1	0,00000166	0,00000166	12,81	0,0072
	Galat (a)	1	0,00000000	0,00000000	-	-
	B.O.	4	0,00000145	0,00000036	2,79	0,1010
	Pencuci*B.O.	4	0,00000106	0,00000026	2,05	0,1805
	Galat (b)	8	0,00000103	0,00000013	-	-
		29	0,00000635			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cr	Kelompok	1	0,00188957	0,00188957	0,35	0,5724
	Pencuci	1	0,00739941	0,00739941	1,36	0,2774
	Galat (a)	1	0,00172597	0,00172597	-	-
	B.O.	4	0,04152648	0,01038162	1,90	0,2033
	Pencuci*B.O.	4	0,01169127	0,00292281	0,54	0,7139
	Galat (b)	8	0,04363055	0,00545382	-	-
		19	0,10786352			

Lampiran 14. Hasil Analisis Sidik Ragam Serapan Pb, Cd dan Cr dalam Jerami pada Percobaan Penggunaan Bahan Organik di Lapangan

	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Pb	Kelompok	1	0,00152985	0,00152985	2,06	0,1895
	Pencuci	1	0,00349220	0,00349220	4,69	0,0622
	Galat (a)	1	0,00236053	0,00236053	-	-
	B.O.	4	0,00885425	0,00221356	2,98	0,0886
	Pencuci*B.O.	4	0,00252947	0,00063237	0,85	0,5319
	Galat (b)	8	0,00595241	0,00074405	-	-
		19	0,02471871			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cd	Kelompok	1	0,00000010	0,00000010	0,69	0,4318
	Pencuci	1	0,00000769	0,00000769	53,76	0,0001
	Galat (a)	1	0,00000010	0,00000010	-	-
	B.O.	4	0,00000209	0,00000052	3,65	0,0561
	Pencuci*B.O.	4	0,00000058	0,00000015	1,02	0,4533
	Galat (b)	8	0,00000114	0,00000014	-	-
		19	0,00001170			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cr	Kelompok	1	0,00984348	0,00984348	10,16	0,0128
	Pencuci	1	0,00464210	0,00464210	4,79	0,0600
	Galat (a)	1	0,00070448	0,00070448	-	-
	B.O.	4	0,01388403	0,00347101	3,58	0,0587
	Pencuci*B.O.	4	0,00241454	0,00060364	0,62	0,6591
	Galat (b)	8	0,00774990	0,00096874	-	-
		19	0,03923855			

Lampiran 15. Hasil Analisis Sidik Ragam Kadar Pb, Cd dan Cr ekstrak CH₄COOH pada Percobaan Inokulasi Bakteri di Rumah Kaca

	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Pb	Kelompok	2	0,02250000	0,01125000	0,23	0,8002
	Pencuci	1	0,36125000	0,36125000	7,36	0,0265
	Galat (a)	2	0,06790000	0,03395000	-	-
	B.T.	2	1,08173333	0,54086667	11,02	0,0050
	Pencuci*B.T.	2	0,17653333	0,08826667	1,80	0,2265
	Galat (b)	8	0,39273333	0,04909167	-	-
		17	2,10265000			
Cd	Kelompok	2	0,00287778	0,00143889	0,91	0,4398
	Pencuci	1	0,00180000	0,00180000	1,14	0,3166
	Galat (a)	2	0,00503333	0,00251667	-	-
	B.T.	2	0,09714444	0,04857222	30,79	0,0002
	Pencuci*B.T.	2	0,00323333	0,00161667	1,02	0,4016
	Galat (b)	8	0,01262222	0,00157778	-	-
		17	0,12271111			
Cr	Kelompok	2	0,04000000	0,02000000	0,97	0,4190
	Pencuci	1	0,02205000	0,02205000	1,07	0,3309
	Galat (a)	2	0,03613333	0,01806667	-	-
	B.T.	2	1,24000000	0,62000000	30,12	0,0002
	Pencuci*B.T.	2	0,04000000	0,02000000	0,97	0,4190
	Galat (b)	8	0,16466667	0,02058333	-	-
		17	1,54285000			

Lampiran 16. Hasil Analisis Sidik Ragam Serapan Pb, Cd dan Cr di Akar pada Percobaan Inokulasi Bakteri di Rumah Kaca

	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Pb	Kelompok	2	0,00020208	0,00010104	0,40	0,6843
	Pencuci	1	0,00320800	0,00320800	12,63	0,0075
	Galat (a)	2	0,00100117	0,0050059	-	-
	B.T.	2	0,00123361	0,00061680	2,43	0,1499
	Pencuci*B.T.	2	0,00136050	0,00068025	2,68	0,1287
	Galat (b)	8	0,00203151	0,00025394	-	-
		17	0,00903689			
Cd	Kelompok	2	0,00000623	0,00000312	0,80	0,4822
	Pencuci	1	0,00006161	0,00006161	15,81	0,0041
	Galat (a)	2	0,0000219	0,0000110	0,-	-
	B.T.	2	0,00002396	0,00001198	3,08	0,1021
	Pencuci*B.T.	2	0,00000028	0,00000014	0,04	0,9649
	Galat (b)	8	0,00003117	0,00000390	-	-
		17	0,00012544			
Cr	Kelompok	2	0,00045757	0,00022878	0,46	0,6442
	Pencuci	1	0,00660484	0,00660484	13,42	0,0064
	Galat (a)	2	0,00310275	0,00155138	-	-
	B.T.	2	0,02370670	0,01185335	24,08	0,0004
	Pencuci*B.T.	2	0,00123187	0,00061594	1,25	0,3366
	Galat (b)	8	0,00393721	0,00049215	-	-
		17	0,03904094			

Lampiran 17. Hasil Analisis Sidik Ragam Serapan Pb, Cd dan Cr di Jerami pada Percobaan Inokulasi Bakteri di Rumah Kaca

	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Pb	Kelompok	2	0,12708389	0,06354194	1,69	0,2451
	Pencuci	1	1,39935297	1,39935297	37,11	0,0003
	Galat (a)	2	0,06154332	0,03077166	-	-
	B.T.	2	0,31769953	0,15884976	4,21	0,0563
	Pencuci*B.T.	2	0,02020268	0,01010134	0,27	0,7716
	Galat (b)	8	0,30166356	0,03770795	-	-
		17	2,22754595			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cd	Kelompok	2	0,00025077	0,00012538	1,50	0,2804
	Pencuci	1	0,00310998	0,00310998	37,13	0,0003
	Galat (a)	2	0,00010678	0,00005339	-	-
	B.T.	2	0,00036894	0,00018447	2,20	0,1730
	Pencuci*B.T.	2	0,00084945	0,00042472	5,07	0,0378
	Galat (b)	8	0,00067014	0,00008377	-	-
		17	0,00535606			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cr	Kelompok	2	0,00973156	0,00486578	0,73	0,5127
	Pencuci	1	0,12595180	0,12595180	18,82	0,0025
	Galat (a)	2	0,00529399	0,00264699	-	-
	B.T.	2	0,15214719	0,07607359	11,37	0,0046
	Pencuci*B.T.	2	0,02212286	0,01106143	1,65	0,2507
	Galat (b)	8	0,05353855	0,00669232	-	-
		17	0,30878597			

Lampiran 18. Hasil Analisis Sidik Ragam Kadar Pb, Cd dan Cr ekstrak CH₄COOH pada Percobaan Inokulasi Bakteri di Lapang

	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Pb	Kelompok	1	0,66084301	0,66084301	23.78	0.0396
	Pencuci	1	0,23230901	0,23230901	8.36	0.1017
	Galat (a)	1	0,02617261	0,02617261	-	-
	B.T.	1	0,65685001	0,65685001	23.64	0.0398
	Pencuci*B.T.	1	0,65685001	0,65685001	23.64	0.0398
	Galat (b)	2	0,05557702	0,02778851	-	-
		7	2,288601687			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cd	Kelompok	1	0.00348612	0.00348612	0,07	0,8125
	Pencuci	1	0.00348613	0.00348613	0,07	0,8125
	Galat (a)	1	0.00348613	0.00348613	-	-
	B.T.	1	0.00348612	0.00348612	0,07	0,8125
	Pencuci*B.T.	1	0.00348613	0.00348613	0,07	0,8125
	Galat (b)	2	0.09572125	0.04786063	-	-
		7	0.11315188			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cr	Kelompok	1	0.04500000	0.04500000	1,0	0,4221
	Pencuci	1	0.04500000	0.04500000	1,0	0,4221
	Galat (a)	1	0.04500000	0.04500000	-	-
	B.T.	1	0.04500000	0.04500000	1,0	0,4221
	Pencuci*B.T.	1	0.04500000	0.04500000	1,0	0,4221
	Galat (b)	2	0.09000000	0.09000000	-	-
		7	0.31500000			

Lampiran 19. Hasil Analisis Sidik Ragam Serapan Pb, Cd dan Cr di Akar pada Percobaan Inokulasi Bakteri di Lapang

	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Pb	Kelompok	1	0,00548105	0,00548105	5,67	0,1401
	Pencuci	1	0,00638450	0,00638450	6,61	0,1238
	Galat (a)	1	0,00000288	0,00000288	-	-
	B.T.	1	0,00328860	0,00328860	3,40	0,2063
	Pencuci*B.T.	1	0,00187272	0,00187272	1,94	0,2984
	Galat (b)	2	0,00193213	-	-	-
		7	0,01896188			
	Sumber	db				
Cd	Kelompok	1	0,00000084	0,00000084	11,66	0,0761
	Pencuci	1	0,00000181	0,00000181	24,90	0,0379
	Galat (a)	1	0,00000008	0,00000008	-	-
	B.T.	1	0,00000050	0,00000050	6,90	0,1195
	Pencuci*B.T.	1	0,00000025	0,00000025	3,38	0,2074
	Galat (b)	2	0,00000014	0,00000007	-	-
		7	0,00000362			
	Sumber	db				
Cr	Kelompok	1	0,00437113	0,00437113	1,30	0,3728
	Pencuci	1	0,00614941	0,00614941	1,82	0,3093
	Galat (a)	1	0,00335380	0,00335380	-	-
	B.T.	1	0,00178802	0,00178802	0,53	0,5421
	Pencuci*B.T.	1	0,00221778	0,00221778	0,66	0,5024
	Galat (b)	2	0,00673946	0,00336973	-	-
		7	0,02461960			

Lampiran 20. Hasil Analisis Sidik Ragam Serapan Pb, Cd dan Cr di Jerami pada Percobaan Inokulasi Bakteri di Lapang

	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Pb	Kelompok	1	0,00094395	0,00094395	0,50	0,5530
	Pencuci	1	0,00257403	0,00257403	1,36	0,3640
	Galat (a)	1	0,00260815	0,00260815	-	-
	BT	1	0,00568711	0,00568711	3,00	0,2253
	Pencuci*BT	1	0,00168490	0,00168490	0,89	0,4452
	Galat (b)	2	0,00378876	0,00189438	-	-
		7	0,01734691			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cd	Kelompok	1	0,00000004	0,00000004	0,10	0,7776
	Pencuci	1	0,00000162	0,00000162	3,75	0,1926
	Galat (a)	1	0,00000000	0,00000000	-	-
	BT	1	0,00000024	0,00000024	0,57	0,5302
	Pencuci*BT	1	0,00000128	0,00000128	2,96	0,2275
	Galat (b)	2	0,00000086	0,00000043	-	-
		7	0,00000405			
	Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Cr	Kelompok	1	0,00012800	0,00012800	0,03	0,8706
	Pencuci	1	0,00016200	0,00016200	0,04	0,8547
	Galat (a)	1	0,00000000	0,00000000	-	-
	BT	1	0,00022684	0,00022684	0,06	0,8288
	Pencuci*BT	1	0,00006612	0,00006612	0,02	0,9066
	Galat (b)	2	0,00751257	0,00375629	-	-
		7	0,00809554			

Lampiran 21. Hasil Analisis Sidik Ragam Hasil Gabah pada Percobaan Penggunaan Bahan Organik di Rumah Kaca

Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Kelompok	2	1511,260486	755,6302433	29,42	0,0001
Pencuci	1	10853,57281	10853,57281	422,52	0,0001
Galat (a)	2	1368,030286	684,0514333	-	-
B.O.	4	56,94044667	14,23511167	0,55	0,6989
Pencuci*B.O.	4	108,4788866	27,11972167	1,06	0,4100
Galat (b)	16	410,9998266	25,68748917	-	-
	29	14309,28274			

Lampiran 22. Hasil Analisis Sidik Ragam Hasil Gabah pada Percobaan Inokulasi Bakteri di Rumah Kaca

Sumber	db	JK	KT	F hitung	T. Nyata
Kelompok	2	241,7752111	120,8876055	3,38	0,0861
Pencuci	1	4363,025422	4363,025422	122,15	0,0001
Galat (a)	2	410,8654111	205,4327055	-	-
B.O.	2	46,01674444	23,00837222	0,64	0,5503
Pencuci*B.O.	2	35,35121111	17,67560556	0,49	0,6272
Galat (b)	8	285,7523777	35,71904722	-	-
	19	5382,786377			

Lampiran 23. Macam – Macam Vegetasi pada Percobaan di Rumah Kaca



Gambar vegetasi mendong



Gambar vegetasi akar wangi



Gambar vegetasi haramay



Gambar vegetasi eceng gondok

Lampiran 24. Tanaman Padi dengan Berbagai Macam Dosis Bahan Organik pada Percobaan di Rumah Kaca



Tanaman padi dengan berbagai macam dosis bahan organik

Lampiran 25. Kandungan Logam Berat dalam Bahan Organik

Macam Bahan Organik	Kandungan Logam ekstrak HNO ₃ + HClO ₄ (ppm)			Kandungan Bahan Organik (%)			
	Pb	Cd	Cr	C	N	P	K
K. Sapi	5,75	0,20	2,85	15,03	0,24	0,01	0,01
K. Kambing	12,14	0,39	3,15	25,23	0,51	0,02	0,03
K. Ayam	3,40	0,57	4,52	31,45	1,41	0,06	0,03
K. Tanaman	7,74	0,04	0,97	25,70	1,07	0,02	0,05

Universitas Terbuka