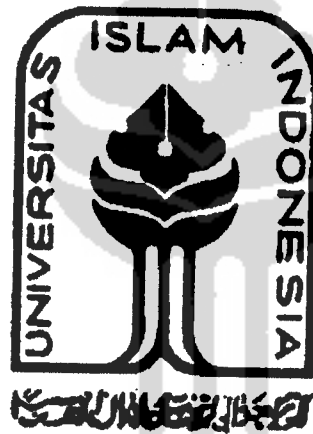


**PENGARUH POLA TANAM TERHADAP FITOREMEDIASI
LOGAM KROMIUM (VI) OLEH TANAMAN KAYU APU
(*Pistia statiotes .L*)**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai
gelar Sarjana Sains (S.Si) Program Studi Ilmu Kimia pada
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia
Jogjakarta**



disusun oleh:

YUNI SURYANI ARMA

No.Mhs: 01 612 053

**JURUSAN ILMU KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
JOGJAKARTA
2005**

**PENGARUH POLA TANAM TERHADAP FITOREMEDIASI
LOGAM KROMIUM (VI) PADA TANAMAN KAYU APU
(*Pistia statiotes .L*)**

Oleh :

YUNI SURYANI ARMA
No.Mhs: 01 612 053

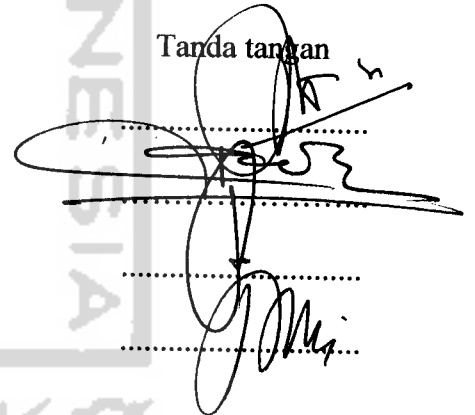
Telah dipertahankan dihadapan Panitia Penguji Skripsi
Jurusan Ilmu Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia

Tanggal : November 2005

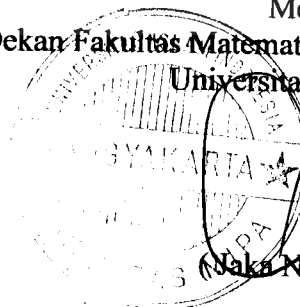
Dewan Penguji :

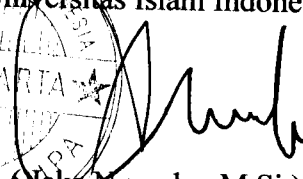
1. Prof. Dr. Hardjono Sastro Hamidjojo
2. Drs. Allwar, M.Sc
3. Rudy Syahputra, M.Si
4. Dwiwarso Rubiyanto, S.Si

Tanda tangan



Mengetahui,
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia




(Naka Nugraha, M.Si)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Jangan pernah menangi sesuatu yang sudah terjadi,
walaupun sedih, tetaplah tersenyum.....kelak kebahagiaan muncul
sebagai hadiah atas kepedihan yang kamu alami.....

" Dialah yang menjadikan Manusia tertawa dan tersenyum "

(Q.S.An Najm : 43)

" Sesungguhnya sesudah kasulitan itu ada kemudahan, maka apabila
kamu telah selesai (dengan satu urusan), kerjakanlah dengan
sungguh-sungguh urusan yang lain dan hanya kepada Tuhanmulah
hendaknya kamu berharap". (Q.S. Al-Baqoroh : 45)

Ketika kumohon pada Allah keKuatan,
Allah memberiku kesulitan agar aku menjadi kuat.

Ketika kumohon pada Allah keBijaksanaan,
Allah memberiku masalah untuk kupecahkan.

Ketika kumohon pada Allah keSejahteraan,
Allah memberiku akal untuk berfikir.

Ketika kumohon pada Allah keBeranian,
Allah memberiku kondisi bahaya untuk kuatasi.

Ketika kumohon pada Allah sebuah Cinta,
Allah memberiku orang-orang bermasalah untuk kutolong.

Ketika kumohon pada Allah Bantuan, Allah memberiku kesempatan.

Aku tidak pernah menerima apa yang kupinta,

Tapi aku menerima segala yang kubutuhkan.

Do'aku terjawab sudah

(Terjemahan bebas dari History of Prayer)

- Ananda persembahkan untuk Bapak dan Ibu tersayang yang selalu memberiku semangat dan motifikasi dalam menjalani hidup ini dan selalu mendukung segala aktifitas ananda baik moril maupun material serta Do'a yang tak henti-hentinya untuk anandamu. Adik-adikku (It@, Pln@ dan Bud!) yang lucu, trimakasih telah menghiburku dan menyayangiku serta Do'anya. Ananda merindukan kalian semuanya
- Trimakasih untuk keluarga besarku di Pangkan Bun KAL-TENG yang menDo'akanku selama ini sehingga bisa menyelesaikan study di Jogjakarta City.
- Bapak Sarwanto dan Ibu (Oertu Koss di Perum Pamungkas Gg. Dewa Wisnu No: C03), temen-temen koss (Mba Eni, Dewi dan Iyah) yang selalu menemaniku di jogja dan selalu menghiburku. Maf y slalu merepotkan kalian dan slalu mengganggu kalian hehehe.....Emmh kapan kita makan-makan bareng lagi.....@@!!!@@
- Keluarga besar Sadono dan Winda, trimakasih papy dan mami atas kasih sayangnnya dan Do'a@ slalu slama ini.
- Buat Suci (yang slalu memberiku hiburan...),Lin@, @na, Cecep, @@n, @rman, Id@, H@dy, Nl@ (empe-empenya mana ??!!), Erlin, Mela, Johan, Agus W (udah slesai blum distruksinya....??!!) dan smua temen-temen Kimia Angkatan 2001 "makasih y Do'anya dan maf kalo slalu ngerepotin kalian semua dan maffin kalo banyak kesalahan"
- Buat temen-temen KKN Angktn 30 (C@ndr@ (Kordes), @ri, @sri, R@ti (tukang pegang uang), D@hl@n, Fiz@, Essy (Miss Jogj), D!@n (P ketu), @rbi, Een (senyuman manismu) dan N@ss (Hakim penasehat)), kalian telah memberikan warna baru dalam hidupku dan makasih atas persahabatna yang slama ini tetap terjaga....!!!
- Buat @gus dan Eko (dibidang Pengkaderan) serta Temen-temen Lembaga LEM, trimakasih telah banyak mengajarkan banyak hal yang baru yang belum pernah yuni lakukan.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

Alhamdulillahirobbil'alamin puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkah, rahmat, hidayah, dan atas ijinNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul : ” **Pengaruh Pola Tanam Terhadap Fitoremediasi Logam Kromium (VI) Oleh Tanaman Kayu Apu (*Pistia Stratiotes. L*)** ”.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Sains S1 (S.Si) Program Studi Ilmu Kimia pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta. Banyak pihak yang telah membantu selama penelitian maupun penyusunan Tugas Akhir ini sehingga dapat terselesaikan. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Jaka Nugraha, M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.
2. Bapak Rudy Syahputra, M.Si. selaku Ketua jurusan Ilmu Kimia FMIPA-UII dan selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penelitian dan penulisan Tugas Akhir.
3. Bapak Dwiarso Rubiyanto, S.Si. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan, kritik serta sarannya dalam penulisan Tugas Akhir.

4. Bapak Drs. Allwar, M.Sc selaku dosen penguji seminar Tugas Akhir.
5. Bapak Prof. Dr Hardjono Sastro Hamidjojo selaku dosen penguji seminar Tugas Akhir.
6. Ibu Is Fatimah, M.Si. selaku Koordinator Kepala Laboratorium.
7. Bapak Dwi Mahmudi dan Mas Yusuf Habibi (Staf Laboratorium Kimia) yang telah banyak membantu dalam proses penelitian Tugas Akhir.
8. Seluruh Staf Pengajaran dan Bagian Umum serta staf yang ada dilingkungan Kampus F-MIPA Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.

Rasa terima kasih juga penulis sampaikan untuk semua pihak yang telah membantu penulisan baik secara langsung maupun tidak langsung selama menelitian sampai penulisan Tugas Akhir ini. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Wassalamualaikum Wr. Wb

Jogjakarta , November 2005

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
INTISARI.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
BAB III DASAR TEORI.....	10
3.1 Fitoremediasi.....	10
3.2 Taksonomi dan Morfologi Tanaman Kayu Apu.....	11

3.3 Penyerapan Logam Berat Oleh Tumbuhan.....	16
3.3.1 Tumbuhan Hiperakumulator Logam.....	16
3.3.2 Mekanisme Penyerapan Logam Oleh Tumbuhan.....	16
3.4 Penerapan Fitoremediasi.....	17
3.5 Kromium.....	19
3.5.1 Unsur Kromium.....	19
3.5.2 Sifat-sifat Kromium.....	20
3.5.3 Kromium Dalam Lingkungan.....	21
3.6 Fitotoksisitas Dalam Tanaman.....	22
3.7 Destruksi.....	23
3.7.1 Destruksi Basah.....	24
3.7.2 Destruksi Kering.....	25
3.8 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).....	26
3.8.1 Prinsip Dasar Spektrofotometri Serapan Atom.....	26
3.8.2 Instrumentasi.....	28
3.8.3 Komponen-komponen Spektrofotometri Serapan.....	29
3.8.4 Optimasi Peralatan SSA.....	32
3.8.5. Metode Kurva Standart.....	32
3.8.6 Gangguan Dalam Spektrofotometri Serapan Atom.....	33
3.9 Hipotesis.....	34

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN.....	35
4.1 Alat dan Bahan.....	35
4.1.1 Alat.....	35
4.1.2 Bahan.....	35
4.2 Cara Kerja.....	36
4.2.1 Anti Kontaminan.....	36
4.2.2 Aklimasi.....	36
4.2.3 Larutan Buffer.....	37
4.2.4 Pembuatan Larutan Induk Krom (VI) 1000 mg/L.....	37
4.2.5 Penanaman Kayu Apu.....	37
4.2.6 Tahapan Perlakuan Tanaman Kayu Apu.....	38
4.3 Preparasi Sampel.....	39
4.4 Preparasi Sampel Air.....	40
4.5 Analisis SSA.....	40
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
5.1 Optimasi Spektrofotometri Serapan Atom.....	41
5.2 Analisis Logam Krom (VI).....	47
5.2.1 Perlakuan Awal Tanaman.....	47
5.2.2 Perlakuan Awal Sampel.....	47
5.3 Tahapan pola Tanam.....	48
5.3.1 Pola Tanam Isolasi.....	48

5.3.2 Pola Tanam Harvesting.....	50
5.3.3 Pola Tanam Pergantian.....	52
5.4 Pengaruh Tahapan Pola Tanam Terhadap Waktu Kontak.....	55
5.5 Fitotoksisitas	58
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	63
6.1 Kesimpulan.....	63
6.2 Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Tabel 1 : Sifat–sifat fisik untuk logam Kromium.....	20
Tabel 2 : Pemilihan panjang gelombang emisi lampu.....	74
Tabel 3 : Kecepatan laju alir asetilen.....	74
Tabel 4 : Kecepatan laju alir udara.....	74
Tabel 5 : Pemilihan tinggi pembakaran.....	75
Tabel 6 : Data kondisi parameter optimasi alat SSA.....	75
Tabel 7 : Hasil pengukuran kurva standar logam krom (VI) pada akar.....	76
Tabel 8 : Hasil pengukuran serapan logam krom (VI) pada akar.....	78
Tabel 9 : Kapasitas serapan logam krom (VI) pada akar tanaman.....	83
Tabel 10 : Kadar serapan logam berat krom (VI) pada akar tanaman.....	84
Tabel 11 : Hasil pengukuran serapan logam krom (VI) pada air.....	84
Tabel 12 : Hasil pengukuran kurva standar logam krom (VI) pada air.....	85
Tabel 13 : Kadar serapan logam krom (VI) pada air.....	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 : Morfologi tanaman kayu apu.....	13
Gambar 2 : Seperangkat alat spektrofotometer serapan atom.....	29
Gambar 3 : Kurva kalibrasi.....	33
Gambar 4 : Grafik panjang gelombang Vs energi.....	43
Gambar 5 : Grafik kecepatan laju alir asetilen.....	44
Gambar 6 : Grafik kecepatan laju alir udara.....	44
Gambar 7 : Grafik tinggi pembakaran Vs absorbansi.....	45
Gambar 8 : Kurva standar logam kromium.....	46
Gambar 9 : Pola tanam Isolasi	48
Gambar 10 : Serapan logam krom (VI) dalam akar dan kadar air pada Isolasi.....	49
Gambar 11 : Pola tanam Harvesting.....	50
Gambar 12 : Serapan logam krom (VI) dalam akar dan kadar air pada harvesting....	51
Gambar 13 : Pola tanam Pergantian.....	53
Gambar 14 : Serapan logam krom (VI) dalam akar dan kadar air pada pergantian....	53
Gambar 15 : Pengaruh tahapan pola tanam dengan waktu kontak.....	55
Gambar 16 : Kondisi tanaman pada saat panen 7 hari dengan perbedaan pola tanam.....	59
Gambar 17 : Kondisi tanaman pada saat panen 14 hari dengan perbedaan pola tanam.....	60
Gambar 18 : Kondisi tanaman pada saat panen 21 hari dengan perbedaan pola tanam.....	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1

1. Pembuatan Larutan Buffer Phospat.....	70
2. Pembuatan Antikontaminan 10 % HNO ₃	71
3. Pembuatan Larutan Logam kromium Induk 1000 mg/L.....	71
4. Pembuatan Larutan Standar Logam kromium.....	72

Lampiran 2

Optimasi parameter alat SSA model AA-782 Nippon Jarell Ash untuk mengukur konsentrasi logam kromium.....	74
--	----

Lampiran 3

Pembuatan Kurva Standar Logam kromium.....	76
--	----

Lampiran 4

a. Perhitungan kapasitas serapan logam kromium.....	77
b. Perhitungan % kadar unsur dalam tanaman.....	77
c. perhitungan konsentrasi logam krom (VI) 5 mg/L.....	77

Lampiran 5

Hasil pengukuran serapan logam kromium pada akar.....	78
Perhitungan Kadar Konsentrasi Logam kromium pada akar.....	78
Hasil pengukuran serapan logam kromium pada air.....	84
Pembuatan Kurva Standar Logam kromium untuk air.....	85
Perhitungan Kadar Konsentrasi Logam kromium pada air.....	86

Lampiran 6

Uji Statistik.....	90
--------------------	----

**PENGARUH POLA TANAM TERHADAP FITOREMEDIASI
LOGAM KROMIUM (VI) OLEH TANAMAN KAYU APU
(*Pistia statiotes .L*)**

YUNI SURYANI ARMA
No.Mhs: 01 612 053

INTISARI

Telah dilakukan penelitian fitoremediasi logam kromium (VI) oleh tanaman kayu apu (*Pistia Statiotes.L*). Pengaruh penyerapan logam kromium (VI) oleh tanaman kayu apu dilihat dengan variabel pola tanam (isolasi, harvesting dan pergantian) dan waktu kontak (7, 14 dan 21 hari), juga dipelajari efek toksisitas logam kromium (VI) melalui pengamatan morfologi tanaman. Preparasi sampel akar tanaman menggunakan metode distruksi basah dengan menggunakan larutan HNO₃ dan analisis konsentrasi logam menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom Nyala.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyerapan logam kromium (VI) dipengaruhi oleh pola tanam dan waktu kontak. Berdasarkan analisis statistik anava ($\alpha = 0,05$) menunjukkan penyerapan optimum logam kromium (VI) dicapai pada waktu kontak 14 hari dengan pola tanam isolasi, yaitu sebesar 1100,17 $\mu\text{g/g}$. Efek toksisitas logam kromium (VI) ditunjukkan pada waktu kontak 14 hari pada semua pola tanam dengan indikasi perubahan pada morfologi tanaman seperti rusaknya bagian daun dan batang, tanaman menjadi layu dan akar menjadi rapuh.

Kata Kunci : Fitoremediasi, pola tanam, waktu kontak, tanaman kayu apu.

THE EFFECT OF CULTIVATION PATTERN BY WATER LOTTUCE (*Pistia statiotes .L*) TO PHYTOREMEDIATION OF CHROMIUM (VI) METAL

YUNI SURYANI ARMA
01 612 053

ABSTRACT

The research about phytoremediation of chromium (VI) metal by water lottuce (*Pistia Statiotes.L*) has been done. The effect of adsorption on chromium (VI) metal by water lottuce was studied with variables of cultivation pattern (Isolation, harvesting and changing) and contacting time (7, 14 and 21 days). The toxicity effect of chromium (VI) metal was studied with description on the plant morphology. Wet destruction by using HNO₃ methods was used to prepare root sample and chromium (VI) metal was measured by Flame Atomic Absorption Spectrophotometry.

Result of the research showed that adsorption of chromium (VI) metal were influenced by cultivation pattern and contacting time. Based on statistical anova analysis ($\alpha = 0,05$) showed that optimum adsorption chromium (VI) metal achieved for 14 days contacting time with cultivation pattern isolation is 1100,17 $\mu\text{g/g}$. Toxicity effect of chromium (VI) metal showed at 14 days contacting time for all cultivation pattern by changing indication on the plant morphology.

Keywords : Phytoremediation, Cultivation pattern, Contacting time, Water Lottuce

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebenarnya permasalahan lingkungan bukan merupakan suatu hal yang baru, melainkan sudah muncul sejak lahirnya bumi, hanya saja karena berbagai sebab maka masalah ini tidak mencuat kepermukaan. Dengan semakin meningkatnya perkembangan sektor industri dan transportasi, maka semakin meningkat pula tingkat pencemaran pada perairan, udara dan tanah akibat berbagai kegiatan tersebut (Kristanto, 2002).

Berbagai industri yang proses produksinya menggunakan bahan-bahan yang mengandung logam-logam berat mengakibatkan terjadinya pencemaran logam berat. Berbagai jenis logam yang dilepaskan ke lingkungan, terutama pada logam-logam yang relatif mudah menguap dan larut dalam air (bentuk ion) seperti : arsen (As), kadmium (Cd), timbal (Pb), merkuri (Hg), dan khrom (Cr) (Darmono, 1995).

Pencemaran logam berat dapat menimbulkan masalah serius karena :

- (1) resistensinya di dalam lingkungan dan transfortasinya menjadi senyawa yang lebih beracun,
- (2) akumulasi oleh mikroorganismen perairan seperti plankton,
- (3) efek kronik bagi organisme pada konsentrasi rendah,
- (4) kemungkinan masuknya ke dalam tubuh melalui air minum dan makanan yang berasal dari organisme perairan seperti ikan,
- (5) kemungkinan akumulasi dalam tubuh manusia, yang makin lama akan

meningkat sampai mencapai tingkat toksisitas, dan (6) sensitifitas yang lebih tinggi pada anak-anak (Asmara, 1996).

Keberadaan logam-logam tersebut pada lingkungan perairan, ada yang bersifat stabil dan bersifat tak stabil, karena faktor alamiah antara lain cuaca, konduktivitas, pH dan suhu yang akan memacu terjadinya proses oksidasi logam-logam tersebut. Salah satunya yang bersifat sangat tidak stabil oleh proses oksidasi antara lain adalah kromium. Kromium yang memiliki tingkat oksidasi mulai dari nol sampai dengan tingkat oksidasi enam dalam perairan dapat mengalami transformasi dari satu species menjadi species lain dari satu tingkatan oksidasi ke tingkat oksidasi yang lain. Logam berat tersebut dapat mengumpul didalam tubuh suatu organisme dan tetap tinggal dalam tubuh dalam jangka waktu relatif lama sebagai racun yang terakumulasi, salah satu logam berat sangat berbahaya yang juga sebagai salah satu limbah industri penyamakan kulit adalah logam krom (VI) (Subramanian, 1998). Banyak kasus keracunan kromium yang cukup berbahaya bagi manusia, yaitu dapat menyebabkan kanker paru-paru, perubahan gen, luka berdarah yang kronis dan merusak selaput tipis hidung (Klasen dkk, 1986)

Pada dasarnya logam dalam air limbah dapat dipisahkan dengan berbagai cara, yaitu kimia dan biologi. Secara kimia, antara lain dengan reaksi chelating, yaitu memberikan senyawa asam yang bisa mengikat logam berat sehingga terbentuk garam dan pengendapan (Hasim, 2000). Untuk secara biologinya, yaitu salah satunya dengan menggunakan metode pemulihan (remediasi), metode ini merupakan tindakan pemulihan yang perlu dilakukan agar lahan yang tercemar dapat digunakan kembali.

Pada satu atau dua dasawarsa terakhir ini perhatian peneliti tertuju pada penggunaan tanaman air sebagai agensi pembersih lingkungan tercemar yang terus meningkat yang dikenal dengan fitoremediasi. Metode ini mengandalkan peran tanaman yang dapat menyerap, mendegradasi, mentransformasi dan memobilisasi bahan pencemar, baik logam berat maupun senyawa organik (Priyanto dan Prayitno, 2004).

Chaney dan koleganya dari USDA-ARS yang aktif meneliti dan mengembangkan manfaat tumbuhan untuk remediasi logam telah mengidentifikasi karakteristik penting, yaitu : tumbuhan harus bersifat hipertoleran agar dapat mengakumulasi sejumlah besar logam berat didalam batang serta daun, tumbuhan harus mampu menyerap logam berat dari dalam larutan dengan laju penyerapan yang tinggi, dan tumbuhan harus mempunyai kemampuan untuk mentranslokasi logam berat yang diserap akar ke bagian batang serta daun (Chaney dkk, 1997). Jenis tanaman yang mempunyai kemampuan untuk mengkonsentrasikan logam di dalam biomasnya dalam kadar yang tinggi, sehingga dari beberapa jenis tanaman yang dijadikan rujukan tersebut sebagai biomonitoring adalah tanaman air, salah satunya tanaman kayu apu karena pemanfaatan kayu apu dalam memperbaiki kualitas air yang tercemar relatif murah dan sederhana (Hasim, 2000).

Tanaman kayu apu merupakan tanaman terapung diperairan dangkal dan berlumpur, memiliki daya adaptasi terhadap lingkungan baru sangat besar sehingga berkembangbiak dengan cepat menutupi segenap permukaan air sehingga dianggap sebagai gulma. Tanaman kayu apu dapat digunakan untuk menyerap unsur-unsur

toksis. Kemampuan tanaman kayu apu untuk mencengkeram lumpur dengan berkas-berkas akarnya kadang dimanfaatkan untuk pembersihan air sungai yang kotor

Dalam penelitian sebelumnya telah dilakukan analisis fitoremediasi logam berat Cd dan Cr pada tanaman kayu apu dengan melihat pengaruh penambahan konsentrasi logam, waktu kontak, pH dan bobot tanaman yang dapat mempengaruhi proses penyerapan logam berat dimana analisis ini dilakukan pada sampel air sebagai media lingkungan yang tercemar (penelitian ini dapat mengarah pada pola tanam isolasi). Logam berat Cd, Co, Ni, dan Pb yang terdapat pada air buangan dilakukan analisis menggunakan dua tanaman air (tanaman eceng gondok dan *Ceratophyllum demersum*) dengan variasi waktu kontak dan penambahan konsentrasi serta pola tanam yang menggantikan tanaman dengan tanaman yang baru pada setiap waktunya (penelitian ini dapat mengarah pada pola tanam pergantian). Pada tahun 1999, dilakukan penelitian daya serap tanaman eceng gondok terhadap logam Fe dengan konsentrasi 5 mg/L dan diukur pada waktu kontak 0, 7, 14, dan 21 hari sebagai variabel (Boonyapookana dkk, 2002; Shahandeh and Hossner, 2000; Boyd and Davis, 2002; Soaud dkk, 2004). Pola tanam merupakan proses penanaman atau metode penanaman yang digunakan sebagai dasar perbandingan dalam penelitian ini untuk mengetahui penyerapan logam berat oleh tanaman tersebut.

Dalam penelitian ini akan dipelajari kemampuan penyerapan logam berat krom (VI) oleh tanaman kayu apu. Pada ekosistem perairan beberapa parameter yang mempengaruhi kemampuan daya serap tanaman kayu apu, yaitu pengaruh perbedaan pola tanam (isolasi, panen bertahap dan pergantian), waktu kontak (7, 14 dan 21 hari)

dan efek toksisitas logam krom (VI) dengan menggunakan media perairan sebagai simulasi lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana efektifitas penyerapan logam berat krom (VI) yang dipengaruhi pola tanam dan waktu kontak oleh tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes L*) ?
2. Bagaimana efek toksisitas logam berat krom (VI) pada morfologi tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes L*) ?

1.3 Tujuan Penelitian

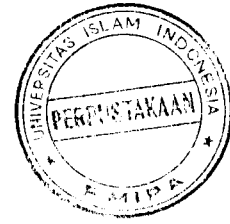
1. Untuk mengetahui efektifitas penyerapan logam berat krom (VI) yang dipengaruhi pola tanam dan waktu kontak oleh tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes L*).
2. Untuk mengetahui efek toksisitas logam berat (VI) pada morfologi tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes L*).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari Penelitian untuk mengetahui keunggulan fitoremediasi dengan menggunakan tanaman kayu apu terhadap cemaran logam berat krom (VI). Selain itu untuk membantu program pemeliharaan dan pelestarian lingkungan khususnya lingkungan air serta memasyarakatkan metode fitoremediasi yang dapat mengurangi pencemaran lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA



Dalam dua dekade terakhir penelitian, pengembangan dan penerapan metode remediasi berbasis tumbuhan mendapat tanggapan positif dan perhatian luas di Amerika, Australia dan Eropa. Penggunaan logam berat dan senyawa organik secara intensif di dalam industri telah menimbulkan kontaminasi di tanah dan air. Kunci utama suksesnya metode ini adalah terletak pada penggunaan biaya yang relatif murah (dibanding teknik pemulihan klasikal) dan aspek estetika (Priyanto dan Prayitno, 2004). Metode ini mengandalkan peran tanaman untuk menyerap, mendegradasi, mentransformasi, dan memobilisasi bahan pencemar, baik logam berat maupun senyawa organik.

Menurut Titiresmi, beberapa jenis tanaman yang mampu menyerap logam berat itu antara lain eceng gondok, *thypa*, wlingi (*scirpus*), dan kayu apu (*pistia*). Di daerah yang kegiatan industrinya menonjol dan telah berlangsung dalam jangka lama tingkat pencemaran Pb dan Cr di tanah masing-masing mencapai 206-449 dan 56-266 mg/kg (Priyanto dan Prayitno, 2004). Berdasarkan penelitian Supradata (1992) kayu apu dapat menyerap logam berat Fe, Zn dan Mn kemudian yang lebih efisien diserap yaitu logam berat Fe. Pada penelitian Rosma (1998) menunjukkan bahwa kayu apu mampu menyerap logam Cu.

Pada tahun 2002 telah dilakukan penelitian pada tanaman kayu apu dapat menyerap logam berat Cd dan Cr didalam media yang telah ditambahkan larutan 3 %

nutrisi hogland dan penambahan konsentrasi 1, 2, 4, dan 8 mg/L, dengan melihat pengaruh konsentrasi, waktu kontak dan pH larutan, analisis sampel dilakukan pada air. Manunjukkan ada pengaruh waktu kontak terhadap penyerapan logam Cr dan Cd bahwa penyerapan lebih cepat dan lebih efisien pada konsentrasi yang lebih rendah (Boonyapookana dkk, 2002; Shahandeh and Hossner, 2000). Dan analisis untuk logam Zn, Cu, Co, Mn, dan Pb menggunakan tanaman dengan masing-masing pot media berdasarkan waktu kontak 30, 39 dan 49 hari memasukkan konsentrasi untuk semua logam diantara 0–1200 $\mu\text{g/g}$, analisis sampel dilakukan pada akar tanaman (Boyd and Davis, 2002). Pada tahun 1999, penelitian daya serap eceng gondok terhadap Fe yang diukur pada waktu kontak 0, 7, 14 dan 21 hari. Hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan kadar Fe secara signifikan pada hari ke-7 sebesar 65,45 %. Sehingga semakin lama waktu yang dibutuhkan semakin banyak Fe yang diserap dan berdasarkan analisis statistik bahwa pada hari ke 7, 14 dan 21 eceng gondok memberikan respon nyata dalam menurunkan cemarannya (Hasim, 2000). Pada penelitian tersebut mengarah pada penggunaan pola tanam isolasi yang dipengaruhi dengan waktu kontak dan konsentrasi logam berat.

Dalam penelitian Soaud dkk, 2004 dilakukan analisis cemaran logam berat Cd, Co, Ni dan Pb dari air buangan proses industri yang menggunakan tanaman eceng gondok dan *Ceratopyllum demersum*. Melihat pola tanam untuk setiap logam terhadap waktu kontak yang dipakai. Hasil menunjukkan kedua tanaman tersebut dapat membersihkan empat logam berat dari konsentrasi yang digunakan 0,1–5,0

mg/L yang dikuti oleh dua tahapan yaitu dengan menggantikan tanaman baru setiap dua harinya dalam satu media dan terbukti bahwa tanaman tersebut mampu menyerap seluruh jenis logam berat setelah 24 dan 36 jam. Penelitian ini mengarah pada penggunaan pola tanam pergantian yang dipengaruhi waktu kontak.

Lusianti dan Soerjani (1986) Menyimpulkan logam kromium dapat diserap oleh tanaman eceng gondok secara maksimal pada pH 7 dengan logam kromium yang semula berkadar 15 mg/L turun menjadi 51,85 % (Hasim, 2000). Penelitian Hidayat (2002), menunjukkan bahwa perlakuan dengan kayu apu dapat meningkatkan kualitas air limbah industri batik PT. Plentong dan terjadi perubahan morfologi tanaman yaitu daun menjadi layu dan berwarna kekuningan, akar berwarna kecoklatan dan sebagian serabut akarnya rontok. Penelitian oleh Zamzam, 1990 terdapat kerusakan pada morfologi tanaman eceng gondok bahwa parameter kualitatif yang memperlihatkan perbedaan antara kontrol dengan tanaman yang diperlakukan dengan krom (VI), pada kontrol daun tampak hijau dan berkembang dengan baik sedangkan tanaman yang tumbuh pada media yang mengandung krom (VI) tampak menguning. Pada konsentrasi 1 mg/L belum tampak pengaruh logam krom (VI), namun pada konsentrasi 5-10 mg/L krom (VI) terlihat sangat jelas.

Tindakan pemulihan (remediasi) perlu dilakukan agar lahan yang tercemar dapat digunakan kembali untuk berbagai kegiatan secara aman. Pada satu atau dua dasawarsa terakhir ini memeperhatikan penelitian dalam perusahaan komersil serta industri terhadap penggunaan tumbuhan sebagai agensia pembersihan lingkungan yang tercemar meningkat (Anonimous, 1999).

Riset dan pengembangan dalam bidang fitoremediasi lingkungan telah membuat teknologi fitoremediasi bernilai komersial tinggi. Sekarang ini dilaporkan ada enam jenis dari teknologi fitoremediasi yaitu Fitoekstraksi, Fitodegradasi atau Fitotransformasi, Rizofiltrasi, Fitostabilisasi, Fitovolatilisasi, dan pemanfaatan tanaman untuk mereduksi polutan dari udara. Laporan pertama mengenai adanya tumbuhan hiperakumulator muncul pada tahun 1948. Sejak itu, terutama dengan mengandalkan analisa mikro terhadap spesimen herbarium, diketahui ada 435 tumbuhan hiperakumulator logam yang tersebar di lima benua (Baker and Brink den Van, 1968). Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yang bersinambungan, yaitu : penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain dan lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut (Priyanto dan Prayitno, 2004).

Jenis tumbuhan mengapung *Scirpus californicus*, *Zizaniopsis miliaceae*, *Panicum helitomom*, *Pontederia cordata*, *Sagittaria lancifolia*, dan *Typha latifolia* adalah terbaik digunakan pada sistem ini. Spesies tumbuhan mengapung digunakan karena tingkat pertumbuhannya yang tinggi dan kemampuannya untuk langsung menyerap hara berlangsung dari kolam air (Reddy, 1982). Dari beberapa jenis tanaman yang mampu menyerap logam diatas, yang salah satunya adalah kayu apu dapat menjadi salah satu rujukan dalam penelitian untuk mencegah pencemaran logam krom (VI) diperairan yang berasal dari limbah industri kulit.

BAB III

DASAR TEORI

3.1 Fitoremediasi

Istilah fitoremediasi berasal dari bahasa Inggris *phytoremediation*, kata ini berasal dari kata Yunani yang terdiri dari “ *phyton* “ yang berarti tanaman atau tumbuhan, dan “ *remediare* “ yang berarti penyembuhan, dalam hal ini berarti juga menyelesaikan masalah dengan cara memperbaiki kesalahan atau kekurangan. Dengan demikian, fitoremediasi dapat didefinisikan sebagai penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan, atau menghancurkan bahan pencemar baik untuk senyawa organik maupun senyawa anorganik (Anonymous, 1999). Fitoremediasi dapat dibagi menjadi beberapa bagian yaitu sebagai berikut :

1. Fitoekstraksi

Mencakup penyerapan kontaminan oleh akar tumbuhan dan translokasi atau akumulasi senyawa itu ke bagian tumbuhan seperti akar daun dan batang.

2. Rizofiltrasi

Adalah pemanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap, mengendapkan dan mengakumulasi logam dari aliran limbah.

3. Fitodegradasi

Adalah metabolisme kontaminan di dalam jaringan tumbuhan, misalnya oleh enzim dehalogenase dan oksigenase.

4. Fitostabilisasi

Adalah suatu fenomena diproduksinya senyawa kimia tertentu untuk mengimobilisasi kontaminan di daerah rizosfer.

5. Fitovolatilisasi

Fitovolatilisasi terjadi ketika tumbuhan menyerap kontaminan dan melepaskannya ke udara lewat daun; dapat pula senyawa kontaminan mengalami degradasi sebelum dilepas lewat daun.

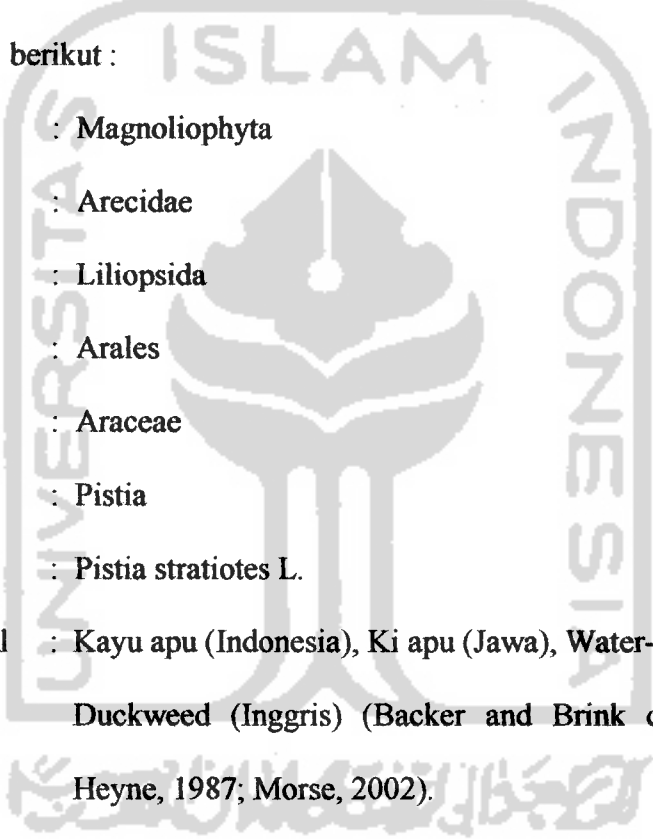
Fitoremediasi dapat didefinisikan sebagai teknologi pembersihan, penghilangan atau pengurangan polutan berbahaya, seperti logam berat, pestisida, dan senyawa organik beracun dalam tanah atau air dengan menggunakan bantuan tanaman. Fitoremediasi merupakan teknologi yang relatif baru, mencuat, efisien dan estetik. Teknik fitoremediasi merupakan teknologi yang melalui pemanfaatan jasa tumbuhan dan ataupun sejenisnya yang bertujuan untuk mengurangi polutan atau pencemar yang berada di lingkungan (Priyanto dan Prayitno, 2004).

3.2 Taksonomi dan Morfologi Tanaman Kayu Apu

Kayu apu merupakan gulma air yang jumlahnya melimpah di perairan, dapat dimanfaatkan untuk melakukan penjernihan air, dimana gulma air ini sangat tahan terhadap kadar unsur hara yang rendah dalam air tetapi responnya terhadap kadar hara yang tinggi juga sangat besar sehingga bila suatu saat mengalami pertumbuhan yang massal maka gulma dapat menyebabkan gangguan pada lingkungan air. Gulma air menyerap senyawa organik maupun anorganik terlarut ke dalam strukturnya

sehingga pada umumnya limbah yang polutannya sudah dibersihkan oleh tumbuhan saat dialirkan ke lingkungan akibat kerusakannya lebih kecil (Dwijoseputro, 1986). Kehadiran tumbuhan di perairan akan mempercepat penurunan kadar bahan organik karena tumbuhan melakukan absorpsi O_2 yang diperlukan bakteri untuk proses oksidasi (Wuhrman, 1976).

Morse (2002) menyebutkan bahwa kaayu apu mempunyai kedudukan taksonomi sebagai berikut :



Divisi	: Magnoliophyta
Subdivisi	: Arecidae
Kelas	: Liliopsida
Ordo	: Arales
Familia	: Araceae
Genus	: Pistia
Species	: Pistia stratiotes L.
Nama local	: Kayu apu (Indonesia), Ki apu (Jawa), Water-lottuce, Tropical Duckweed (Inggris) (Backer and Brink den Van, 1968; Heyne, 1987; Morse, 2002).



Gambar 1. Morfologi tanaman kayu apu

- Perawakan** : Herba mengapung, diameter dapat mencapai enam inci (Morse, 2002).
- Akar** : Serabut dan menggantung di badan air, mempunyai banyak rambut-rambut akar, warna putih sampai kehijauan (Morse, 2002; Backer and Brink den Van, 1968).
- Batang** : Sangat pendek, percabangan system geragih (stolon) (Cook, 1996; Backer and Brink den Van, 1968).
- Daun** : Tunggal, letak tersebar, bentuk helaian daun bervariasi, bentuk pasak (cuneatus)-spatel / sudip atau lidah, umumnya bentuk pasak, panjang dapat mencapai 8-9 cm, pangkal meruncing, tepi rata atau bertoreh, ujung membulat, pertulangan sejajar, warna hijau terang, mempunyai alat tumbuh beberapa papilla

di kedua permukaan, terutama permukaan bawah bagian gasal (Becker and Brink den Van, 1968; Cook, 1996).

Bunga : Susunan bunga majemuk tongkol (spadix), terletak di ketiak daun (aksiler), panjang dapat mencapai 0,5 inci, jauh lebih pendek dari daun, bunga dilindungi seludang (spatha) berwarna hijau kekuningan dan berambut, spadix lebih pendek dan sebagian berlekatan dengan spatha pada bagian basal, dengan satu bunga betina di bagian bawah dan dua sampai delapan bunga jantan di bagian atas, bunga uniseksual, berumah satu (alat kelamin jantan dan betina terdapat pada satu individu tanaman), tidak mempunyai perhiasan bunga (bunga telanjang), bunga jantan dengan dua stamen berlekat, bunga betina mempunyai ovarium bentuk tabung dengan satu ruang (Backer and Brink den Van, 1968; Cook, 1996).

Buah : Sejati, tunggal, berdaging, tipe buni (Gacca), biasanya berjumlah banyak, warna hijau, pecah tidak teratur (Backer and Brink den Van, 1968).

Biji : Berjumlah banyak, bentuk memanjang, meruncing di bagian basal, ujung sedikit rata (Backer and Brink den Van, 1968).

Asal-usul : Berasal dari daerah pantropikal, tersebar hamper di seluruh daerah tropis dan subtropics (Morse, 2002).

- Habitat** : Makrofita air tawar, mengapung bebas, tidak terpancang ditanah (Heyne, 1987).
- Distribusi** : Air tawar yang tenang atau berarus lambat seperti sawah dan danau. (Backer and Brink den Van, 1968; Zuhud, 1994).
- Perkembangbiakan** : Penyerbukan terutama dibantu serangga. Berkembang biak mengandalkan cara vegetatif, yaitu dengan geragih (stolon), sering dikelompokkan dalam gulma air karena kemampuan pertumbuhannya sangat cepat, berbunga terutama pada cuaca panas, tetapi kadang-kadang berbunga sepanjang tahun (Cook, 1996).
- Manfaat** : Dipercaya oleh beberapa orang mempunyai kasiat pelembut dan penyejuk, menjadi obat yang baik untuk disentri dan haematurie atau kemih darah. Di India juga digunakan untuk antiseptik, insektisida dan obat asma. Kemampuan tumbuhan ini untuk mencegakeram lumpur dengan berkas-berkas akarnya kadang-kadang dimanfaatkan juga dalam pembersihan air sungai yang sangat kotor untuk maksud-maksud industrial dengan cara menanamnya pada kolam-kolam prapengendapan. Tumbuhan ini juga banyak ditanam dikolam ikan untuk pakan ikan dan bebek (Zuhud, 1994; Cook, 1996; Heyne, 1987)

3.3 Penyerapan Logam Berat Oleh Tumbuhan

3.3.1 Tumbuhan Hiperakumulator Logam

Tumbuhan hiperakumulator adalah tumbuhan yang mempunyai kemampuan untuk mengkonsentrasikan logam di dalam biomasanya dalam kadar yang luar biasa tinggi dan mampu mengakumulasikan hingga 11% BK. Batas kadar logam yang terdapat di dalam biomassa berbeda-beda tergantung pada jenis logamnya (Baker and Brink den Van, 1968).

3.3.2 Mekanisme Penyerapan Logam Oleh Tumbuhan

Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yang bersinambungan untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut, yaitu :

1. Penyerapan oleh akar

Agar tumbuhan dapat menyerap logam maka logam harus dibawa ke dalam larutan di sekitar akar (*Rizosfer*) dengan beberapa cara yang tergantung pada species tumbuhannya :

- a). Perubahan pH
- b). Ekstraksi zat khelat
- c). Pembentukan reduktase spesifik logam

2. Translokasi di dalam tubuh tumbuhan

Setelah logam dibawa masuk ke dalam sel akar, selanjutnya harus diangkut melalui jaringan pengangkutan yaitu : xilem dan floem, ke bagian tumbuhan

lain. Untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan, logam diikat oleh molekul khelat yang berfungsi sebagai pengikat logam yang dihasilkan oleh tumbuhan.

3. Lokalisasi logam pada jaringan

Untuk mencegah peracunan logam terhadap sel, tumbuhan mempunyai mekanisme detoksifikasi dengan menimbun logam didalam organ tertentu seperti akar, trikhoma, dan lateks (Priyanto dan Prayitno, 2004)..

Penyerapan logam-logam berat oleh tumbuhan akuatik menimbulkan keuntungan dan kerugian, antara lain :

- a. Proses absorpsi merupakan keuntungan karena pengambilan logam-logam berat melalui ekstraksi lebih mudah dilakukan oleh tumbuhan.
- b. Proses absorpsi merupakan hal yang merugikan apabila logam-logam tersebut terbawa ke dalam rantai makanan hewan dan manusia.

(Tjitrosoedirjo dan Astroutomo, 2004).

3.4 Penerapan Fitoremediasi

Dengan makin dipahaminya fisiologi dan genetika tumbuhan, maka pemanfaatan tumbuhan sebagai agensia pembersih lingkungan dapat makin diperluas cakupannya dan diperhitungkan manfaatnya dari segi rekayasa serta nilai ekonominya. Tumbuhan harus mampu menyerap logam berat dari dalam larutan tanah dengan laju penyerapan yang tinggi dan harus mempunyai kemampuan untuk mentranslikasi logam berat yang diserap oleh akar ke batang serta daun.

Untuk mencapai fitoremediasi yang efisien sesungguhnya dapat dilakukan dua pendekatan, yaitu menggunakan tumbuhan hiperakumulator yang sesuai dan menerapkan teknik budidaya serta manipulasi pertumbuhan yang tepat. Dalam hubungannya dengan pemanfaatan tumbuhan sebagai agensia pemulihan lingkungan tercemar, mengutip laporan Departemen Energi AS, Watanabe (1997) mengemukakan prasyarat, yaitu :

1. Laju akumulasi harus tinggi
2. Kemampuan mengakumulasi kontaminan dengan kadar tinggi
3. Kemampuan mengakumulasi beberapa macam logam
4. Tumbuh cepat
5. Produksi biomassa tinggi
6. Tahan hama dan penyakit

Menurut Fitter dan Hay (1981), terdapat dua cara penyerapan ion kedalam akar tanaman :

- 1) Aliran massa, ion dalam air bergerak menuju akar gradient potensial yang disebabkan oleh transpirasi.
- 2) Difusi, gradient konsentrasi dihasilkan oleh pengambilan ion pada permukaan akar.

Dalam pengambilan ada dua hal penting, yaitu pertama : energi metabolik yang diperlukan dalam penyerapan unsur hara sehingga apabila respirasi akan dibatasi maka pengambilan unsur hara sebenarnya sedikit. Dan kedua, proses

pengambilan bersifat selektif, tanaman mempunyai kemampuan untuk menyeleksi penyerapan ion tertentu pada kondisi lingkungan yang luas. (Foth, 1991)

3.5 Kromium

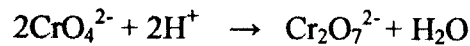
3.5.1 Unsur Kromium

Kromium adalah logam kristalin yang putih, tak begitu liat dan tak dapat ditempa. Kromat logam biasanya adalah zat-zat padat berwarna, yang menghasilkan larutan kuning bila dapat larut dalam air. Asam mineral encer, yaitu ion-ion hidrogen, kromat berubah menjadi dikromat; yang terakhir ini menghasilkan larutan yang merah jingga. Logam kromium murni tidak pernah ditemukan di alam, namun ada bentuk persenyawaan padat atau mineral dengan unsur-unsur lain (Vogel, 1990).

Logam ini tidak dapat teroksidasi oleh udara yang lembab, dan bahkan pada proses pemanasan cairan logam kromium teroksidasi dalam jumlah yang sangat sedikit sekali. Akan tetapi dalam udara yang mengandung CO_2 dalam konsentrasi tinggi, logam kromium dapat mengalami peristiwa oksidasi dan membentuk Cr_2O_3 . Kromium merupakan logam yang mudah bereaksi, secara langsung dapat bereaksi dengan nitrogen, karbon, silika dan boron (palar, 1994).

Konfigurasi yang dimiliki menyebabkan logam kromium bersifat resisten terhadap reaksi kimia seperti korosi pada suhu yang sangat tinggi. Oleh karena itu logam kromium banyak digunakan sebagai pelapis logam lain (Cotton dkk, 1989). Dalam bentuk kromat, CrO_4^{2-} atau dikromat, $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, anion kromium adalah heksavalen, dengan keadaan oksidasi +6. Ion-ion kromat berwarna kuning,

sedangkan dikromat berwarna jingga. Kromat mudah diubah menjadi dikromat dengan penambahan asam:



Reaksi ini reversible. Dalam larutan netral (atau basa) ion kromat stabil. Sedangkan jika diasamkan, akan terdapat terutama ion-ion kromat dan dikromat merupakan zat pengoksid yang kuat (Vogel, 1990). Logam krom dan garamnya banyak dipergunakan dalam industri penyamakan kulit, industri katalis, industri cat, pembasmi serangga, industri keramik dan gelas dalam fotografi, pelapisan khrom, sebagai kontrol kerusakan dan sebagai lapisan pelindung atau lapisan aloy.

3.5.2 Sifat – sifat Kromium

Tabel 1. Sifat–sifat fisik untuk logam kromium

No	Sifat fisik Cr	Keterangan
1.	Lambang	Cr
2.	Nomor atom	24
3.	Massa atom relatif (Ar)	51,996
4.	Konfigurasi elektron	3d ⁵ 4s ¹
5.	Jari–jari atom (nm)	0,117
6.	Jari–jari ion M ³⁺ (nm)	0,069
7.	Keelektronegatifan	1,6
8.	Energi ionisasi (I)Kj/mol	659
9.	Kerapan (g cm ⁻³)	7,19
10.	Titik leleh (°C)	1890
11.	Titik didih (°C)	2475
12.	Titik lebur (°C)	1903
13.	Bilangan Oksidasi	2+, 3+ dan 6+

3.5.3 Kromium Dalam Lingkungan

Logam kromium dapat masuk ke dalam semua strata lingkungan, apakah itu pada strata perairan, tanah ataupun udara (lapisan atmosfer). Kromium yang masuk ke dalam strata lingkungan dapat datang dari bermacam-macam sumber. Dalam sistem perairan (air alam atau air limbah industri) kromium berada dalam keadaan trivalen atau heksavalen. Menurut Cotton dkk (1989) krom heksavalen terutama dalam bentuk ion kromat (CrO_4^{-2}) dan dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$) tergantung pada pH sistem perairan. Logam krom sebagai logam transisi juga diperlukan keberadaannya di dalam kehidupan terutama krom dengan valensi III. O_2 yang terlarut di dalam perairan dapat menyebabkan krom (III) teroksidasi menjadi krom (VI), tetapi apabila berada dalam temperatur kamar kecepatan oksidasinya sangat lambat. krom (VI) memiliki efek racun yang sangat berbahaya (Vogel, 1990).

Langard (1982); ATSDR (1988); Bragt and Van dura (1983); Hamilton and Watterhahn (1988) melaporkan bahwa terdapat perbedaan sifat penyerapan krom (III) dan krom (VI). Sifat krom (VI) mudah terserap tubuh terutama di dalam hati, liver, dalam sel darah merah dan dalam sel darah putih. Penyerapan ini akan menyebabkan reduksi enzimatis di dalam tubuh yang berpotensi menimbulkan kanker dan perubahan gen karena sifat logam yang tidak terdegradasi di dalam tubuh (Cotton dkk, 1989). Dalam badan perairan kromium dapat masuk melalui dua cara, yaitu secara alamiah dan non-alamiah. Masuknya secara alamiah disebabkan oleh beberapa faktor fisika, seperti erosi yang terjadi pada batuan mineral. Disamping itu debu-debu dan

partikel-partikel krom yang diudara akan dibawa turun oleh air hujan. Masuknya secara non-alamiah lebih merupakan dampak atau efek dari aktivitas yang dilakukan manusia (Palar, 1994).

3.6 Fitotoksisitas Dalam Tanaman

Indikator yang menunjukkan toksisitas morfologi pada tanaman adalah sebagai berikut :

1. Bagian akar, rambut akar terlihat jarang dan berwarna coklat kehitaman serta sebagian bulu-bulu akar akan rontok.
2. Pengaruh toksisitas dapat juga terlihat pada bagian batang yang membusuk dan berwarna hijau keputihan.
3. Pada bagian daun, terlihat dari warna daun hijau kecoklatan. Daun yang berwarna hijau terlihat ujung-ujungnya pucat, gugur dan layu maka daun tidak dapat berkembang dengan baik dan akhirnya menggulung (berkeriput)
4. Tunas yang sudah dihasilkan sebelum penanaman akan terhenti pertumbuhannya.

(Ahmady, 1993)

Terjadinya perubahan morfologi terhadap tanaman kayu apu disebabkan karena adanya terkumpulnya logam tersebut di dalam jaringan vegetatif tumbuhan dan menyebabkan berkurangnya zat hara dalam media (Glardiano, 1975; Hidayat, 2002). Logam berat dapat menimbulkan fitotoksisitas dengan cara sebagai berikut :

1. Mengganggu kontak air dengan tanaman sehingga menyebabkan tanaman mengalami cekaman air (layu).
2. Meningkatkan permeabilitas membran plasma sel akar sehingga akar menjadi lemah dan berkurang kemampuan seleksinya.
3. Menghambat fotosintesis dan reapiisasi.
4. Menurunkan aktifitas enzim metabolik. (Carlson dkk, 1975)

Pengumpulan logam berat di dalam tubuh tanaman dapat mengakibatkan penurunan biomassa pada akar dan pucuk (tunas baru) (Kelly and Me Kee, 1979).

Dan gejala layu, menguning serta membusuk pada daun tanaman menunjukkan berkurangnya zat hara dan terserapnya zat toksisitasnya oleh tumbuhan, namun dengan munculnya tunas dan akar baru akan memungkinkan sebagai cara tumbuhan untuk tetap bertahan hidup (Hidayat, 2002).

3.7 Destruksi

Pada analisis dengan menggunakan metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), cuplikan harus dalam bentuk larutan. Apabila cuplikan berbentuk padatan agar dapat dianalisis maka dilakukan teknik destruksi pelarut, yaitu pemisahan larutan kedalam komponene-komponen dengan menggunakan suatu pelarut sebagai pemisah. Prinsip kerja metode distruksi ini adalah terjadi distribusi suatu zat dalam dua fasa yang tidak saling larut disamping untuk pemisahan, juga dapat digunakan untuk keperluan yang diantaranya pemurnian, pengkayaan, preparasi dan analisis

dalam suatu skala kerja dari mikro analisis (dalam skala industri). Menurut Sandell, (1959) menyatakan secara garis besar ada dua cara yang biasa digunakan dalam destruksi yaitu secara basah atau kering.

3.7.1 Destruksi Basah

Destruksi berfungsi untuk memutuskan rantai ikatan antara C, H dan O sebagai unsur utama penyusun tumbuh-tumbuhan. Untuk mengetahui konsentrasi krom (VI) pada sampel, tidak dapat langsung dianalisis karena sampel berbentuk padatan. Sebelum dianalisis sampel didestruksi terlebih dahulu. Destruksi basah terutama digunakan pada peleburan cuplikan untuk penentuan unsur-unsur konsentrasi rendah dan logam beracun. Didalam pelaksanaannya ada empat cara pembagian penggunaan bahan kimia, yaitu:

1. H_2SO_4

H_2SO_4 ditambahkan kedalam cuplikan untuk membantu terjadinya oksidasi sebab merupakan bahan pengoksidasi yang kuat, tetapi diperlukan waktu yang cukup lama.

2. HNO_3

Kemampuan pelarut dari HNO_3 disebabkan kemampuan ion nitrat untuk berperan sebagai agen pengoksidasi yang kuat. Menggunakan asam HNO_3 memiliki keuntungan yaitu kelebihan asam dapat dengan mudah dihilangkan selain itu nitrat adalah matrik yang dapat diterima dengan spektrofotometer dengan nyala

3. Campuran H_2SO_4 dan K_2SO_4

Untuk mempercepat terjadinya dekomposisi cuplikan di gunakan campuran H_2SO_4 dan K_2SO_4 yang memiliki titik didih lebih tinggi dan waktu lebih cepat.

4. Campuran H_2SO_4 dan HNO_3

H_2SO_4 dan HNO_3 merupakan asam-asam pengoksidasi yang kuat. Campuran dari keduanya dapat mengakibatkan kenaikan suhu peleburan cuplikan sampai $350^\circ C$ dengan demikian komponen yang dapat menguap pada suhu tinggi dapat tetap dipertahankan.

5. Campuran $HClO_4$ dan HNO_3

Campuran dari kedua asam ini dapat dipergunakan untuk bahan-bahan yang sangat sulit mengalami oksidasi. Oksidasi cuplikan menggunakan HNO_3 akan disempurnakan dengan menggunakan $HClO_4$ sehingga waktu peleburan memungkinkan untuk lebih cepat dibandingkan dengan ketiga cara sebelumnya. Kelemahan dari penggunaan campuran ini adalah bahwa $HClO_4$ bersifat explosive (mudah meledak) sehingga cukup berbahaya

3.7.2 Destruksi Kering

Destruksi kering biasanya digunakan untuk menentukan total abu dalam makanan dan hasil pertanian. Penentuan kadar abu dilakukan dengan cara mengoksidasi semua zat organik pada suhu tinggi ($500-600^\circ C$). sebelum dilakukan destruksi kering, maka cuplikan yang akan dipergunakan dibagi menjadi tiga macam yaitu:

1. Cuplikan yang mempunyai kadar air tinggi harus dikeringkan terlebih dahulu.
2. Cuplikan yang mengandung zat volatile dan berlemak, pada pengabuan mula-mula dilakukan pada suhu rendah sampai asam-asam yang ada hilang, kemudian suhu dinaikkan sesuai dengan yang diperlukan.
3. Cuplikan yang membentuk buih waktu dipanaskan harus dikeringkan terlebih dahulu didalam oven dan ditambahkan zat anti buih misalnya paraffin.

Penggunaan dari masing-masing krus adalah:

1. Krus Porselin

Krus dari bahan porselin paling luas penggunaannya, karena dapat mencapai berat konstan dengan cepat serta berharga murah. Tetapi mudah pecah pada perubahan suhu yang mendadak.

2. Krus Besi dan Nikel

Untuk analisi abu dengan jumlah cuplikan yang besar lebih sesuai digunakan krus besi dan nikel.

3.8 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

3.8.1 Prinsip Dasar Spektrofotometri Serapan Atom

Untuk menentukan unsur-unsur di dalam suatu bahan dengan kepekaan, ketelitian dan selektifitas yang tinggi biasanya digunakan suatu metode analisis spektrofotometri serapan atom yang didasarkan pada jumlah radiasi yang diserap oleh atom-atom bila sejumlah radiasi dilewatkan melalui sistem yang mengandung atom-

atom itu. Jumlah radiasi yang terserap sangat tergantung pada jumlah atom-atom bebas yang terlibat dan pada kemampuan atom-atom itu untuk menyerap radiasi (Narsito, 1992)

Prinsip dasar dari metode ini adalah interaksi energi radiasi elektromagnetik dengan atom-atom yang berada pada tingkat tenaga dasar (*ground state*) dan bila energinya sesuai, maka energi tersebut akan diserap dan atom tersebut akan berinteraksi ke tingkat tenaga tertentu (*eksitasi state*). Penyerapan ini juga menyebabkan terjadinya pengurangan intensitas radiasi yang diberikan. Pengurangan intensitas yang diberikan sebanding dengan jumlah atom pada tingkat tenaga dasar yang menyerap energi radiasi tersebut. Dengan mengukur intensitas radiasi yang diteruskan (*transmitansi*) atau mengukur intensitas radiasi yang diserap (*absorbansi*), maka konsentrasi unsur dalam cuplikan dapat ditentukan. Bila suatu medium penyerap dibagi menjadi lapisan-lapisan imajiner dengan tebal sama dan suatu berkas radiasi monokromatis dilewatkan pada medium tersebut, maka tiap lapisan akan menyerap bagian yang sama dari radiasi. Pernyataan ini merupakan hubungan antara absorpsi radiasi dengan medium penyerap yang dirumuskan oleh Lambert dan Beer. Secara sistematis dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$-dI/db = k_1 I \dots\dots\dots(1)$$

Persamaan di atas menyatakan bahwa berkurangnya intensitas ($-dI$) untuk setiap ketebalan medium penyerap (db) adalah berbanding lurus dengan intensitas (I), k adalah suatu tetapan.

$$-dI/I = k_1 db \dots\dots\dots(2)$$

Dengan mengintegrasikan persamaan (2) akan diperoleh:

$$\ln I_0/I = k_1 b \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{atau } \log I_0/I = k_2 b \dots\dots\dots(4)$$

Bila kadar zat penyerap = c, maka:

$$\log I_0/I = k_3 c \dots\dots\dots(5)$$

Sehingga:

$$k_2/c = k_3/b \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{Bila } k_2/c = a \text{ dan } k_3/b = a \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{Maka } k_2 = a.c \text{ dan } k_3 = a.b \dots\dots\dots(8)$$

Persamaan (8) disubstitusikan ke persamaan (4) atau (5) maka diperoleh:

$$\log I_0/I = a.b.c \dots\dots\dots(9)$$

$$\text{atau } A = a.b.c = \epsilon.b.c \dots\dots\dots(10)$$

Dimana:

I_0 = intensitas radiasi awal

I = intensitas radiasi yang diteruskan

3.8.2 Instrumentasi

Pada analisis dengan metode spektrometri serapan atom, pembentukan uap atom pada tingkat energi dasar (*Ground State atomic Vapour*) dapat dilakukan dengan berbagai cara. Dalam penelitian ini dilakukan dengan alat spektrofotometri serapan atom sistem nyala. Pada sistem pembentukan uap atom pada tingkat energi dasar

meliputi dua proses yang berlangsung secara konsekutif. Pertama, proses pengabutan larutan sampel dalam suatu nebulizer. Kedua, proses introduksi secara kontinyu hasil pengabutan ke dalam suatu ruang pengabutan dengan bantuan nyala api pada kisaran temperatur 1700–3000 °C, melibatkan laju alir gas pembakaran dan oksidan (Mudasir, 2003).

Alat spektrofotometer serapan atom terdiri dari rangkaian dalam diagram skematik berikut ini (Skoog, 1985) :



Gambar 2. Seperangkat alat Spektrofotometer Serapan Atom

Keterangan :

- | | |
|----------------------|------------------------|
| 1. Sumber sinar | 5. Detektor |
| 2. Pemilah (chooper) | 6. Amplifier |
| 3. Nyala | 7. Meter atau recorder |
| 4. Monokromator | |

3.8.3 Komponen-komponen Spektrofotometri Serapan Atom:

1. Sumber cahaya

Lampu katoda cekung merupakan sumber cahaya yang paling umum digunakan, karena mempunyai kelebihan yaitu; untuk analisis unsur yang berbeda tidak perlu pengganti lampu, asalkan terdapat katoda yang berasal dari logam yang

sama dengan unsur yang dianalisis. Lampu katoda cekung umumnya terdiri dari katoda cekung yang silindris yang terbuat dari unsur yang akan ditentukan atau campurannya (*aloy*) dan anoda yang terbuat dari tungsten. Beda voltase yang cukup tinggi dikenakan pada kedua elektroda tersebut sehingga atom gas pada anoda terionisasi. Ion positif ini dipercepat kearah katoda dan ketika menabrak katoda menyebabkan beberapa logam pada katoda terpental dan berubah menjadi uap. Atom yang teruapkan ini tereksitasi ke tingkat energi elektron yang lebih tinggi, ketika kembali ke keadaan dasar atom-atom memancarkan sinar dengan panjang gelombang tertentu yang dipilih dengan monokromator akan diserap oleh uap atom yang berada dalam nyala yang berasal dari sampel. Sinar yang terabsorpsi paling kuat biasanya adalah sinar yang berasal dari transisi elektron ke tingkat eksitasi terendah (Mudasir, 2003).

1. Sumber atomisasi

Proses atomisasi adalah suatu proses perubahan sampel dalam bentuk larutan menjadi spesies atom dalam nyala. Umumnya dibagi menjadi 2 (dua) yaitu: sistem nyala dan sistem tanpa nyala. Untuk kebanyakan instrumen sumber atomisasi ini adalah nyala dan sampel diintroduksi dalam bentuk larutan. Sampel masuk ke nyala dalam bentuk aerosol. Aerosol biasanya dihasilkan oleh pengabut (*nebulizer*) yang dihubungkan ke nyala oleh ruang penyemprot (*chamber spray*). Adapun beberapa jenis nyala antara lain nyala udara asetilen dan nitrous oksida asetilen. Sedangkan oksidatornya adalah udara, oksigen, N_2O dan asetilen. Efisiensi

pengatoman ini tergantung pada sifat-sifat fisik larutan sampel, cara penyemprotan dan pengabutannya serta jenis bahan bakar yang digunakan. Proses atomisasi dengan nyala api berlangsung melalui lima tahap, yaitu :

1. Penyemprotan dan pengkabutan sampel.
2. Pengendapan butir cairan.
3. Pencampuran butir cairan dengan gas pembakar.
4. Disulvasi butir cairan.
5. Penguraian dan pemecahan senyawa.

2. Monokromator

Fungsi monokromator adalah mengisolir salah satu garis resonansi dari sekian banyak spektrum yang dihasilkan oleh Hollow-Cathoda lamp. Monokromator harus dapat mengisolir hanya satu garis resonansi. Kesanggupan untuk memisahkan spektrum sinar merupakan faktor yang paling penting dari suatu monokromator.

3. Detektor

Detektor merupakan suatu alat yang mengubah energi cahaya menjadi energi listrik, yang memberikan suatu isyarat listrik berhubungan dengan daya radiasi yang diserap oleh permukaan yang peka.

4. Sistem pengolah

Sistem pengolah berfungsi untuk mengolah kuat arus dari detektor menjadi besaran daya serap atom transmisi yang selanjutnya diubah menjadi data dalam sistem pembacaan.

5. Sistem pembacaan

Sistem pembacaan merupakan bagian yang menampilkan suatu angka atau gambar yang dapat dibaca oleh mata.

3.8.4 Optimasi Peralatan SSA

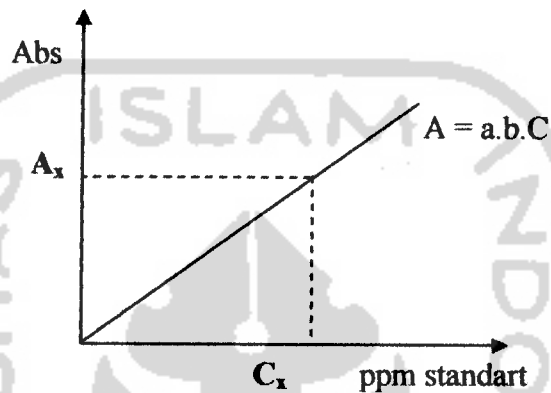
Optimasi pada peralatan SSA agar memberikan wacana dan sejauh mana sensitivitas dan batas deteksi alat terhadap sampel yang akan dianalisis, optimasi pada peralatan AAS meliputi:

- Pemilihan persen (%) pada transmisis
- Kemampuan arus lampu Hollow Chatode
- Lebar celah (slith width)
- Kedudukan lampu terhadap focus slit
- Kedudukan panjang gelombang (λ)
- Set monokromator untuk memberikan sinyal maksimum
- Pemilihan nyala udara tekanan asetilen
- Kedudukan atas kecepatan udara tekan
- Kedudukan atas kecepatan asetilen
- Kedudukan burner agar memberikan absorbansi maksimum

3.8.5 Metode Kurva Standart

Dalam metode ini dibuat suatu seri larutan standart dengan berbagai konsentrasi dan absorbansi dan larutan tersebut diukur dengan SSA. Langkah

selanjutnya adalah membuat grafik antara konsentrasi (C) dengan absorbansi (A) yang akan merupakan garis lurus melewati titik nol dengan slope = $\epsilon \cdot b$ atau slope = $a \cdot b$. Konsentrasi larutan sampel dapat dicari setelah absorbansi larutan sampel diukur dan diinterpolasi ke dalam kurva kalibrasi atau dimasukkan ke dalam persamaan garis lurus yang diperoleh dengan menggunakan program regresi linier pada kurva kalibrasi.



Gambar 3. Kurva Kalibrasi

(Mudasir, 2003)

3.8.6 Gangguan Dalam Spektrofotometri Serapan Atom

Secara umum ada tiga macam gangguan dalam spektrofotometri serapan atom (Khopkar, 1990), yaitu:

1. Gangguan ionisasi

Biasanya terjadi pada unsur alkali alkali tanah karena unsur-unsur tersebut mudah terionisasi dalam nyala. Gangguan ini dapat diatasi dengan menambahkan unsur yang lebih mudah terionisasi.

2. Gangguan akibat terbentuknya senyawa *refractory*

Gangguan ini diakibatkan oleh reaksi antara analit dengan senyawa kimia yang dapat menghasilkan suatu senyawa yang sulit terurai.

3. Gangguan fisik

Gangguan fisik adalah parameter yang dapat mempengaruhi kecepatan sampel sampai ke nyala. Parameter-parameter tersebut adalah kecepatan alir gas, berubahnya viskositas sampel akibat temperatur atau solven dan perubahan temperatur nyala.

3.9 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka dan kajian teori, maka hipotesis dapat disusun sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini pola tanam dan waktu kontak berpengaruh terhadap penyerapan logam berat krom (VI) oleh tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes L*)
2. Pada penelitian ini efek toksisitas logam berat krom (VI) berpengaruh terhadap morfologi tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes L.*).

BAB IV
METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Alat dan Bahan

4.1.1 Alat

- a. Pot-pot plastik ukuran 5 L
- b. Timbangan biasa (cariba)
- c. Neraca digital (Sartorius BP-410)
- d. Alat fotografi
- e. Peralatan gelas
- f. Botol Kaca
- g. Krusibel
- h. Lempengan Pemanas (Labinco L-34)
- i. Kompor listrik
- j. Kertas saring whatman 41
- k. pH meter (WTW)
- l. Spektrofotometer Serapan Atom model AA-782 Nippon Jarell Ash

4.1.2 Bahan

- a. Kayu Apu (*Pistia stratiotes.L*)
- b. $K_2Cr_2O_7$ kristal p.a (Merck)
- c. KH_2PO_4 kristal p.a (Merck)

- d. NaOH kristal p.a (Merck)
- e. Larutan HNO₃ 65 % dan 10 % p.a (Merck)
- f. Larutan standar Cr 1000 ppm

4.2 Cara Kerja

4.2.1 Anti Kontaminan

Anti kontaminan merupakan perlakuan terhadap peralatan gelas pada laboratorium sebelum digunakan untuk analisis, agar alat-alat tersebut bebas dari kontaminan yang dapat menyebabkan gangguan pada saat analisis.

Sebelum peralatan gelas digunakan terlebih dahulu dilakukan anti kontaminan yang direndam selama semalam dalam larutan HNO₃ 10% (v/v). setelah itu dibilas dengan aquades dan dikeringkan kemudian peralatan gelas disimpan pada tempat yang bebas dari debu atau dari kontaminan lainnya (Carasek dkk, 2000).

4.2.2 Aklimasi

Sebelum digunakan untuk penelitian, dilakukan aklimasi tumbuhan kayu apu yang bertujuan untuk penyesuaian. Aklimasi dilakukan dengan menanam tumbuhan tersebut dalam air (air yang digunakan adalah air PDAM) selama 7 hari tanpa pergantian air. Kayu apu yang digunakan dipilih berdasarkan perkiraan umur yang sama, bobot tanaman yang sama, jumlah ruas yang sama, panjang akar yang sama, densitas (perkiraan jumlah akar sama) akar yang sama, dan tanaman tidak memiliki perpanjangan stolon atau dengan kata lain tanaman tunggal. Sebelum diaklimasi, terlebih dahulu tanaman dibersihkan dan dicuci dengan air.

4.2.3 Larutan Buffer

Larutan buffer yang digunakan dalam penelitian berfungsi untuk menjaga kondisi atau mempertahankan keadaan pH pada medianya. Pembuatan larutan buffer pada penelitian ini menggunakan campuran KH_2PO_4 dan NaOH , dengan komposisi 100 mL KH_2PO_4 0,1 M ditambahkan dengan X mL NaOH 0,1 M (untuk 1 L media). Untuk 0,1 M KH_2PO_4 dibuat dengan melarutkan 1,36 gram KH_2PO_4 dalam 100 mL pelarut sedangkan untuk 0,1 M NaOH dibuat dengan melarutkan 4 gram NaOH dalam 1000 mL pelarut. Dan untuk pembuatan larutan buffer dengan pH 7, dibuat dengan mencampurkan 100 mL KH_2PO_4 dengan 58,2 mL NaOH dalam 1 L media. Selengkapnya lihat pada lampiran 1.

4.2.4 Pembuatan Larutan Induk Krom (VI) 1000 mg/L

Diambil 2,74 gram $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dan dilarutkan dengan aquades di dalam gelas beker 100 ml kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 ml dan ditambahkan aquades sampai tepat tanda batas. Perhitungan selengkapnya lihat pada lampiran 1.

4.2.5 Penanaman Kayu Apu

1. Berat tanaman dipilih dan ditimbang dengan berat basah 80–100 gram. Terlebih dahulu tanaman dicuci dan dibersihkan dengan air kemudian perkiraan umur yang sama, bobot yang sama, jumlah ruas yang sama, panjang akar yang sama dan akar tidak memiliki perpanjangan stolon (tanaman tunggal).
2. Disiapkan 5 pot media yang akan dibagi berdasarkan perlakuan pola tanamnya untuk memberikan variasi hasil yang diperoleh.

3. Pada masing-masing pot media ditambahkan larutan buffer untuk menjaga pH agar tetap konstan (keadaan netral) kemudian ditambahkan konsentrasi logam krom (VI) 5 mg/L dan ditambahkan air kran sampai 4 liter, selanjutnya tanaman kayu apu dimasukkan kedalam pot media dengan waktu pengamatan 7, 14 dan 21 hari dengan pH larutan dibuat sama yaitu $\text{pH} = 7$.
4. Dan dibuat juga satu media tanaman yang berfungsi sebagai kontrol yang hanya ditambahkan larutan buffer saja dan tanpa pemberian logam krom (VI).

4.2.6 Tahapan Perlakuan Tanaman Kayu Apu

Ada tiga tahapan perlakuan tanaman kayu apu, yaitu:

1. Tahapan Isolasi

Dimana pada tahapan ini disediakan tiga buah media yang masing-masing medianya berisi satu ruas tanaman kayu apu untuk perlakuan panen 7, 14 dan 21 hari, dimana setiap media diberikan perlakuan yang sama yaitu : diberi air dengan jumlah yang sama yaitu 4 Liter, penambahan logam yang sama dan parameter tanaman yang sama. Hal ini bertujuan agar proses penyerapan logam pada tanaman yang satu dengan yang lain sama walaupun dengan perbedaan waktu panen.

2. Tahapan Harvesting

Dimana pada tahapan ini disediakan satu media yang memiliki kapasitas besar untuk diisikan tiga buah tanaman kayu apu dalam perlakuan panen 7, 14 dan

21 hari, dengan parameter tanaman yang sama dan ditanam pada waktu yang sama.

3. Tahapan Pergantian

Pada tahapan ini hampir sama dengan tahapan harvesting, perbedaannya terletak pada cara penanaman tanaman kayu apu. Jika pada tahapan harvesting tanaman kayu apu ditanam pada waktu yang bersamaan, pada tahapan ini tanaman kayu apu ditanam pada waktu yang berbeda namun pada medium yang sama atau medium tidak mengalami perubahan jumlah air dan jumlah logam.

4.3 Preparasi Sampel

Untuk melihat kapasitas serapan logam krom (VI) pada sampel, sampel tidak dapat langsung dianalisis karena sampel berbentuk padatan yaitu akar. Maka sebelum dianalisis sampel didestruksi terlebih dahulu, destruksi yang digunakan destruksi basah dengan penambahan asam HNO_3 pekat.

Mula-mula sampel akar yang sudah kering dipotong kecil-kecil kemudian ditimbang dalam krusibel. Gram sampel berat kering yang sudah ditentukan dimasukkan ke dalam gelas beker 100 mL dan ditambahkan 25 mL HNO_3 65%, kemudian ditutup rapat dan didiamkan selama 48 jam. Setelah itu suspensi dipanaskan sambil diaduk dengan magnetik stirrer pada suhu 60°C dengan kecepatan 200 rpm selama 1 jam. Lalu suspensi didinginkan dengan suhu kamar, kemudian ditambahkan 25 mL aquades, dan selanjutnya dipanaskan kembali sambil diaduk

selama 5 menit. Kandungan suspensi disaring dengan kertas whatman 41. Larutan yang telah jernih dimasukkan kedalam gelas beker dan dipanaskan diatas kompor listrik hingga volume larutan tersisa 10 mL. Larutan yang tersisa 10 ml tadi dimasukkan kedalam labu ukur 25 ml dan ditambahkan aquades sampai tanda batas. Kemudian dimasukkan ke dalam botol kaca dan ditutup rapat simpan pada suhu 4 °C untuk dianalisis (Sastre dkk, 2002).

4.4 Preparasi sampel air

Untuk mengetahui seberapa besar logam krom (VI) yang tersisa di dalam pot media. Maka dilakukan terlebih dahulu preparasi sampel air yaitu :

Setelah dipanen maka air di media diambil 1000 ml untuk pola tanam isolasi 7, 14 dan 21 hari, pola tanam harvesting dan pergantian untuk waktu 7 dan 14 hari air diambil 100 ml ditambahkan 0,5 ml larutan HNO₃ pekat kemudian dipekatkan menjadi 2 ml, sedangkan untuk waktu 21 hari air diambil 1000 ml. Sampel air yang sudah diambil 1000 ml ditambahkan 5 ml larutan HNO₃ pekat, kemudian dipekatkan menjadi 10 ml setelah itu masukkan semua sampel ke dalam botol kaca yang gelap dan ditutup rapat simpan pada suhu 4 °C untuk dianalisis.

4.5 Analisis Spektrofotometri Serapan Atom

Penentuan konsentrasi logam berat kromium dilakukan dengan menggunakan seperangkat alat spektrofotometri serapan atom model AA-782 Nippon Jarell Ash. Logam berat kromium diukur dengan menggunakan metode nyala pada kondisi

optimum. Standarisasi alat spektrofotometri serapan atom digunakan larutan blanko dan dibuat deret larutan standar, dimana dari deret standar ini akan diperoleh kurva baku atau kurva standar linier yang dibuat berdasarkan absorbansi dari larutan spektrosol untuk logam kromium dengan konsentrasi yang telah diketahui. Perhitungan dalam pembuatan deret larutan standar disajikan dalam lampiran 1, sedangkan hasil absorbansi deret larutan standar logam kromium selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 3.

Penentuan konsentrasi kromium dilakukan dengan metode kurva kalibrasi. Perhitungan komponen slope dan intersep pada persamaan regresi linier dilakukan dengan menggunakan Microsoft Excel 4.0. Langkah-langkah penentuan regresi linier selengkapnya dapat dilihat pada lampiran. Melalui persamaan regresi linier kurva kalibrasi hubungan antara x dan y dinyatakan dengan persamaan :

$$Y = bx + a$$

Dengan, a = intersep

b = slope

Hubungan x dan y dinyatakan dengan nilai koefisien korelasi (r).

$$\text{Slope} = b = \frac{n \sum (xy) - \sum x \sum y}{n \sum (x^2) - (\sum x)^2}$$

$$\text{Intersep} = a = \frac{\sum y - m \sum x}{n}$$

$$\text{Koefisien korelasi} = r = \frac{n \sum (xy) - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum (x^2) - (\sum x)^2] [n \sum (y^2) - (\sum y)^2]}}$$

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

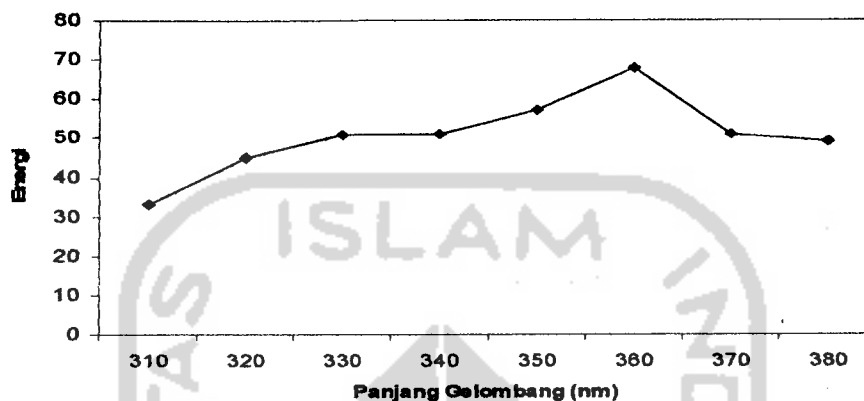
5.1 Optimasi Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Sebelum melakukan analisis dengan menggunakan alat SSA perlu dilakukan optimasi terlebih dahulu untuk memperoleh hasil yang baik, maka diperoleh populasi atom pada tingkat tenaga dasar yang paling banyak dalam nyala api yang dilewati radiasi. Semakin banyak atom pada keadaan dasar maka radiasi yang diserap makin banyak pula. Pada kondisi yang optimum akan diperoleh serapan yang maksimum dan perubahan serapan akibat perubahan konsentrasi akan lebih sensitif (Khozanah H, 2004). Kondisi optimum analisis logam kromium yang perlu mendapatkan perhatian untuk mendapatkan hasil analisis yang baik antara lain parameter laju udara asetilen, panjang gelombang, kuat arus dan tinggi pembakaran.

1. Pengukuran panjang gelombang

Penentuan ini merupakan resonansi (panjang gelombang) yang dapat memberikan serapan maksimal, yang dapat dimulai dari angka bawah panjang, yaitu dari gelombang 310–380 nm. Pada saat absorbansi yang dihasilkan maksimum dipilih berdasarkan perbandingan perubahan puncak yang paling mencolok antara serapan blanko dengan larutan standar, yaitu untuk logam berat kromium digunakan larutan standar 5 mg/L. Dalam penelitian ini diperoleh panjang gelombang optimum untuk logam berat kromium 357,9 nm, dimana energi

maksimal yang dihasilkan sebesar 71. Hasil pemilihan panjang gelombang dapat dilihat pada lampiran 2 dan pada gambar 4 menunjukkan grafik panjang gelombang Vs energi.



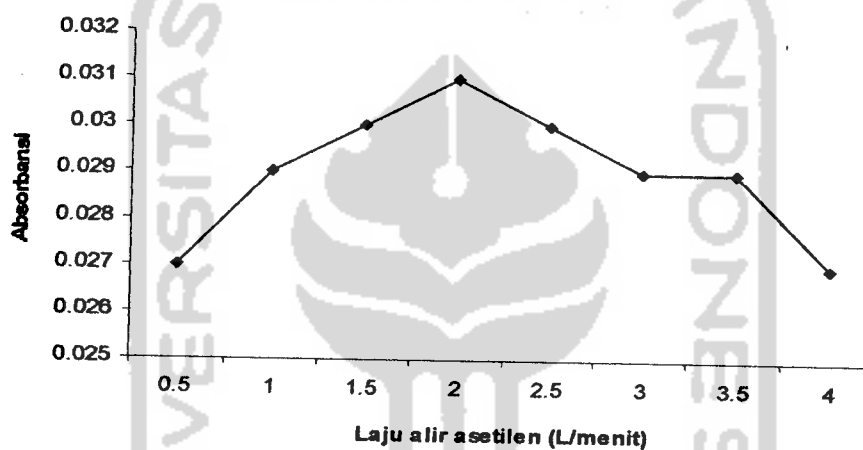
Gambar 4. Grafik panjang gelombang Vs energi

2. Kecepatan laju alir bahan bakar dan oksidan

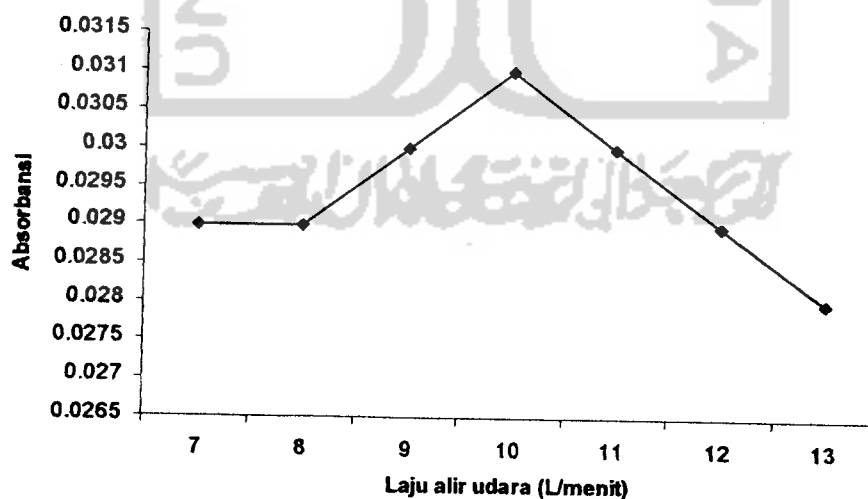
Laju alir bahan bakar dan oksidan yang dibutuhkan tergantung pada ukuran pembakaran (burner) dan komponen-komponen sampel. Penentuan bahan bakar untuk kromium digunakan asetilen dan udara (Khopkar, 1990). Asetilen dan udara berfungsi membawa sampel dalam bentuk larutan masuk kedalam sistem pengabutan yang akan mengubah sampel menjadi aerosol halus (uap) yang siap masuk ke dalam sistem nyala atau atomisasi. Sedangkan keuntungannya adalah dapat memberikan hasil yang maksimal, dapat digunakan untuk berbagai analisis, berbagai unsur dan memiliki tingkat sensitivitas serta kecermatan yang tinggi (Narsito, 1992).

Pada penelitian ini menggunakan larutan standar kromium dengan konsentrasi 5 mg/L pada kecepatan laju alir asetilen 0,5–4,0 L/menit. Hasil penentuan

kecepatan laju alir udara optimum adalah 2,0 L/menit. Dengan menggunakan kecepatan alir gas pembakar dan pengoksidan yang optimum maka proses atomisasi akan terjadi proses perubahan unsur metalik menjadi uap (aerosol halus) yang masuk ke dalam sistem nyala. Kecepatan ini akan mempengaruhi banyaknya atom tingkat tenaga dasar pada tinggi pembakar tertentu. Hasil optimum dari pemilihan kecepatan laju alir asetilen dan laju alir udara dapat dilihat pada gambar 5 dan 6 sebagai berikut :



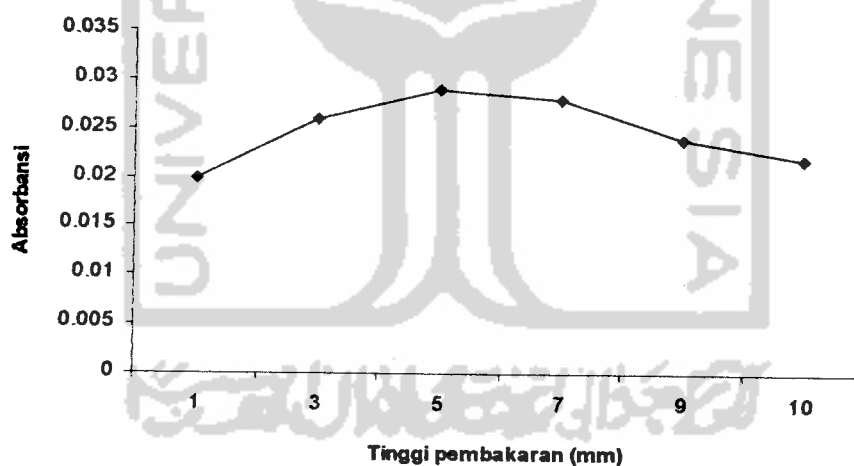
Gambar 5. Grafik Kecepatan laju alir asetilen



Gambar 6. Grafik kecepatan laju alir udara

3. Tinggi pembakaran

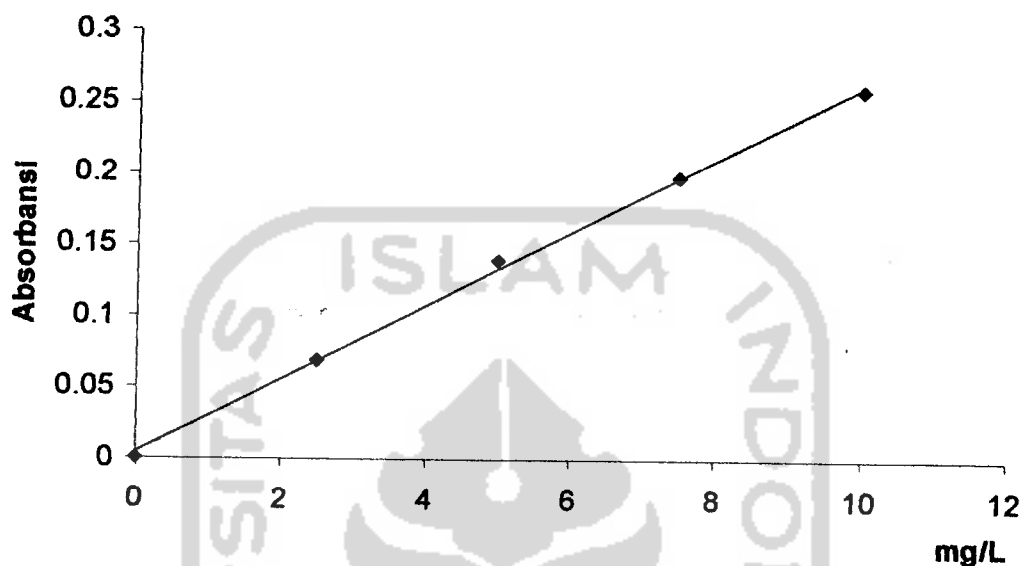
Suatu unsur dapat teratomkan pada kondisi tinggi pembakar yang berbeda-beda. Untuk mencari tinggi pembakar optimal digunakan larutan standar dengan variasi tinggi pembakar sehingga diperoleh absorbansi yang maksimal. Pemilihan tinggi pembakar terus menentukan ketelitian pada suatu unsur dengan SSA, dan variasi tinggi pembakar dapat digambarkan menjadi suatu grafik yang selanjutnya diketahui pada ketinggian tertentu suatu unsur dapat diatomkan secara sempurna. Pada penelitian ini digunakan larutan standar dengan konsentrasi 5 mg/L pada variasi tinggi pembakar 1,0–10,0 mm, diperoleh hasil optimum untuk kromium 5,0 mm. Dapat dilihat pada gambar 7 tinggi pembakar Vs absorbansi sebagai berikut :



Gambar 7. Grafik tinggi pembakaran Vs absorbansi

Kapasitas serapan logam krom (VI) pada kayu apu dapat ditentukan dengan menggunakan spektrofotometri serapan atom nyala, dengan menggunakan campuran bahan bakar udara asetilen. Kondisi optimasi spektrofotometri serapan atom nyala

selengkapnya ditunjukkan pada lampiran 2. Kurva standar untuk logam kromium ditunjukkan pada gambar sebagai berikut :



Gambar 8. Kurva standar logam Kromium

Persamaan regresi linier dan koefisien korelasi untuk logam kromium adalah $y = 0,02584 x + 0,0036$ dengan r (correl) adalah 0.99927. Kurva kalibrasi yang memiliki harga $r \approx 1$ menunjukkan korelasi yang sempurna antara absorbansi dengan konsentrasi larutan (Keabsahan hukum Bouguer-Lambert-Beer terpenuhi). Selanjutnya persamaan regresi linier dari kurva kalibrasi logam kromium akan digunakan untuk menentukan kapasitas serapan logam krom (VI) yang terdapat pada sampel dengan perbedaan pola tanam. Data pembuatan kurva kalibrasi selengkapnya ditunjukkan pada lampiran 3.

5.2 Analisis Logam Krom (VI)

5.2.1 Perlakuan Awal Tanaman

Tanaman kayu apu yang dipilih dengan bobot yang sama dan sifat fisik yang sama pula, dimana berat basah berkisar 80–100 gram dan diaklimasikan pada pot media yang berisi air kran agar tanaman dapat beradaptasi dengan lingkungan yang baru sehingga pada saat perlakuan tanaman dapat berjalan baik dan tumbuh dengan baik. Setelah aklimasi 7 hari, maka dilakukan pembagian pola tanam yaitu : Isolasi, Harvesting dan Pergantian dengan masing–masing memiliki waktu kontak 7, 14 dan 21 hari serta kontrol tanpa pemberian logam krom (VI). Kemudian masing–masing pola tanam dilakukan penanaman di dalam pot media yang berisi 4 liter air kran dan diberikan larutan buffer phospat dengan pH = 7 (dalam keadaan netral) serta logam krom (VI) dengan konsentrasi 5 mg/L.

5.2.2 Perlakuan Awal Sampel

Sampel akar tanaman kayu apu yang mengandung logam krom (VI) dipotong–potong kecil, kemudian ditimbang gram berat kering dan pilih berat yang ditentukan. Setelah itu dilakukan distruksi, dalam penelitian ini menggunakan perlakuan distruksi basah dengan penambahan asam HNO₃ pekat yang berfungsi sebagai pelarut karena kemampuan ion nitrat untuk berperan sebagai agen pengoksidasi yang kuat, yang dapat mengakibatkan kenaikan suhu peleburan cuplikan sampai 350 °C maka komponen yang dapat menguap pada suhu tinggi dapat tetap dipertahankan. Keuntungannya yaitu kelebihan asam dapat dengan mudah

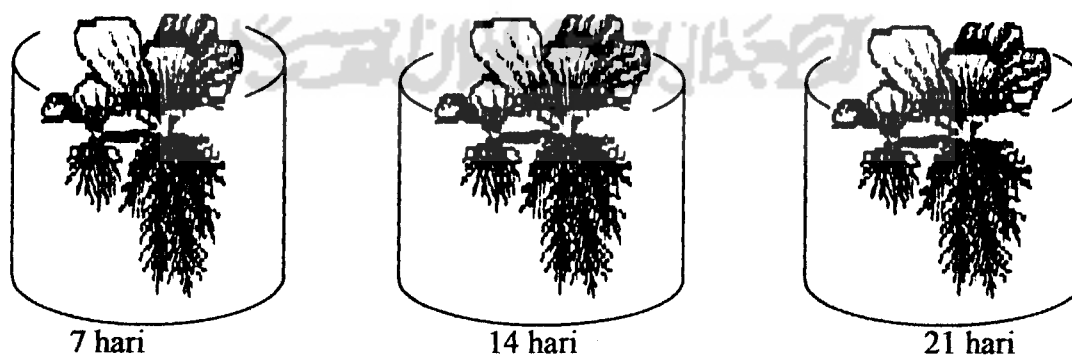
dihilangkan selain itu nitrat adalah matrik yang dapat diterima oleh alat spektrofotometer serapan atom dengan nyala (Setyaningsih, 2003).

5.3 Tahapan Pola Tanam

Dalam penelitian ini menggunakan variasi tiga pola tanam yaitu : isolasi, harvesting dan pergantian dan masing-masing memiliki waktu kontak yang sama yaitu 7, 14 dan 21 hari. Perbedaan pola tanam yang dipakai dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui cara penanaman yang efektif terhadap besarnya penyerapan logam krom (VI) oleh akar tanaman kayu apu apabila diberikan perlakuan yang sama terhadap tanaman.

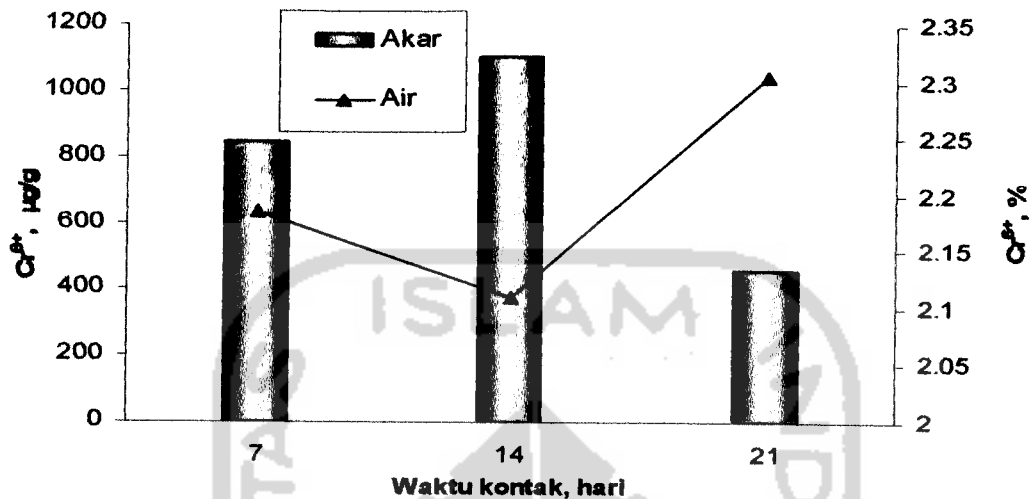
5.3.1 Pola Tanam Isolasi

Pola tanam isolasi merupakan suatu tahapan pemisahan tunggal yang menggunakan satu media dengan satu tanaman, sehingga untuk pola tanam isolasi 7, 14 dan 21 hari masing-masing media diberikan satu tanaman kayu apu, dengan memberikan perlakuan yang sama dan start waktu yang sama pula. Dapat dilihat pada gambar 9 proses pola tanam isolasi :



Gambar 9. Pola tanam Isolasi

Dari analisis diperoleh data serapan logam krom (VI) pada akar dan kadar air di dalam media, dapat dilihat pada gambar 10 dibawah ini :



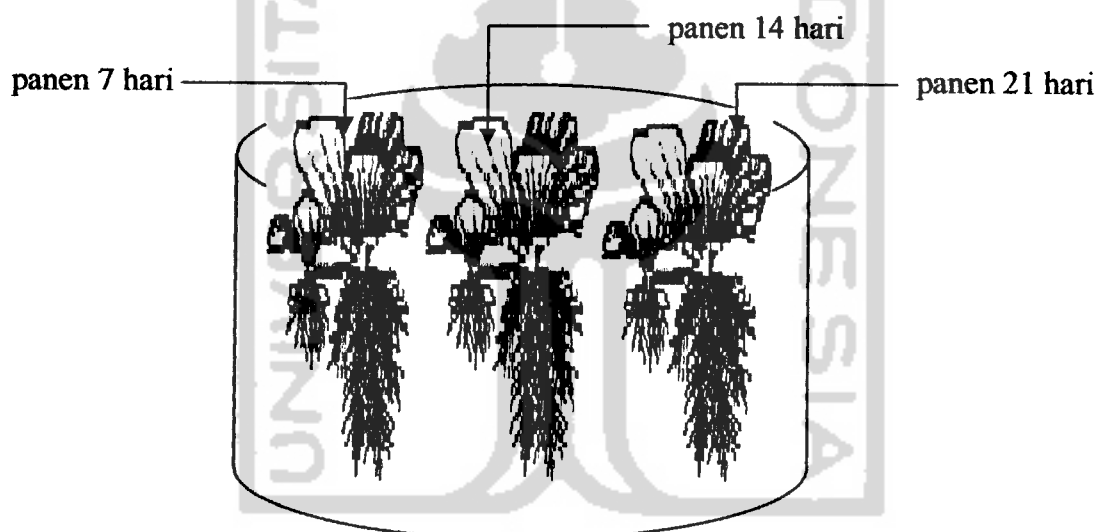
Gambar 10. Serapan logam krom (VI) dalam akar dan kadar air pada pola isolasi

Dari gambar 10 terlihat ada perbedaan penyerapan logam krom (VI) oleh akar tanaman kayu apu dan menunjukkan kadar logam krom (VI) dalam air dipot media yang tidak terserap oleh akar (air sisa). Penyerapan logam krom (VI) pada waktu kontak 7 hari sebesar 849,04 µg/g berat kering dengan kadar airnya 2,186 % yang menunjukkan bahwa sudah ada penyerapan tetapi belum terlihat penyerapan yang berarti dibandingkan dengan waktu kontak 14 hari sebesar 1100,17 µg/g berat kering dan kadar air 2,109 %, tetapi pada waktu kontak 21 hari tingkat penyerapan logam krom (VI) menurun yang hanya menyerap sebesar 456,9 µg/g berat kering dan kadar air 2,304 % yang tersisa dalam media. Sehingga cemaran logam krom (VI) di dalam media masih banyak yang belum terserap oleh akar tanaman sesuai dengan kadar logam krom (VI) dalam air dipot media, ini bisa disebabkan karena kejenuhan

tanaman sehingga tanaman tidak mampu lagi untuk menyerap cemarannya. Maka dapat disimpulkan bahwa penyerapan optimum logam krom (VI) oleh akar tanaman kayu apu untuk pola tanam isolasi ditunjukkan pada waktu kontak 14 hari.

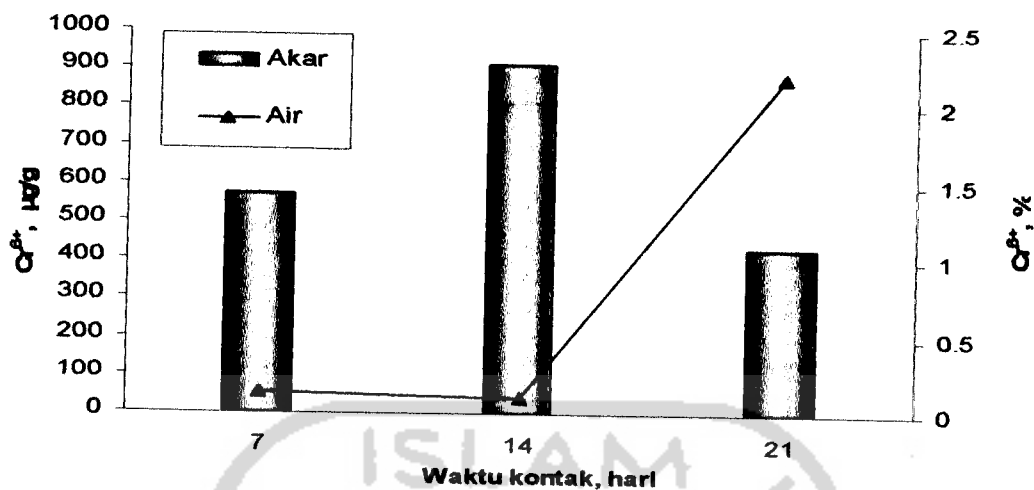
5.3.2 Pola Tanam Harvesting

Pola tanam harvesting merupakan suatu proses penyerapan yang bersama-sama menggunakan satu pot media saja dengan tanaman lebih dari satu dan dilakukan waktu panen yang bertahap (satu persatu). Dan dapat dilihat pada gambar 11 proses pola tanam harvesting sebagai berikut :



Gambar 11. Pola tanam Harvesting

Dari analisis diperoleh data serapan logam krom (VI) pada akar dan kadar air di dalam media, dapat dilihat pada gambar 12 dibawah ini :



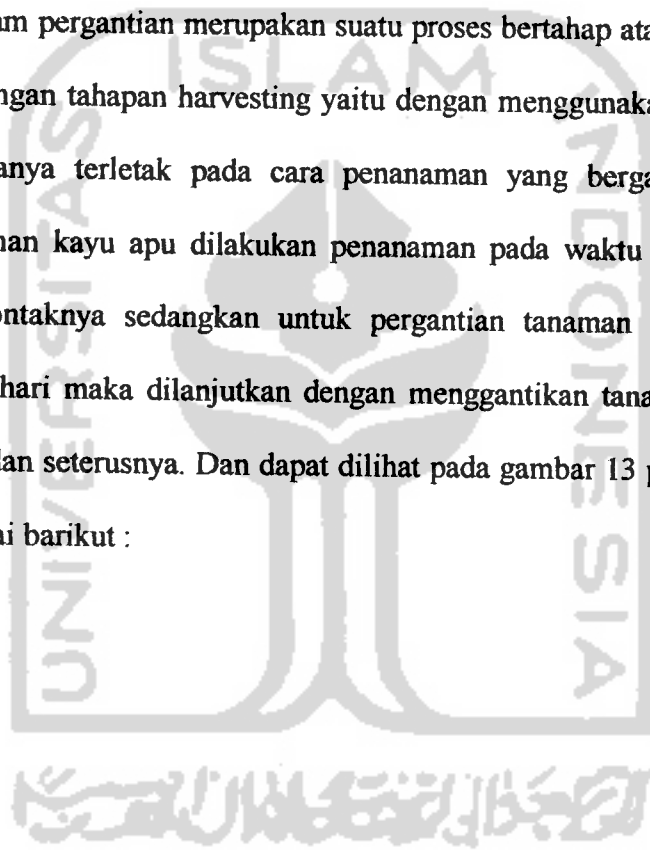
Gambar 12. Serapan logam krom (VI) dalam akar dan kadar air pada pola harvesting

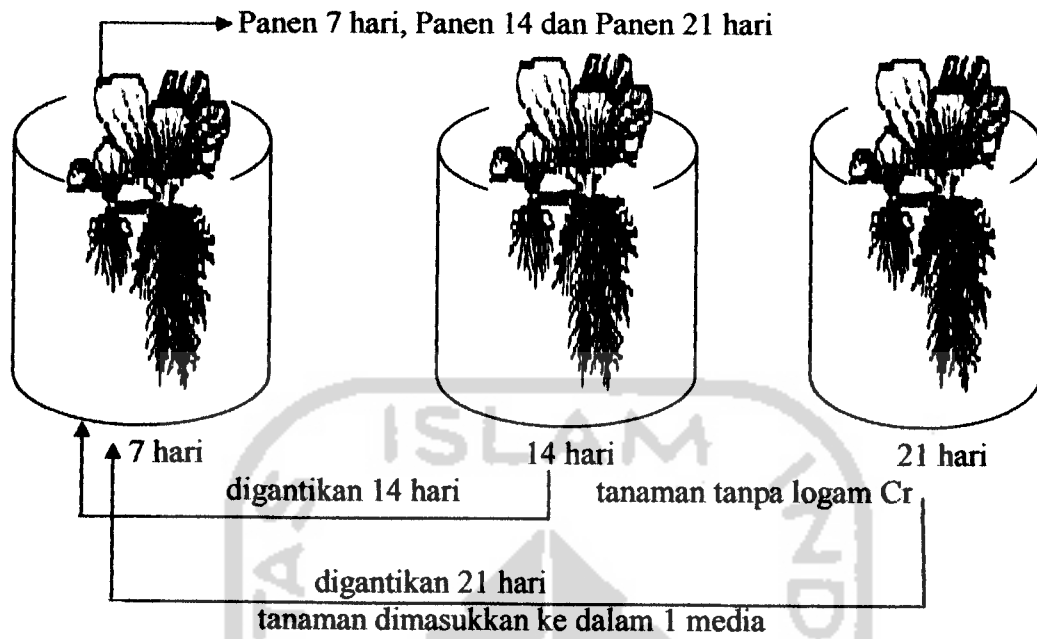
Dari gambar 12 terlihat ada perbedaan penyerapan logam krom (VI) oleh akar tanaman kayu apu dan menunjukkan kadar logam krom (VI) dalam air dipot media yang tidak terserap oleh akar (air sisa). Penyerapan logam krom (VI) pada waktu kontak 7 hari sebesar 572,61 µg/g berat kering dengan kadar airnya 0,137 % yang menunjukkan bahwa sudah ada penyerapan tetapi belum terlihat penyerapan yang berarti dibandingkan dengan waktu kontak 14 hari sebesar 882,67 µg/g berat kering dan kadar air 0,101 %, tetapi pada waktu kontak 21 hari tingkat penyerapan logam krom (VI) menurun yang hanya menyerap sebesar 431,10 µg/g berat kering dan kadar air 2,191 % yang tersisa dalam media. Sehingga cemaran logam krom (VI) di dalam media masih banyak yang belum terserap oleh akar tanaman sesuai dengan kadar logam krom (VI) dalam air dipot media, ini bisa disebabkan karena kejenuhan tanaman sehingga tanaman tidak mampu lagi untuk menyerap cemarannya. Pada pola tanam harvesting ini terjadi kompetisi antar tanaman dalam penyerapan logam krom

(VI) sehingga kadar yang terserap pada masing-masing tanaman sangat berbeda. Maka dapat disimpulkan bahwa penyerapan logam krom (VI) yang optimum oleh akar tanaman kayu apu pada pola tanam harvesting ditunjukkan pada waktu kontak 14 hari.

5.3.3 Pola Tanam Pergantian

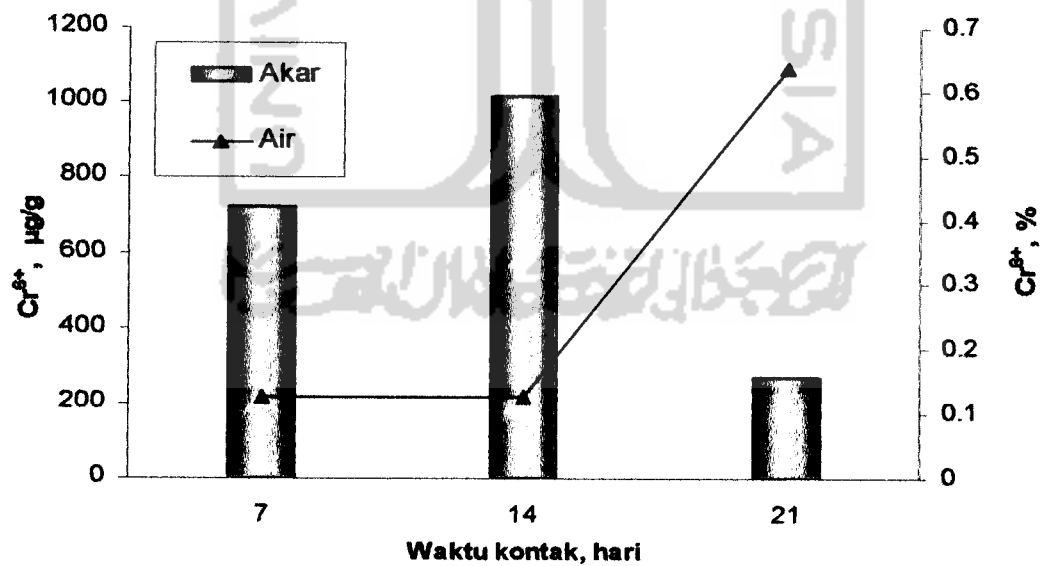
Pola tanam pergantian merupakan suatu proses bertahap atau bergantian yang hampir sama dengan tahapan harvesting yaitu dengan menggunakan satu pot media, hanya saja bedanya terletak pada cara penanaman yang bergantian. Pada pola harvesting tanaman kayu apu dilakukan penanaman pada waktu yang sama untuk setiap waktu kontak, sedangkan untuk pergantian tanaman pertama ditanam, setelah panen 7 hari maka dilanjutkan dengan menggantikan tanaman baru (waktu kontak 14 hari) dan seterusnya. Dan dapat dilihat pada gambar 13 proses pola tanam pergantian sebagai berikut :





Gambar 13. Pola tanam Pergantian

Dari analisis sampel diperoleh data serapan logam krom (VI) pada akar dan kadar air di dalam media, dapat dilihat pada gambar 14 dibawah ini :

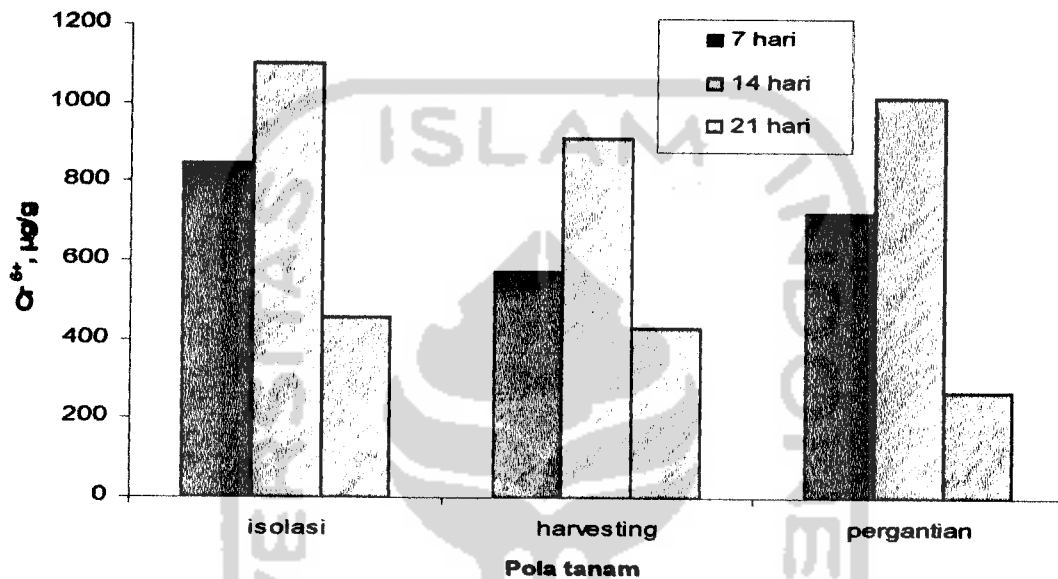


Gambar 14. Serapan logam krom (VI) dalam akar dan kadar air pada pola pergantian

Dari gambar 14 terlihat ada perbedaan penyerapan logam krom (VI) oleh tanaman kayu apu dan menunjukkan kadar logam krom (VI) dalam air dipot media yang tidak terserap oleh akar (air sisa). Penyerapan logam krom (VI) pada waktu kontak 7 hari sebesar 723,11 $\mu\text{g/g}$ berat kering dengan kadar airnya 0,127 % yang menunjukkan bahwa sudah ada penyerapan tetapi belum terlihat penyerapan yang berarti dibandingkan dengan waktu kontak 14 hari sebesar 1015,71 $\mu\text{g/g}$ berat kering dan kadar air 0,126 %, tetapi pada waktu kontak 21 hari tingkat penyerapan logam krom (VI) menurun yang hanya menyerap sebesar 270,66 $\mu\text{g/g}$ berat kering dan kadar air 0,637 % yang tersisa dalam media. Sehingga cemaran logam krom (VI) di dalam media masih banyak sekali yang belum terserap oleh akar tanaman kayu apu sesuai dengan kadar logam krom (VI) dalam air dipot media, ini disebabkan karena kejenuhan tanaman kayu apu sehingga tanaman tidak mampu lagi untuk menyerap cemarannya. Perbedaan penyerapan pada pola tanam pergantian disebabkan oleh menggantikan tanaman baru pada setiap panennya sehingga memungkinkan banyak atau sedikitnya penyerapan dan masa penyerapannya masing-masing hanya 7 hari saja untuk masing-masing tanaman. Sehingga dapat disimpulkan penyerapan logam krom (VI) yang optimum oleh akar tanaman kayu apu ditunjukkan pada waktu kontak 14 hari.

5.4 Pengaruh Tahapan Pola Tanam Dengan Waktu Kontak

Dalam penelitian ini diperoleh pengaruh pola tanam terhadap waktu kontak. Pengaruh pola tanam dan waktu kontak pada tanaman kayu apu ditunjukkan pada gambar 15 dan data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 5.



Gambar 15. Pengaruh tahapan pola tanam terhadap waktu kontak

Pada gambar 15 terlihat bahwa perbedaan pola tanam berpengaruh terhadap penyerapan logam krom (VI) oleh tanaman kayu apu. Hal ini terkait dengan pertumbuhan tanaman yang disebabkan terjadinya perbedaan kemampuan dalam penyerapan logamnya. Tanaman menyerap logam krom (VI) melalui akar-akarnya, didalam akar tanaman kayu apu membentuk siderofor yang dapat mengikat logam krom (VI) dan membawanya ke dalam sel akar melalui transfort aktif. Selanjutnya logam krom (VI) yang diserap akan diangkat (dialirkan) melalui jaringan pengangkut xylem dan floem ke bagian lain (seperti pada batang dan daun).

Untuk membuktikan pengaruh pola tanam terhadap waktu kontak 7, 14 dan 21 hari pada sampel tanaman kayu apu dilakukan uji Statistik dengan menggunakan uji anava ($\alpha = 0,05$) dua arah karena menggunakan dua variabel analit. Berdasarkan uji anava menunjukkan bahwa nilai $F\text{-hitung} > F\text{-tabel}$ maka data tolak H_0 maka interaksi pola tanam*waktu kontak dalam penyerapannya sangat beda nyata dan dinyatakan bahwa pola tanam dipengaruhi oleh waktu kontak atau sebaliknya. Sehingga dapat disimpulkan dari data bahwa nilai $siq_{0,000} < 0,05$ maka ketiga pola tanam dan waktu kontak memiliki perbedaan yang signifikan terhadap daya serap tanaman kayu apu. Data statistik selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 6.

Pada gambar 15 pada waktu 7 hari telah terjadi penyerapan logam krom (VI) yang baik, tetapi tidak seoptimum yang terjadi pada waktu kontak 14 hari dan untuk waktu kontak ke 21 hari terjadi penurunan serapan. Hal ini bisa saja disebabkan : pertama, konsentrasi logam krom (VI) yang diserap oleh akar semakin berkurang karena banyak yang sudah terakumulasi ke bagian tubuh tanaman yang lain. Kedua, bisa disebabkan oleh kemampuan (keterbatasan) daya serap akar dalam penyerapan logam krom (VI) sehingga sudah maksimal penyerapannya pada waktu kontak 14 hari. Selain itu tanaman kayu apu merupakan tanaman yang sangat rapuh atau cepat sekali rusak. Jika penelitian ini diteruskan pada waktu kontak 22 hari dan seterusnya maka tanaman kayu apu akan mengalami keracunan dan metabolisme tanaman akan terganggu dan akan segera mati karena tidak bisa menampung lagi serapan logam krom (VI). Waktu kontak ke-14 hari merupakan penyerapan yang optimum pada

setiap pola tanam. Untuk isolasi serapannya sebesar 1100,17 $\mu\text{g/g}$ berat kering, harvesting sebesar 882,67 $\mu\text{g/g}$ berat kering dan pada pergantian serapannya sebesar 1015,71 $\mu\text{g/g}$ berat kering.

Berdasarkan data statistik bahwa semua pola tanam yang digunakan menghasilkan serapan yang berbeda, hal ini menunjukkan bahwa serapan antara pola tanam dengan waktu kontak ada interaksi satu dengan yang lainnya. Serapan logam krom (VI) yang optimal ditunjukkan pada pola tanam isolasi dengan waktu kontak 14 hari, yaitu sebesar 1100,17 $\mu\text{g/g}$ berat kering. Sehingga dapat disimpulkan pada waktu kontak 14 hari dengan pola tanam isolasi mampu menyerap logam krom (VI) secara maksimal oleh tanaman kayu apu.

Dari data statistik untuk pola tanam harvesting dan pergantian dapat dibandingkan bahwa penyerapan pada harvesting dengan waktu kontak 14 hari sebesar 882,67 $\mu\text{g/g}$ berat kering dan untuk pergantian dengan waktu kontak yang sama diperoleh serapan sebesar 1015,71 $\mu\text{g/g}$ berat kering. Dari kedua pola tersebut penyerapan yang optimum pada pola tanaman pergantian, ini disebabkan karena pada pergantian menggunakan tanaman baru sehingga penyerapannya bisa optimum dibandingkan dengan harvesting. Jika kedua pola tanam tersebut diterapkan dalam industri maka pola tanam harvesting yang lebih efisien digunakan dalam penghilangan kontaminan logam berat dari air buangan atau limbah industri karena lebih ekonomis dan efektif menghilangkan cemaran dalam penyediaan media untuk tanaman air khususnya tanaman kayu apu.

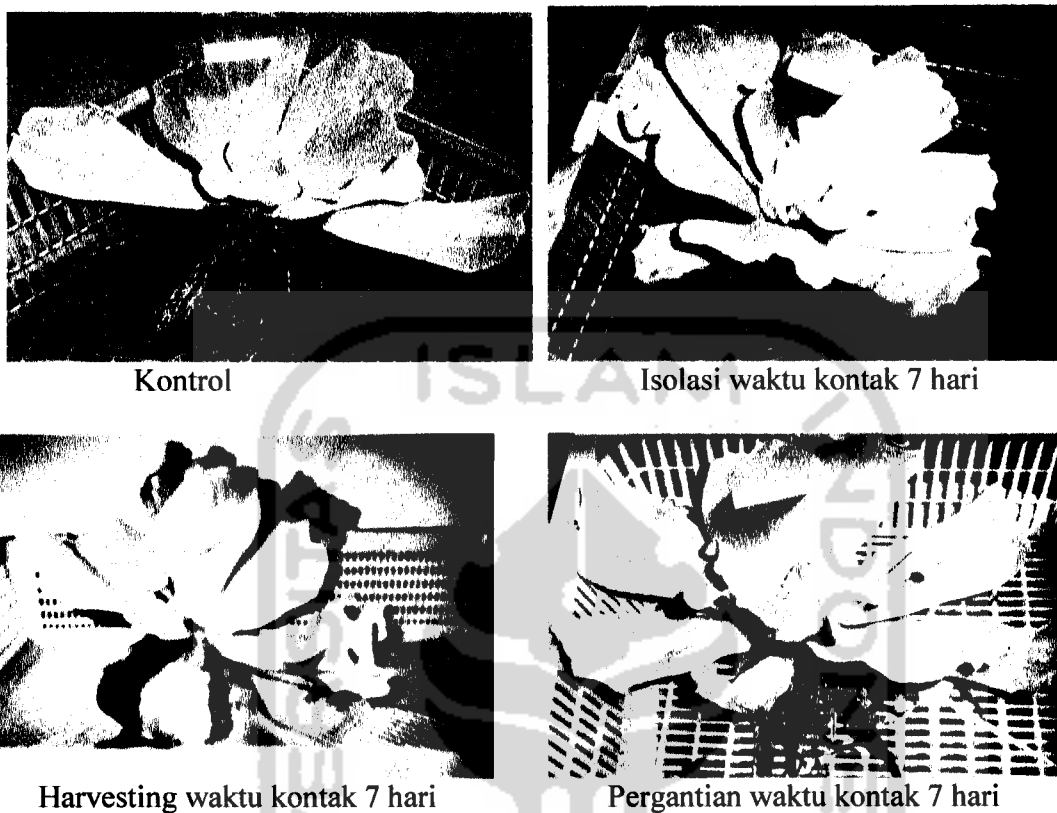
5.5 Fitotoksistas

Kemampuan dalam penyerapan logam krom (VI) yang dapat dilihat pada data-data sebelumnya, menunjukkan bahwa kemampuan tanaman dalam menyerap logam terbatas karena semakin banyak ion logam yang menumpuk (ditampung) di dalam jaringan tumbuhan akan semakin besar pula daya fototoksistasnya yang biasanya digunakan dalam proses metabolis (Ahmady, 1993).

Fitotoksistas yang di alami oleh tanaman kayu apu pada setiap parameternya dengan gejala-gejala sebagai berikut :

1. Waktu kontak 7 hari

Penambahan logam krom (VI) pada tanaman kayu apu untuk waktu kontak 7 hari, tanaman masih dapat berkembang dengan baik dan masih tumbuh subur. Logam krom (VI) yang terserap oleh tanaman kayu apu masih tertimbun pada bagian akar sehingga rambut-rambut akarnya panjang, berwarna hijau kecoklatan dan berkembang dengan baik. Selama penanaman 7 hari dari masing-masing tanaman kayu apu belum ada tumbuhnya stolon tetapi ada perubahan morfologi pada daun yang berwarna agak kekuning-kuningan dan ada yang berkeriput pada ujung daunnya. Hal ini dapat dilihat pada gambar 11 di bawah ini :

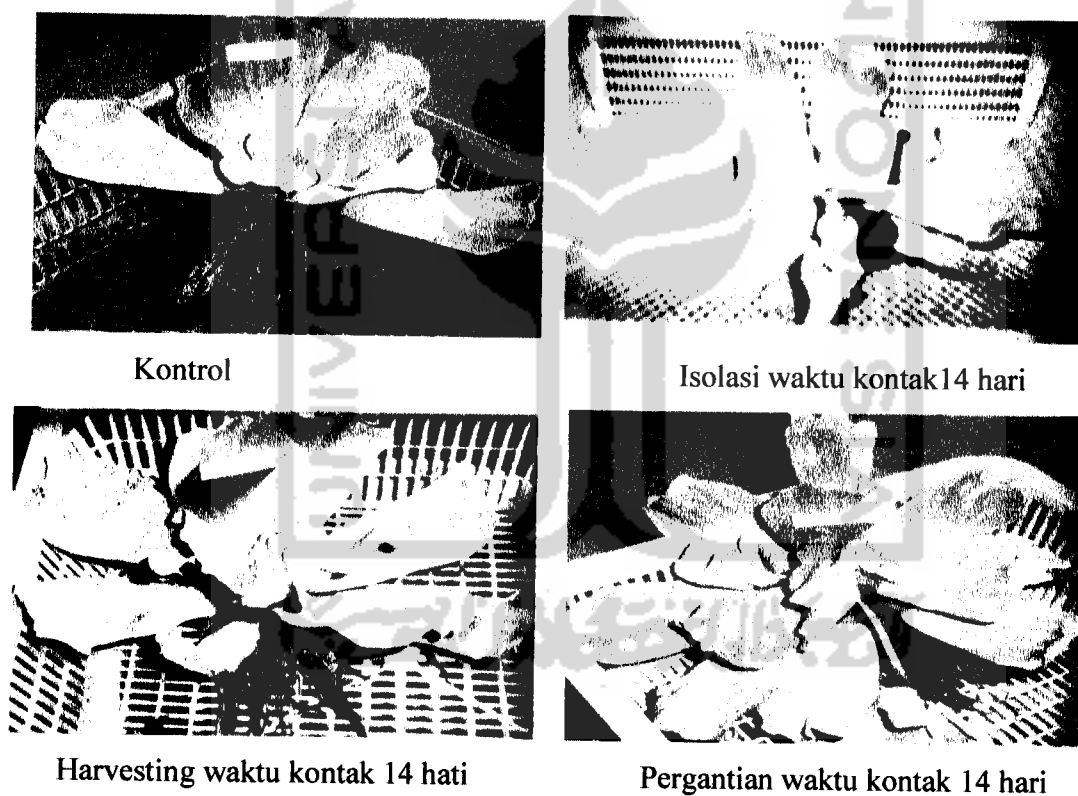


Gambar 16. Kondisi tanaman pada saat panen 7 hari dengan perbedaan pola tanam

2. Waktu kontak 14 hari

Pada waktu kontak ke 14 hari tanaman kayu apu mulai keracunan logam krom (VI), karena logam krom (VI) yang diserap oleh akar sudah mulai naik ke bagian tubuh tanaman sehingga mengalami perubahan morfologi daunnya menjadi layu, diujung daun menggulung (berkariput) serta bintik kuning pada daun dan pada akar pun sudah ada yang rontok dan berwarna coklat kehitaman sehingga tanaman menjadi rusak. Gejala layu, menguning serta membusuk pada daun tanaman menunjukkan berkurangnya zat hara dan terserapnya zat toksisitasnya oleh tumbuhan,

namun dengan munculnya tunas dan akar baru akan memungkinkan sebagai cara tumbuhan untuk tetap bertahan hidup (Hidayat, 2002). Toksisitas yang paling besar terdapat pada waktu kontak 14 hari, terutama pada pola tanam isolasi karena penyerapan logam krom (VI) paling optimum. Pengumpulan logam berat di dalam tubuh tanaman dapat mengakibatkan penurunan biomassa pada akar dan pucuk (tunas baru) (Kelly and Me Kee, 1979). Tanaman kayu apu yang mulai keracunan dapat dilihat pada gambar 12 di bawah ini :

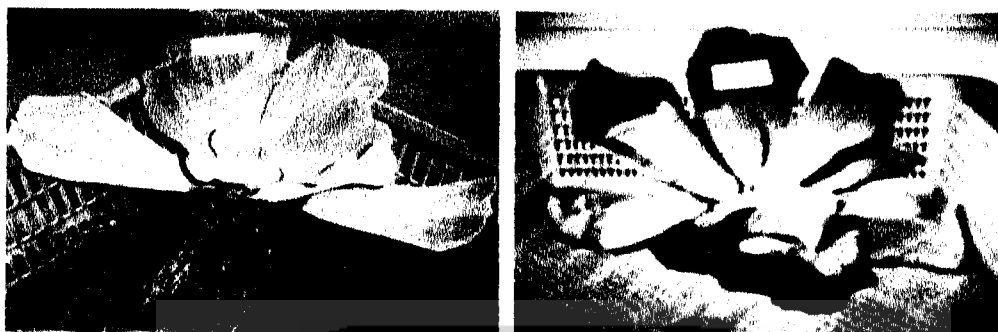


Gambar 17. Kondisi tanaman pada saat panen 14 hari dengan perbedaan pola tanam

3. Waktu kontak 21 hari

Pada waktu kontak 21 hari merupakan pengamatan terakhir dalam penelitian ini. Pada media yang tidak diberikan campuran logam krom (VI) hanya ditambahkan larutan buffer phospat, tanaman ini sebagai tanaman kontrol yang menunjukkan masih terlihat segar, hijau dan berkembang dengan baik hanya saja mulai tumbuh stolon. Sedangkan pada tanaman kayu apu yang lainnya menunjukkan perubahan morfologi yang menandakan bahwa tanaman ini sudah keracunan karena kandungan logam krom (VI) yang sudah diangkut atau dibawa ke tubuh bagian tanaman lain sehingga tidak ada lagi tempat penampung serapan logam krom (VI). Akarpun sudah banyak yang rontok berwarna hitam, daun banyak yang layu serta bintik-bintik kuning semakin banyak dan semakin berkeriput dibagian ujung daunnya serta tumbuhnya tunas baru atau stolon.

Tetapi pada pola tanam pergantian perubahan morfologinya tidak seperti pada pola tanam yang lain, ini disebabkan pada pola tanam pergantian untuk waktu kontak 21 hari sebelumnya telah digantikan tanaman baru jadi penyerapannya sama pada penyerapan waktu kontak 7 hari saja. Kemampuan tanaman dalam penyerapan logam krom (VI) terbatas karena semakin banyak ion logam yang menumpuk (ditampung) di dalam jaringan tumbuhan akan semakin besar pula daya fototoksisitasnya yang biasanya digunakan dalam proses metabolis. Dapat dilihat pada gambar 13 dibawah ini :



Kontrol

Isolasi waktu kontak 21 hari



Harvesting waktu kontak 21 hari

Pergantian waktu kontak 21 hari

Gambar 18. Kondisi tanaman pada saat panen 21 hari dengan perbedaan pola tanam

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan bahwa :

1. Efektifitas penyerapan logam krom (VI) pada tanaman kayu apu berdasarkan uji anava ($\alpha = 0,05$) dua arah dipengaruhi oleh pola tanam (Isolasi, Harvesting dan Pergantian) dan waktu kontak (7, 14 dan 21 hari). Optimasi penyerapan logam krom (VI) yang optimum oleh tanaman kayu apu dicapai pada waktu kontak 14 hari dengan pola tanam isolasi, yaitu sebesar 1100,17 $\mu\text{g/g}$.
2. Efek toksisitas cemaran logam krom (VI) oleh tanaman kayu apu sangat terlihat pada waktu kontak 14 hari pada semua pola tanam. Perubahan morfologi pada tanaman kayu apu menunjukkan rusaknya bagian daun dan batang, tanaman menjadi layu serta akarnya menjadi rapuh dan berwarna warna coklat kehitaman.

- Buckley, M., 2000, *Research Demonstrates Potential Of Plants to Break Down Some Types Of Explosives.*, URL : <http://aec-www.apgea.army.mil:8080/prod/useac/op/update/jan96/plants.htm> (14 January 2000; diakses Mei 2000).
- Carasek, E., Tonjes, J., and Scharf, M., 2002, *A New Method of Microvolume Back Extraction Procedure for Enrichment of Pb and Cd and Determination by Flame Atomic Absorption Spectrometry*, *Talanta* 56, 185–191.
- Carlson, R.W., Bazzaz, F.A., and Rafle, G.L., 1975, *The Effect of Heavy Metal on Plants : II. Net Photosynthesis and Transpiration of Whole Corn and Sunflower Plants Treated With Pb, Cd, Ni and Ti*, *Environ*
- Chaney, R.L.M., Malik, Y.M.S.L., Brown, E.P., Bewer, J.S., Angel and A.J.M. Baker., 1997, *Phytoremediation of Soil Metal*, Publikasi di website (diakses 15 April 2000).
- Cook, C.D.K., 1996, *Aquatic and Wetland Plants of India*, Oxford University Press, Oxford, P.65
- Cotton, F.A., Wilkinson. G., Carlos A.M., and Bochmann, M., 1989, *Advanced Inorganik Chemistry*, Sixth Edition, John Wiley and Sons, New York
- Darmono., 1995, *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*, UI Press, Jakarta.
- Dwijoseputro, D., 1986, *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*, PT Gramedia, Jakarta.
- Fitter, A.H., and Hay, R.K.M., 1981, *Fisiologi Lingkungan Tanaman*, Gadjah Mada University Press, Jogjakarta.
- Foth, H.D., 1991, *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*, Gadjah Mada University Press, Jogjakarta.
- Gliardiano., 1975, Effect of Municipal Wastes on Crop Yields and Uptake of Heavy Metal, *J. Envi. Quality.*, Vol 4 (2), 359–361.
- Hamilton, J.W., and Watterhahn, K.F., 1988, dalam Seiller H.G., dan Seigel, H., *Handbook on Toxicity of Inorganic Compouns*, Marcel Dekker Inc., New York, 239-250.
- Hasim, Dr., 2000, *Penyerapan Logam Berat Dengan Tanaman Air dan Eceng Gondok Pembersih Polutan Logam Berat*, Dosen Biokimia dan Toksikologi FMIPA dan Pascasarjana IPB, Bandung.

- Hidayat., 2002, *Pengaruh Peningkatan Kualitas Air Limbah Batik PT. Blentong Dengan Perlakuan Tanaman Kayu Apu Terhadap Densitas Planton*, Skripsi, Fakultas Biologi UGM, Jogjakarta.
- Heyne, K., 1987, *Tumbuhan Berguna Indonesia*, Jilid 1, Diterjemahkan oleh Badan Litbang Kehutanan Jakarta, Elsevier Science Publishing, London.
- Khopkar S.M., 1990, *Konsep Dasar Kimia Analitik*, UI Press, Jakarta.
- Kirkham, M.B., 2000, EDTA-Facilitated Phytoremediation of Soil with Heavy Metals From Sewage Sludge, *Int. J. Phyto.*, Vol 2, Issu 2., (Abstract)
- Klasen, C.D.M.O., and Doull, J., 1986, *Toxicology The Basic Science of Poison*, Mc, Mila, New York
- Kelly and Me Kee., 1979, Parker and Heavy Metal Acumulation and Browfh of Secdling of Five Forest Species as Influenced By Soil Cadmium Level, *J. Envi. Quality*, 8 (3), 361–363.
- Kristanto, P., 2002, *Ekologi Industri*, Penerbit ANDI, Jogjakarta.
- Khozanah, H., 2004, *Penentuan Kandungan Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) Pada Sayuran Sawi (Brassica Juncea) Dengan Spektrofotometri Serapan Atom*, Skripsi, Fakultas MIPA UII, Jogjakarta.
- Mudasir., 2003, *Hand Out Pelatihan Instrumental Kimia GC-MS, FT IR, AAS, HPLC dan X-RD*, Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta
- Morse, C., 2002, *Ecology and Evolutionary Biology Conservactory*, University of Connection, [http : //flora w.w.Eeb.Ucom.edu](http://flora.w.w.Eeb.Ucom.edu).
- Langard S., 1982, *Absorption and Excretion of Chromium in an and Animal, dalam Langard S., Biological and Enviromental Aspects of Chromium*, Elsevier Biomedical Press, Amsterdam.
- Lusianti, S.W., dan Soerjani, M., 1986, *Pertumbuhan Massal Tumbuhan Air dan Pengaruhnya Terhadap Kualitas dan Kuantitas Air*, Tropical Pest Biology Programe, Biotrop, Bogor, Hal 10–13
- Narsito, 1992, *Dasar-Dasar Spektrofotometri Serapan Atom*, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta.

- Page, A.L., Bingham, F.T and Nelson, C., 1981, *Cadmium in Effect of Heavy Metal Pollution of Plands*, N.W. Leep (Cds), Appliied Sci. Pibc.LTP, London. P.77-104
- Palar, H., 1994, *Pencemaran dan Teknologi Logam Berat*, PT Rineka Cipta, Jakarta
- Priyanto, B., dan Prayitno, J., 2004, *Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran Khususnya Logam Berat*, Publikasi di website (diakses 18 Maret 2004)
- Rosma Nora.,1998, *Potensi Penyerapan Cu Yang Terkandung Dalam Limbah Cair Industri Elektropleting Oleh Tanaman Kayu apu*, Skripsi, Fakultas Biologi, Universitas Kristen Duta Wacana, Jogjakarta.
- Reddy, K.R., 1982, *Environments Management*, Vol 6, Number 3, *An Int. J. for Decision Maker and Scientist*, Springer International-Verlag, New York, P.261–269
- Saud, A.A, Abouloos, S.A., and Fl Falaky, A.A., 2004, *Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Wastewater for Agricultural Purposes*, *Int. J. Phyto.*, (Abstract)
- Sastre J., Sahuquillo, A., Vidal, M., and Rauret, G., 2002, *Determination of Cd, Cu, Pb and Zn in Environmental Samples: Microwave-Assisted Total Digestion Versus Aqua Regia and Nitric Acid Extraction*, *Anal. Chem., Acta*, 462, 59-72.
- Shahandeh,H., and Hossner, L.R., 2000, *Plant Screening for Chromium Phytoremediation*, *Int. J. Phyto.*, Vol 2, Issue 1., (Abstract)
- Sandell, E.B., 1959, *Colorimetric Determination of Frace of Metal*, 3^{ad} ed; *Interscience Publisher Inc*, New York.
- Skoog, D.A., 1985, *Principles of Instrumental Analysis*, Third edition, Sounders Coulege Publishing, Philodelfia.
- Supradata., 1992, *Peningkatan Kualitas Air Limbah Pabrik Baja PT. Krakatau Steel Cilegon, Jawa Barat Menggunakan Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes Solm) dan Tanaman Kayu Apu (Pistia Stratiotes)*, Skripsi, Fakultas Biologi, UGM, Jogjakarta.
- Tjitrosoedirdjo, S.S dan Sastroutomo, S.S., 1985, *The Potential Up Take of Lead and Cadmium by Waterhyacinth (Eichhornia Crassipes)*, Workshop on The Ecology and Management of Aquatic Weed, SEAMEO_BIOTROP, Bogor.

- Vogel., 1990, *Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*, jilid 1, PT Kalman Media Pustaka, Jakarta.
- Widyanto, L.S., 1975, *The Effect of Industrial Pollutans on The Growth of Waterhiacinth*, Tropical Pest Biology Program, Senmeo-Boitrop, Bogor.
- Wuhrmann, K., 1976, *Biologycal Treatment of Seawage and Industrial Waste*, Reinhold, New York.
- Zuhud, E.A.M., 1994, *Pelestarian Pemanfaatan Keanekaragaman Tumbuhan Obat Hutan Tropikal Indonesia*, Editor Haryanto, Jurusan KSDH, Fakultas Kehutanan, IPB dan Lembaga Alam Tropikal Indonesia(LATIN), Bogor.



LAMPIRAN



Lampiran 1

1. Pembuatan Larutan Buffer Phospat

a. Pembuatan 100 ml 0,1 M KH_2PO_4

$$0,1 \text{ M} = 0,1 \text{ mol/L} = 0,1 \frac{\text{gr/BM}}{\text{L}}$$

$$\text{gr} = \text{M} \times \text{BM} \times \text{L}$$

$$= 0,1 \text{ mol/L} \times 136 \text{ gr/mol} \times 0,1 \text{ L}$$

$$= 1,36 \text{ gram}$$

Ditimbang 1,36 gram KH_2PO_4 0,1 M kemudian dilarutkan dalam labu ukur 100 ml dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Larutan ini untuk masing-masing pot media.

b. Pembuatan 200 ml NaOH 1 M

$$\text{M} = \text{mol/L}$$

$$\text{mol} = \text{M} \times \text{L}$$

$$= 1 \text{ M} \times 0,2 \text{ L} = 0,2 \text{ mol}$$

$$\text{mol} = \text{gr/BM}$$

$$\text{gram} = \text{mol} \times \text{BM}$$

$$= 0,2 \text{ mol} \times 40 \text{ gr/mol} = 8 \text{ gram}$$

Dimasukkan 8 gram NaOH ke dalam labu ukur 200 ml dan dilarutkan dengan aquades hingga tanda batas. NaOH 1 M akan diteruskan menjadi NaOH 0,1 M.

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \cdot 1 \text{ M} = 500 \text{ ml} \cdot 0,1 \text{ M}$$

$$V_1 = 50 \text{ ml}$$

Dimasukkan 50 ml NaOH 0,1 M ke dalam labu ukur 500 ml dan ditambahkan aquades sampai tanda batas. Untuk pemberian NaOH yang digunakan pada pH 7 maka diambil dengan volume 58,2 ml untuk masing-masing pot media.

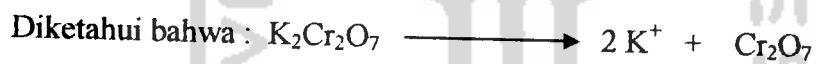
2. Pembuatan Antikontaminan 10 % HNO₃

$$V_1 \cdot N_1 = V_2 \cdot N_2$$

$$V_1 \cdot 65 \% = 1000 \text{ ml} \cdot 10 \%$$

$$V_1 = \frac{10000}{65 \%} = 153,85 \text{ ml} = 154 \text{ ml dalam 1 L}$$

3. Pembuatan Larutan Logam Cr Induk 1000 mg/L



$$1000 \text{ ppm} = \text{Cr} = 1000 \text{ mg/L}$$

$$\text{mmol Cr} = \frac{1000 \text{ mg/L}}{\text{BA}}$$

$$= \frac{1000 \text{ mg/L}}{52} = 19,23 \text{ mmol/L}$$

$$\text{Dalam } \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} = \frac{2 \text{ BA Cr}}{\text{BM } \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}} \times \text{mmol Cr}$$

$$= \frac{2 \cdot 52}{216} \times 19,23 \text{ mmol/L} = 9,302 \text{ mmol/L}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jadi mg pada } K_2Cr_2O_7 &= \text{mmol/L } Cr_2O_7^{2-} \times \text{BM } K_2Cr_2O_7 \\
 &= 9,302 \text{ mmol/L} \times 294,34 = 2737,951 \text{ mg/L} \\
 &= 2,738 \text{ gram} \longrightarrow \text{ dalam 1 liter}
 \end{aligned}$$

Untuk membuat konsentrasi 5 mg/L dari larutan induk Cr 1000 mg/L, maka :

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \cdot 1000 \text{ mg/L} = 4 \text{ L} \cdot 5 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = \frac{20 \text{ mg}}{1000 \text{ mg/L}} = 0,02 \text{ L} = 20 \text{ ml}$$

Jadi dalam setiap media pola panen yang telah berisi 4 liter air, dimasukkan logam Cr nya sebanyak 20 ml.

4. Pembuatan Larutan Standar Logam Cr

Larutan standar logam Cr spektrosol 1000 mg/L dibuat menjadi 100 mg/L dalam labu ukur 25 ml.

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \cdot 1000 \text{ mg/L} = 25 \text{ ml} \cdot 100 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ ml}$$

Standar 100 mg/L dibuat menjadi konsentrasi 2,5; 5,0; 7,5; dan 10,0 mg/L dalam labu ukur 25 ml, maka :

6.2 Saran

1. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut tentang kemampuan tanaman kayu apu dalam penyerapan logam-logam lainnya maupun untuk menyerap zat-zat organik
2. Perlu dilakukan penelitian tentang fitoremediasi dengan tanaman air yang berbeda dan menggunakan alat yang lebih canggih lagi.



DAFTAR PUSTAKA

- Ahmady, D., 1993, *Efektifitas Penyerapan Hg dan Pengaruhnya Pada Eceng Gondok*, Skripsi, Fakultas Biologi UGM, Jogjakarta.
- Anonimous, 1999, *Cool Word of the Day, The Learning Kingdom, Inc.* URL: http://www.cool_fact.com/archive/1999/08/24.html
- Asmara, W., 1996, *Bioakumulasi Logam Berat Pada Mikroorganisme, in Symposium and Workshop on Heavy Metal Bioaccumulation*, IUC Biotechnology Gajah Mada University, Jogjakarta, September 18-20
- Astuti, D.R., 2004, *Fitoremediasi Logam Berat Cd Oleh Tanaman Kayu Apu*, Skripsi, Jurusan Kimia Fakultas MIPA UII, Jogjakarta.
- Backer, C.A. and Brink den Van, R.C.B., 1968, *Flora of Java (Spermatophytes Only)*, Vol 3, wors-Noordhoff. N. V-Groningen, The Netherlands.
- Barosci, A., Csintalan, Z., Dushenkoy, S., Kuperberg, M., Kucharski, R., and Richter, P.I., 2003, *Optimizing Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soil by Exploiting Plants' Stress Adaptation*, *Int. J. Phyto*, Vol 5, Issue 1, (Abstract)
- Boonyapookana, B., Upatham, S.E., Kruatrachua, M., Pokethitiyook, P., Singhakaew, S., and Parkpoomkamo, K., 2002, *Phytoaccumulation and Phytotoxicity of Cadmium and Chromium in Duckweed Wolffia globosa*, *Int. J. Phyto*, Vol 4, Issue 2., (Abstract).
- Boyd, R.S., and Davis, M.A., 2002, *Metal Tolerance and Accumulation Ability of the Ni Hyperaccumulator Streptanthus polygaloides Gray (Brassicaceae)*, *Int. J. Phyto*, Vol 3, Issue 4, (Abstract).
- Bowen, H.J.M., 1966, *Trace Elements in Biochemistry*, Academic Press, London and New York, P.90
- Bowmer, K.H., 1987, *Nutrien Removal From Effluents by an Artificial Wetland: Influence of Rhizosphere Aeration and Preferential Flow Studied Using Bromide and Dye Tracers*. *Water Res* 21, 591-599.
- Bragt, P.C., and Van dura, E.A., 1983, *Toxicokinetics of Hexavalent Chromium in The Rat After Intracheal Administration of Chromates of Different Solubilities*, *Ann. Ocup. Hyg*, 27, 315-322.

a. Konsentrasi 2,5 mg/L

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \cdot 100 \text{ mg/L} = 25 \text{ ml} \cdot 2,5 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = 0,63 \text{ ml}$$

b. Konsentrasi 5,0 mg/L

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \cdot 100 \text{ mg/L} = 25 \text{ ml} \cdot 5,0 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = 1,25 \text{ ml}$$

c. Konsentrasi 7,5 mg/L

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \cdot 100 \text{ mg/L} = 25 \text{ ml} \cdot 7,5 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = 1,88 \text{ ml}$$

d. Konsentrasi 10,0 mg/L

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \cdot 100 \text{ mg/L} = 25 \text{ ml} \cdot 10,0 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ ml}$$

Lampiran 2

1. Pemilihan Panjang Gelombang Emisi Lampu

Tabel 2. Pemilihan panjang gelombang emisi lampu

Panjang gelombang (nm)	Energi (eV)
310	33
320	45
330	51
340	51
350	57
360	68
370	51
380	49

2. Pemilihan Kecepatan Laju Alir Bahan bakar dan Oksidan.

a. Kecepatan laju alir asetilen (L/menit)

Tabel 3. Kecepatan laju alir asetilen

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi Laju Alir Asetilen (L/menit)							
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
5	0,027	0,029	0,030	0,031	0,030	0,029	0,029	0,027

b. Kecepatan laju alir udara (L/menit)

Tabel 4. Kecepatan laju alir udara

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi Laju Alir Udara (L/menit)						
	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0
5	0,029	0,029	0,030	0,031	0,030	0,029	0,028

3. Pemilihan Tinggi Pembakaran

Tabel 5. Pemilihan tinggi pembakaran

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi Tinggi Pembakaran (mm)					
	1,0	3,0	5,0	7,0	9,0	10,0
5	0,020	0,026	0,029	0,028	0,024	0,022

4. Parameter Optimasi Alat SSA

Kondisi parameter alat SSA model AA-782 Nippon Jarell Ash untuk mengukur konsentrasi logam berat Cr.

Tabel 6. Data kondisi parameter optimasi alat AAS

Parameter	Logam Cr
Panjang gelombang (nm)	357,9
Arus lampu (mA)	12
Laju alir udara (L/menit)	10
Laju alir gas asetilen (L/menit)	2
Lebar slit (nm)	0,7
Temperatur atomisasi (°C)	2500
Tinggi nyala	5

Lampiran 3

Pembuatan Kurva Standar Logam Kromium Pada Akar

Tabel 7. Hasil pengukuran kurva standat logam Kromium

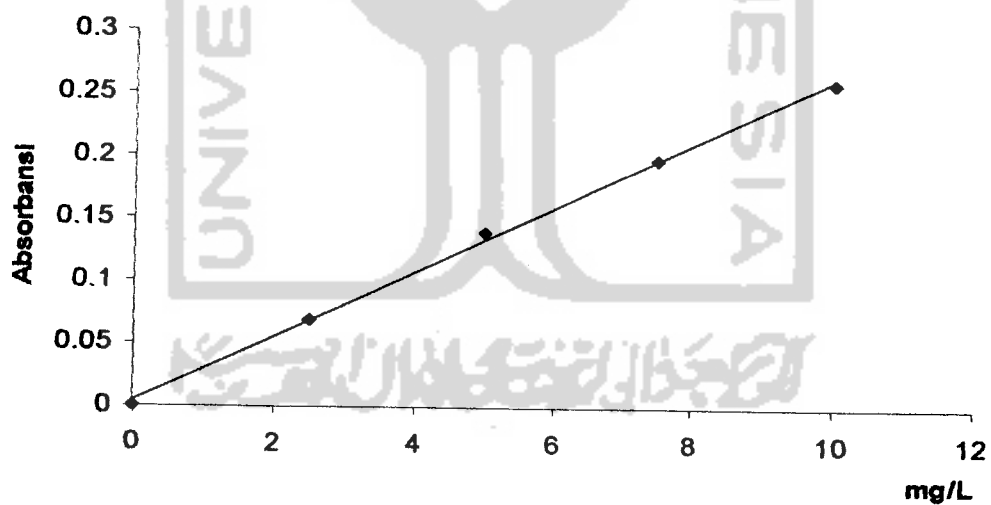
Konsentrasi Logam Cr (ppm)	Absorbansi
0	0,000
2,5	0,069
5,0	0,139
7,5	0,197
10,0	0,259

Dengan program regresi linear menggunakan Microsoft excel, diperoleh :

$$\text{Korelasi (r)} = 0,99927$$

$$\text{Slope (b)} = 0,02584$$

$$\text{Intersep (a)} = 0,0036$$



Sehingga diperoleh persamaan kurva standar sebagai berikut :

$$Y = bx + a$$

$$Y = 0,02584 x + 0,0036$$

Lampiran 4

a. Perhitungan kapasitas serapan logam krom (VI) pada konsentrasi awal

$$C = \frac{X \times V \times P}{g}$$

Keterangan : C = Kapasitas serapan ($\mu\text{g}/\text{gr}$)

X = Konsentrasi regresi (mg/L)

V = Volume larutan sampel (ml) = 25 ml

P = Faktor pengenceran

g = Berat sampel (gr)

b. Perhitungan % kadar unsur dalam tanaman

$$\% \text{ kadar unsur dalam bagian tanaman} = \frac{\text{Kadar konsentrasi awal (C)}}{\text{Konsentrasi (5 mg/L)}} \times 100 \%$$

c. Perhitungan logam Cr pada konsentrasi 5 mg/L di dalam media 4 liter larutan :

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi 5 mg/L (ppm)} &= 5 \mu\text{g/ml (dalam 4 L media)} \\ &= 5 \mu\text{g/ml} \times 4000 \text{ ml} \\ &= 20000 \mu\text{g} \end{aligned}$$

Lampiran 5

A. Hasil pengukuran serapan logam Kromium Pada Akar menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom, sebagai berikut :

Tabel 8. Hasil pengukuran serapan logam kromium pada akar menggunakan alat SSA

No	Kode sampel	Hasil pengukuran Absorbansi			Absorbansi rata-rata	Faktor Pengenceran	Berat sampel (gr)
		1	2	3			
1.	Isolasi 7 hari	0,284	0,284	0,278	0,282	2	0.63
2.	Harvesting 7 hari	0,194	0,194	0,188	0,192	2	0.63
3.	Pergantian 7 hari	0,245	0,246	0,241	0,232	2	0.63
4.	Isolasi 14 hari	0,145	0,149	0,148	0,149	5	0.63
5.	Harvesting 14 hari	0,127	0,118	0,123	0,124	5	0.63
6.	Pergantian 14 hari	0,141	0,132	0,137	0,137	5	0.63
7.	Isolasi 21 hari	0,202	0,190	0,195	0,193	5	2
8.	Harvesting 21 hari	0,185	0,178	0,184	0,190	5	2
9.	Pergantian 21 hari	0,117	0,120	0,118	0,117	5	2
10.	Kontrol	0,065	0,067	0,066	0,066	0,2	2

B. Perhitungan Kadar Konsentrasi Logam Kromium Pada Akar Tanaman

1. Isolasi 7 hari

$$Y = bX + a$$

$$0,282 = 0,02584 X + 0,0036$$

$$0,2784 = 0,02584 X$$

$$X = 10,7739 \text{ mg/L}$$

$$C = \frac{10,7739 \cdot 10^{-3} \mu\text{g} / 10^3 \text{ ml} \times 25 \text{ ml} \times 2}{0,63 \text{ gr}} = 855,08 \mu\text{g/g berat kering}$$

855,08 $\mu\text{g/g}$ berat kering merupakan jumlah konsentrasi logam krom (VI) yang diserap oleh tanaman kayu apu, dan menunjukkan banyaknya massa logam krom (VI) yang telah diserap oleh akar tanaman. Untuk mengetahui banyaknya kadar massa logam krom (VI) di dalam media (terhadap larutan) yang diserap oleh akar, dengan mengetahui jumlah konsentrasi logam krom (VI) yang telah terbaca oleh SSA (A) sebagai berikut :

$$A = 10,7739 \cdot 10^{-3} \mu\text{g} / 10^3 \text{ ml} \times 25 \text{ ml} \times 2 = 538,695 \mu\text{g}$$

$$\% \text{ kadar logam krom (VI)} = \frac{538,695 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100 \% = 2,693475 \%$$

Maka banyaknya logam krom (VI) terhadap larutan (yang berada di dalam media) dengan konsentrasai awal 20000 μg adalah sebanyak 2,693475 %.

Perhitungan selanjutnya akan mengikuti urutan seperti perhitungan diatas :

2. Harvesting 7 hari

$$Y = bX + a$$

$$0,192 = 0,02584 X + 0,0036$$

$$0,1884 = 0,02584 X$$

$$X = 7,2910 \text{ mg/L}$$

$$C = \frac{7,2910 \mu\text{g/ml} \times 25 \text{ ml} \times 2}{0,63 \text{ gr}} = 578,65 \mu\text{g/g berat kering}$$

$$\% \text{ kadar logam Cr} = \frac{364,55 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100 \% = 1,82275 \%$$

3. Pergantian 7 hari

$$Y = b X + a$$

$$0,241 = 0,02584 X + 0,0036$$

$$0,2374 = 0,02584 X$$

$$X = 9,1873 \text{ mg/L}$$

$$C = \frac{9,1873 \mu\text{g/ml} \times 25 \text{ ml} \times 2}{0,63 \text{ gr}} = 729,15 \mu\text{g/g berat kering}$$

$$\% \text{ kadar logam Cr} = \frac{459,365 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100 \% = 2,296825 \%$$

4. Isolasi 14 hari

$$Y = b X + a$$

$$0,148 = 0,02584 X + 0,0036$$

$$0,1444 = 0,02584 X$$

$$X = 5,5753 \text{ mg/L}$$

$$C = \frac{5,5753 \mu\text{g/ml} \times 25 \text{ ml} \times 5}{0,63 \text{ gr}} = 1106,22 \mu\text{g/g berat kering}$$

$$\% \text{ kadar logam Cr} = \frac{696,9125 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100 \% = 3,4845625 \%$$

5. Harvesting 14 hari

$$Y = b X + a$$

$$0,123 = 0,02584 X + 0,0036$$

$$0,1194 = 0,02584 X$$

$$X = 4,6207 \text{ mg/L}$$

$$C = \frac{4,6207 \mu\text{g/ml} \times 25 \text{ ml} \times 5}{0,63 \text{ gr}} = 916,81 \mu\text{g/g berat kering}$$

$$\% \text{ kadar logam Cr} = \frac{577,5875 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100 \% = 2,8879375 \%$$

6. Pergantian 14 hari

$$Y = b X + a$$

$$0,137 = 0,02584 X + 0,0036$$

$$0,1334 = 0,02584 X$$

$$X = 5,1496 \text{ mg/L}$$

$$C = \frac{5,1496 \mu\text{g/ml} \times 25 \text{ ml} \times 5}{0,63 \text{ gr}} = 1021,75 \mu\text{g/g berat kering}$$

$$\% \text{ kadar logam Cr} = \frac{643,7 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100 \% = 3,2185 \%$$

7. Isolasi 21 hari

$$Y = b X + a$$

$$0,195 = 0,02584 X + 0,0036$$

$$0,1914 = 0,02584 X$$

$$X = 7,4071 \text{ mg/L}$$

$$C = \frac{7,4071 \mu\text{g/ml} \times 25 \text{ ml} \times 5}{2 \text{ gr}} = 462,94 \mu\text{g/g berat kering}$$

$$\% \text{ kadar logam Cr} = \frac{925,8875 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100 \% = 4,6294375 \%$$

8. Harvesting 21 hari

$$Y = b X + a$$

$$0,184 = 0,02584 X + 0,0036$$

$$0,1804 = 0,02584 X$$

$$X = 6,9943 \text{ mg/L}$$

$$C = \frac{6,9943 \mu\text{g/ml} \times 25 \text{ ml} \times 5}{2 \text{ gr}} = 437,14 \mu\text{g/g berat kering}$$

$$\% \text{ kadar logam Cr} = \frac{874,2875 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100 \% = 4,3714375 \%$$

9. Pergantian 21 hari

$$Y = b X + a$$

$$0,118 = 0,02584 X + 0,0036$$

$$0,1144 = 0,02584 X$$

$$X = 4,4272 \text{ mg/L}$$

$$C = \frac{4,4272 \mu\text{g/ml} \times 25 \text{ ml} \times 5}{2 \text{ gr}} = 276,70 \mu\text{g/g berat kering}$$

$$\% \text{ kadar logam Cr} = \frac{553,4 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100 \% = 2,767 \%$$

10. Kontrol

$$Y = bX + a$$

$$0,066 = 0,02584 X + 0,0036$$

$$0,0624 = 0,02584 X$$

$$X = 2,4149 \text{ mg/L}$$

$$C = \frac{2,4149 \text{ } \mu\text{g/ml} \times 25 \text{ ml} \times 0,2}{2 \text{ gr}} = 6,0372 \text{ } \mu\text{g/g berat kering}$$

$$\% \text{ kadar logam Cr} = \frac{12,0745 \text{ } \mu\text{g}}{20000 \text{ } \mu\text{g}} \times 100 \% = 0,0603725 \%$$

Tabel 9. Kapasitas serapan logam krom (VI) pada akar tanaman

($C_{\text{wk}} - C_{\text{kontrol}}$) $\mu\text{g/g}$ berat kering

No	Keterangan	Waktu kontak (hari)		
		7	14	21
1.	Isolasi	849,04	1100,17	456,9
2.	Harvesting	572,61	882,67	431,10
3.	Pergantian	723,11	1015,71	270,66

Dari hasil perhitungan % kadar logam krom (VI) pada konsentrasi 5 ppm terhadap media (larutan) yang diserap oleh tanaman diatas maka diperoleh data sebagai berikut

Tabel 10. Kadar serapan logam krom (VI) (%_{wtk} - %_{kontrol})

No	Keterangan	Waktu kontak (hari)		
		7	14	21
1.	Isolasi	2,6331	3,4242	4,5691
2.	Harvesting	1,7624	2,8276	4,3111
3.	Pergantian	2,2364	3,1581	2,7066

C. Hasil pengukuran serapan logam Kromium Pada Air menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom, sebagai berikut :

Tabel 11. Hasil pengukuran serapan logam kromium pada air menggunakan alat SSA

No	Kode sampel	Hasil pengukuran Absorbansi			Absorbansi rata-rata	Faktor Pengenceran
		1	2	3		
1.	Isolasi 7 hari	0,0574	0,0575	0,0577	0,0575	20
2.	Isolasi 14 hari	0,0596	0,0594	0,0597	0,0595	20
3.	Isolasi 21 hari	0,0626	0,0627	0,0628	0,0627	20
4.	Harvesting 7 hari	0,0381	0,0376	0,0385	0,0381	10
5.	Harvesting 14 hari	0,0560	0,0556	0,0555	0,0557	5
6.	Harvesting 21 hari	0,1163	0,0118	0,1206	0,1181	10
7.	Pergantian 7 hari	0,0647	0,0695	0,0728	0,0690	5
8.	Pergantian 14 hari	0,0739	0,0695	0,0633	0,0689	5
9.	Pergantian 21 hari	0,0695	0,0697	0,0685	0,0692	5
10.	Kontrol	0,0014	0,0019	0,0017	0,0018	-

D. Pembuatan Kurva Standar Logam Kromium Pada Air

Tabel 12. Hasil pengukuran kurva standat logam Kromium

Konsentrasi Logam Cr (ppm)	Absorbansi
0	0,000
1	0,029
2	0,056
3	0,079
4	0,105
5	0,136

Dengan program regresi linear menggunakan Microsoft exsel, diperoleh :

$$\text{Korelasi (r)} = 0,999032$$

$$\text{Slope (b)} = 0,026647$$

$$\text{Intersep (a)} = 0,001302$$



Sehingga diperoleh persamaan kurva standar sebagai berikut :

$$Y = bx + a$$

$$Y = 0,026647 x + 0,001302$$

E. Perhitungan Kadar Konsentrasi Logam Kromium Pada Air

1. Isolasi 7 hari

$$Y = b X + a$$

$$0,0575 = 0,026647 X + 0,001302$$

$$0,0562 = 0,026647 X$$

$$X = 2,11037 \text{ mg/L}$$

$$C = 2,11037 \cdot 10^{-3} \mu\text{g}/10^3 \text{ ml} \times 10 \text{ ml} \times 20 = 422,074 \mu\text{g}$$

$$\% \text{ kadar logam Cr} = \frac{422,074 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100 \% = 2,11037 \%$$

2. Isolasi 14 hari

$$Y = b X + a$$

$$0,0595 = 0,026647 X + 0,001302$$

$$0,0582 = 0,026647 X$$

$$X = 2,18636 \text{ mg/L}$$

$$C = 2,18636 \mu\text{g}/\text{ml} \times 10 \text{ ml} \times 20 = 437,272 \mu\text{g}$$

$$\% \text{ kadar logam Cr} = \frac{437,272 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100 \% = 2,1864 \%$$

3. Isolasi 21 hari

$$Y = b X + a$$

$$0,0627 = 0,026647 X + 0,001302$$

$$0,0614 = 0,026647 X$$

$$X = 2,30506 \text{ mg/L}$$

$$C = 2,30506 \mu\text{g}/\text{ml} \times 10 \text{ ml} \times 20 = 461,874 \mu\text{g}$$

$$\% \text{ kadar logam Cr} = \frac{461,874 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100 \% = 2,30437 \%$$

4. Harvesting 7 hari

$$Y = b X + a$$

$$0,0381 = 0,026647 X + 0,001302$$

$$0,0368 = 0,026647 X$$

$$X = 1,38034 \text{ mg/L}$$

$$C = 1,38034 \mu\text{g/ml} \times 2 \text{ ml} \times 10 = 27,6069 \mu\text{g}$$

$$\% \text{ kadar logam Cr} = \frac{27,6069 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100 \% = 0,138034 \%$$

5. Harvesting 14 hari

$$Y = b X + a$$

$$0,0557 = 0,026647 X + 0,001302$$

$$0,0544 = 0,026647 X$$

$$X = 2,04162 \text{ mg/L}$$

$$C = 2,04162 \mu\text{g/ml} \times 2 \text{ ml} \times 5 = 20,4162 \mu\text{g}$$

$$\% \text{ kadar logam Cr} = \frac{20,4162 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100 \% = 0,102081 \%$$

6. Harvesting 21 hari

$$Y = b X + a$$

$$0,1181 = 0,026647 X + 0,001302$$

$$0,1168 = 0,026647 X$$

$$X = 4,38507 \text{ mg/L}$$

$$C = 4,38507 \mu\text{g/ml} \times 10 \text{ ml} \times 10 = 438,5071 \mu\text{g}$$

$$\% \text{ kadar logam Cr} = \frac{438,5071 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100 \% = 2,19253 \%$$

7. Pergantian 7 hari

$$Y = b X + a$$

$$0,0690 = 0,026647 X + 0,001302$$

$$0,0677 = 0,026647 X$$

$$X = 2,54126 \text{ mg/L}$$

$$C = 2,54126 \mu\text{g/ml} \times 2 \text{ ml} \times 5 = 25,4130 \mu\text{g}$$

$$\% \text{ kadar logam Cr} = \frac{25,4130 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100 \% = 0,12706 \%$$

8. Pergantian 14 hari

$$Y = b X + a$$

$$0,0689 = 0,026647 X + 0,001302$$

$$0,0676 = 0,026647 X$$

$$X = 2,53631 \text{ mg/L}$$

$$C = 2,53631 \mu\text{g/ml} \times 2 \text{ ml} \times 5 = 25,3631 \mu\text{g}$$

$$\% \text{ kadar logam Cr} = \frac{25,3631 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100 \% = 0,12681 \%$$

9. Pergantian 21 hari

$$Y = b X + a$$

$$0,0692 = 0,026647 X + 0,001302$$

$$0,0679 = 0,026647 X$$

$$X = 2,55019 \text{ mg/L}$$

$$C = 2,55019 \text{ } \mu\text{g/ml} \times 10 \text{ ml} \times 5 = 127,5095 \text{ } \mu\text{g}$$

$$\% \text{ kadar logam Cr} = \frac{127,5095 \text{ } \mu\text{g}}{20000 \text{ } \mu\text{g}} \times 100 \% = 0,636857 \%$$

10. Kontrol

$$Y = b X + a$$

$$0,0018 = 0,026647 X + 0,001302$$

$$0,000368 = 0,026647 X$$

$$X = 0,01381 \text{ mg/L}$$

$$C = 0,01381 \text{ } \mu\text{g/ml} \times 10 \text{ ml} = 0,1381 \text{ } \mu\text{g}$$

$$\% \text{ kadar logam Cr} = \frac{0,1381 \text{ } \mu\text{g}}{20000 \text{ } \mu\text{g}} \times 100 \% = 0,0006905 \%$$

Tabel 13. Kadar serapan logam krom (VI) (%_{wtk} - %_{kontrol})

No	Keterangan	Waktu kontak (hari)		
		7	14	21
1.	Isolasi	2,186	2,109	2,304
2.	Harvesting	0,137	0,101	2,191
3.	Pergantian	0,127	0,126	0,637

Lampiran 6

Uji Statistik

A. Tahapan pola tanam

a. H_0 = Tidak ada pengaruh tahapan pola tanam terhadap penyerapan logam Cr^{6+}

H_1 = Ada pengaruh tahapan pola tanam terhadap penyerapan logam Cr^{6+}

b. $\alpha = 0,05$

c. $F\text{-tabel}_{(2,18)} = 3,555$ dan dimana $F\text{-hitung} = 117,681$

Jika $F\text{-hit} > F\text{-tabel}$, maka tolak H_0

Jika $F\text{-hit} < F\text{-tabel}$, maka terima H_0

d. Keputusannya :

Apabila nilai $siq < 0.05$ dan $F\text{-hitung} > F\text{-tabel}_{(2,18)}$, maka tolak H_0 atau bahwa tahapan pola tanam, yaitu tahapan Isolasi, tahapan Harvesting dan tahapan Pergantian masing-masing ada pengaruh terhadap penyerapan logam berat Cr^{6+} dan dilihat dari siq nya 0,000 lebih kecil dari 0,05 maka diantaranya berbeda sangat nyata (sangat signifikan).

B. Waktu kontak

a. H_0 = Tidak ada pengaruh waktu kontak terhadap penyerapan logam berat Cr^{6+}

H_1 = Ada pengaruh waktu kontak terhadap penyerapan logam berat Cr^{6+}

b. $\alpha = 0,05$

c. $F\text{-tabel}_{(2,18)} = 3,555$ dan dimana $F\text{-hitung} = 1352,413$

Jika $F\text{-hit} > F\text{-tabel}$, maka tolak H_0

Jika $F\text{-hit} < F\text{-tabel}$, maka terima H_0

d. Keputusannya :

Apabila nilai $siq < 0,05$ dan $F\text{-hitung} > F\text{-tabel}_{(2,18)}$, maka tolak H_0 atau bahwa waktu kontak pada 7, 14 dan 21 hari ada pengaruh terhadap penyerapan logam berat Cr^{6+} dan dilihat dari siq nya 0,000 lebih kecil dari 0,05 maka diantaranya berbeda sangat nyata (sangat signifikan).



Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Waktu	1,00	7 hari	9
Kontak	2,00	14 hari	9
	3,00	21 hari	9
Pola Panen	1,00	Isolasi	9
	2,00	Harvesting	9
	3,00	Pergantian	9

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Konsentrasi Cr (mg/L)

Waktu Kontak	Pola Panen	Mean	Std. Deviation	N
7 hari	Isolasi	849,0400	10,64388	3
	Harvesting	572,6133	10,63810	3
	Pergantian	723,1133	23,98340	3
	Total	714,9222	120,68700	9
14 hari	Isolasi	1100,1733	17,65254	3
	Harvesting	882,6677	53,49491	3
	Pergantian	1015,7067	34,70607	3
	Total	999,5159	100,55991	9
21 hari	Isolasi	456,9100	15,19938	3
	Harvesting	431,1067	14,63541	3
	Pergantian	270,7133	4,05888	3
	Total	386,2433	88,02302	9
Total	Isolasi	802,0411	281,05459	9
	Harvesting	628,7959	202,00350	9
	Pergantian	669,8444	325,74608	9
	Total	700,2271	274,19711	27

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Konsentrasi Cr (mg/L)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1943503,001 ^a	8	242937,875	387,585	.000
Intercept	13238587,593	1	13238587,593	21120,969	.000
Waktu Kontak	1695379,784	2	847689,892	1352,413	.000
Pola Panen	147524,549	2	73762,274	117,681	.000
Waktu Kontak* Pola Panen	100598,669	4	25149,667	40,124	.000
Error	11282,370	18	626,798		
Total	15193372,964	27			
Corrected Total	1954785,371	26			

a. R Squared = .994 (Adjusted R Squared = .992)

WAKTU KONTAK

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Konsentrasi Cr (mg/L)

Waktu Kontak	Mean	Std. Deviation	N
7 hari	714,9222	120,68700	9
14 hari	999,5159	100,55991	9
21 hari	386,2433	88,02302	9
Total	700,2271	274,19711	27

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Konsentrasi Cr (mg/L)

Tukey HSD

(I) Waktu Kontak	(J) Waktu Kontak	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
7 hari	14 hari	-284,5937*	49,00922	.000	-406,9838	-162,203
	21 hari	328,6789*	49,00922	.000	206,2888	451,069
14 hari	7 hari	284,5937*	49,00922	.000	162,2036	406,983
	21 hari	613,2726*	49,00922	.000	490,8825	735,662
21 hari	7 hari	-328,6789*	49,00922	.000	-451,0690	-206,288
	14 hari	-613,2726*	49,00922	.000	-735,6626	-490,882

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Konsentrasi Cr (mg/L)

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1695379,784 ^a	2	847689,892	78,428	.000
Intercept	13238587,593	1	13238587,593	1224,824	.000
WAKTU	1695379,784	2	847689,892	78,428	.000
Error	259405,587	24	10808,566		
Total	15193372,964	27			
Corrected Total	1954785,371	26			

a. R Squared = .867 (Adjusted R Squared = .856)

Post Hoc Tests

Waktu Kontak

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Konsentrasi Cr (mg/L)

Tukey HSD

(I) Waktu Kontak	(J) Waktu Kontak	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
7 hari	14 hari	-284,5937*	11,80206	.000	-314,7144	-254,473
	21 hari	328,6789*	11,80206	.000	298,5581	358,7997
14 hari	7 hari	284,5937*	11,80206	.000	254,4729	314,7144
	21 hari	613,2726*	11,80206	.000	583,1518	643,3933
21 hari	7 hari	-328,6789*	11,80206	.000	-358,7997	-298,558
	14 hari	-613,2726*	11,80206	.000	-643,3933	-583,152

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Homogeneous Subsets

Konsentrasi Cr (mg/L)

Tukey HSD^{a,b}

Waktu Kontak	N	Subset		
		1	2	3
21 hari	9	386,2433		
7 hari	9		714,9222	
14 hari	9			999,5159
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 626,798.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = .05.

Post Hoc Tests

Waktu Kontak

Homogeneous Subsets

Duncan^{a,b} Konsentrasi Cr (mg/L)

Waktu Kontak	N	Subset		
		1	2	3
21 hari	9	386,2433		
7 hari	9		714,9222	
14 hari	9			999,5159
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 626,798.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = .05.

Pola Panen

Homogeneous Subsets

Duncan^{a,b}

Konsentrasi Cr (mg/L)

Pola Panen	N	Subset		
		1	2	3
Harvesting	9	628,7959		
Pergantian	9		669,8444	
Isolasi	9			802,0411
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 626,798.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = .05.

Uji Normalitas

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

N		perlakuan	27
Normal Parameters ^{a,b}	Mean		700,2215
	Std. Deviation		274,2061
Most Extreme Differences	Absolute		.133
	Positive		.129
	Negative		-.133
Kolmogorov-Smirnov Z			.691
Asymp. Sig. (2-tailed)			.725

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Uji variansi

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: perlakuan

F	df1	df2	Sig.
2,608	8	18	.043

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept+WAKTU+POLA+WAKTU * POLA

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: perlakuan

F	df1	df2	Sig.
2,065	8	18	.096

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept+WAKTU+POLA+WAKTU * POLA

c. $F\text{-tabel}_{(2,18)} = 3,555$ dan dimana $F\text{-hitung} = 1352,413$

Jika $F\text{-hit} > F\text{-tabel}$, maka tolak H_0

Jika $F\text{-hit} < F\text{-tabel}$, maka terima H_0

d. Keputusannya :

Apabila nilai $siq < 0.05$ dan $F\text{-hitung} > F\text{-tabel}_{(2,18)}$, maka tolak H_0 atau bahwa waktu kontak pada 7, 14 dan 21 hari ada pengaruh terhadap penyerapan logam berat Cr^{6+} dan dilihat dari siq nya 0,000 lebih kecil dari 0,05 maka diantaranya berbeda sangat nyata (sangat signifikan).



Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

	Value Label	N	
Waktu Kontak	1,00	7 hari	9
	2,00	14 hari	9
	3,00	21 hari	9
Pola Panen	1,00	Isolasi	9
	2,00	Harvesting	9
	3,00	Pergantian	9

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Konsentrasi Cr (mg/L)

Waktu Kontak	Pola Panen	Mean	Std. Deviation	N
7 hari	Isolasi	849,0400	10,64388	3
	Harvesting	572,6133	10,63810	3
	Pergantian	723,1133	23,98340	3
	Total	714,9222	120,68700	9
14 hari	Isolasi	1100,1733	17,65254	3
	Harvesting	882,6677	53,49491	3
	Pergantian	1015,7067	34,70607	3
	Total	999,5159	100,55991	9
21 hari	Isolasi	456,9100	15,19938	3
	Harvesting	431,1067	14,63541	3
	Pergantian	270,7133	4,05888	3
	Total	386,2433	88,02302	9
Total	Isolasi	802,0411	281,05459	9
	Harvesting	628,7959	202,00350	9
	Pergantian	669,8444	325,74608	9
	Total	700,2271	274,19711	27

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Konsentrasi Cr (mg/L)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1943503,001 ^a	8	242937,875	387,585	.000
Intercept	13238587,593	1	13238587,593	21120,969	.000
Waktu Kontak	1695379,784	2	847689,892	1352,413	.000
Pola Panen	147524,549	2	73762,274	117,681	.000
Waktu Kontak* Pola Panen	100598,669	4	25149,667	40,124	.000
Error	11282,370	18	626,798		
Total	15193372,964	27			
Corrected Total	1954785,371	26			

a. R Squared = .994 (Adjusted R Squared = .992)

Post Hoc Tests

Waktu Kontak

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Konsentrasi Cr (mg/L)

Tukey HSD

(I) Waktu Kontak	(J) Waktu Kontak	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
7 hari	14 hari	-284,5937*	11,80206	.000	-314,7144	-254,473
	21 hari	328,6789*	11,80206	.000	298,5581	358,7997
14 hari	7 hari	284,5937*	11,80206	.000	254,4729	314,7144
	21 hari	613,2726*	11,80206	.000	583,1518	643,3933
21 hari	7 hari	-328,6789*	11,80206	.000	-358,7997	-298,558
	14 hari	-613,2726*	11,80206	.000	-643,3933	-583,152

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Homogeneous Subsets

Konsentrasi Cr (mg/L)

Tukey HSD^{a,b}

Waktu Kontak	N	Subset		
		1	2	3
21 hari	9	386,2433		
7 hari	9		714,9222	
14 hari	9			999,5159
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 626,798.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = .05.

Pola Panen

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Konsentrasi Cr (mg/L)
Tukey HSD

(I) Pola Panen	(J) Pola Panen	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Isolasi	Harvesting	173,2452*	11,80206	.000	143,1215	203,3660
	Pergantian	132,1967*	11,80206	.000	102,0759	162,3174
Harvesting	Isolasi	-173,2452*	11,80206	.000	-203,3660	-143,1245
	Pergantian	-41,0486*	11,80206	.007	-71,1693	-10,9278
Pergantian	Isolasi	-132,1967*	11,80206	.000	-162,3174	-102,0759
	Harvesting	41,0486*	11,80206	.007	10,9278	71,1693

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Homogeneous Subsets

Konsentrasi Cr (mg/L)

Tukey HSD^{a,b}

Pola Panen	N	Subset		
		1	2	3
Harvesting	9	628,7959	669,8444	802,0411
Pergantian	9			
Isolasi	9			
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 626,798.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = .05.

Post Hoc Tests

Waktu Kontak

Homogeneous Subsets

Duncan^{a,b} Konsentrasi Cr (mg/L)

Waktu Kontak	N	Subset		
		1	2	3
21 hari	9	386,2433		
7 hari	9		714,9222	
14 hari	9			999,5159
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 626,798.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = .05.

Pola Panen

Homogeneous Subsets

Duncan^{a,b} Konsentrasi Cr (mg/L)

Pola Panen	N	Subset		
		1	2	3
Harvesting	9	628,7959		
Pergantian	9		669,8444	
Isolasi	9			802,0411
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 626,798.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = .05.

Uji Normalitas

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

N		perlakuan	27
Normal Parameters	a,b	Mean	700,2215
		Std. Deviation	274,2061
Most Extreme Differences		Absolute	.133
		Positive	.129
		Negative	-.133
Kolmogorov-Smirnov Z			.691
Asymp. Sig. (2-tailed)			.725

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Uji variansi

Levene's Test of Equality of Error Variances ^a

Dependent Variable: perlakuan

F	df1	df2	Sig.
2,608	8	18	.043

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept+WAKTU+POLA+WAKTU * POLA

Levene's Test of Equality of Error Variances ^a

Dependent Variable: perlakuan

F	df1	df2	Sig.
2,065	8	18	.096

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept+WAKTU+POLA+WAKTU * POLA

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

	Value Label	N
Waktu Kontak	1,00 7 hari	9
	2,00 14 hari	9
	3,00 21 hari	9
Pola Panen	1,00 Isolasi	9
	2,00 Harvesting	9
	3,00 Pergantian	9

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Konsentrasi Cr (mg/L)

Waktu Kontak	Pola Panen	Mean	Std. Deviation	N
7 hari	Isolasi	849,0400	10,64388	3
	Harvesting	572,6133	10,63810	3
	Pergantian	723,1133	23,98340	3
	Total	714,9222	120,68700	9
14 hari	Isolasi	1100,1733	17,65254	3
	Harvesting	882,6677	53,49491	3
	Pergantian	1015,7067	34,70607	3
	Total	999,5159	100,55991	9
21 hari	Isolasi	456,9100	15,19938	3
	Harvesting	431,1067	14,63541	3
	Pergantian	270,7133	4,05888	3
	Total	386,2433	88,02302	9
Total	Isolasi	802,0411	281,05459	9
	Harvesting	628,7959	202,00350	9
	Pergantian	669,8444	325,74608	9
	Total	700,2271	274,19711	27

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Konsentrasi Cr (mg/L)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1943503,001 ^a	8	242937,875	387,585	.000
Intercept	13238587,593	1	13238587,593	21120,969	.000
Waktu Kontak	1695379,784	2	847689,892	1352,413	.000
Pola Panen	147524,549	2	73762,274	117,681	.000
Waktu Kontak* Pola Panen	100598,669	4	25149,667	40,124	.000
Error	11282,370	18	626,798		
Total	15193372,964	27			
Corrected Total	1954785,371	26			

a. R Squared = .994 (Adjusted R Squared = .992)

WAKTU KONTAK

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Konsentrasi Cr (mg/L)

Waktu Kontak	Mean	Std. Deviation	N
7 hari	714,9222	120,68700	9
14 hari	999,5159	100,55991	9
21 hari	386,2433	88,02302	9
Total	700,2271	274,19711	27

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Konsentrasi Cr (mg/L)

Tukey HSD

(i) Waktu Kontak	(j) Waktu Kontak	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
7 hari	14 hari	-284,5937*	49,00922	.000	-406,9838	-162,203
	21 hari	328,6789*	49,00922	.000	206,2888	451,069
14 hari	7 hari	284,5937*	49,00922	.000	162,2036	406,983
	21 hari	613,2726*	49,00922	.000	490,8825	735,662
21 hari	7 hari	-328,6789*	49,00922	.000	-451,0690	-206,288
	14 hari	-613,2726*	49,00922	.000	-735,6026	-490,882

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Konsentrasi Cr (mg/L)

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1695379,784 ^a	2	847689,892	78,428	.000
Intercept	13238587,593	1	13238587,593	1224,824	.000
WAKTU	1695379,784	2	847689,892	78,428	.000
Error	259405,587	24	10808,566		.000
Total	15193372,964	27			
Corrected Total	1954785,371	26			

a. R Squared = .867 (Adjusted R Squared = .856)

Post Hoc Tests

Waktu Kontak

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Konsentrasi Cr (mg/L)

Tukey HSD

(I) Waktu Kontak	(J) Waktu Kontak	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
7 hari	14 hari	-284,5937*	11,80206	.000	-314,7144	-254,473
	21 hari	328,6789*	11,80206	.000	298,5581	358,7997
14 hari	7 hari	284,5937*	11,80206	.000	254,4729	314,7144
	21 hari	613,2726*	11,80206	.000	583,1518	643,3933
21 hari	7 hari	-328,6789*	11,80206	.000	-358,7997	-298,558
	14 hari	-613,2726*	11,80206	.000	-643,3933	-583,152

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Homogeneous Subsets

Konsentrasi Cr (mg/L)

Tukey HSD^{a,b}

Waktu Kontak	N	Subset		
		1	2	3
21 hari	9	386,2433		
7 hari	9		714,9222	
14 hari	9			999,5159
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 626,798.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = .05.