

**PENGARUH POLA TANAM TERHADAP FITOREMEDIASI
LOGAM BERAT KROMIUM (VI)
DENGAN TANAMAN ECENG GONDOK
(*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi syarat mencapai Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Program Studi Ilmu Kimia
Pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia**



Disusun oleh:

**ANE SITA MASHITA
01612020**

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

Halaman Pengesahan Skripsi

**PENGARUH POLA TANAM TERHADAP FITOREMEDIASI
LOGAM BERAT KROMIUM (VI)
DENGAN TANAMAN ECENG GONDOK
(*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms)**

oleh:

ANE SITA MASHITA
No Mhs : 01 612 020

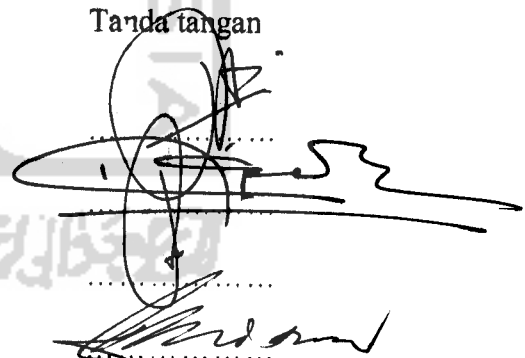
Telah dipertahankan dihadapan Panitia Penguji Skripsi
Jurusan Ilmu kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia
Jogjakarta

Tanggal : 29 Oktober 2005

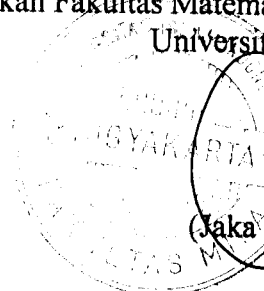
Dewan Penguji :

1. Prof. Dr. Hardjono Sastrohamidjojo
2. Drs. H. Allwar, M.Sc
3. Rudy Syahputra, M.Si
4. Drs. Mudasir, M.Eng., Ph.D.

Tanda tangan



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



(Jaka Nugraha, M.Si)

Halaman Persembahan

Teruntuk kedua orang tuaku "Babeh dan Mamah", yang telah menjadi pelita dalam hidupku, cahaya dikala gelapku, air saat dahagaku. Terimakasih atas cinta, kasih sayang, kepercayaan dan do'a yang selalu mengalir dalam setiap langkah, setiap detik dan setiap hembusan nafas Ananda, maaf jika Ananda selalu mengecewakan dan belum bisa memberikan yang terbaik.

Teruntuk Kakak-kakakku tercinta Mas Lukman, Mas Rony. Thank's a lot bro!! You're light of my life, yang selalu menerangi kala malamku dan selalu memberikan kehangatan saat dinginku. Love you all bro!! Kakak iparku Mbak Mamik, yang selalu mencoba memahami dan memberikan yang terbaik untukku. My little star keponakan kecilku "Zakiyyah Az-Zahro", yang telah menghadirkan cahaya-cahaya kecilnya untukku.

Teruntuk bintang-bintang kecilku Uway and U-one, yang selalu memberikan cahaya dalam gelap pekatku selama ini. Thank's a lot Girls

Spesial Thank's to:

Keluarga besar PakDe Agul Surabaya, terimakasih atas do'anya selama ini.

Idosa, Iis, Deny, Ca' I'am, Asma, Teguh, Liza, Yuyun, Penghuni Cuklat 42 Blok 2, KKN KP-110 KD Crew (Sigit, Aank, B'Jo, Lia, Cuit, E-cha, Mb Ayu), KKN KP-111, teman-teman Kimia MIPA VII angkatan bersenjata 2001 yang tak mampu saya sebutkan one by one. Terimakasih banyak, karena kalian semua telah menghadirkan warna-warna baru dalam hidupku, and thank's for the memories in Jogjakarta. Dimas, Afat, Arivenda, Dhini, Eldest, thank's a lot guys

Sekecil apapun keberanianmu, sebodoh!!!! Apapun dirimu!

Tanamkan pada jiwamu

"Aku adalah Manusia!!!"

Allah telah memberiku kemauan tuk terus mencoba menjadi lebih baik dan terbaik!!!

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobil'alamin, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul: "Pengaruh Pola Tanam Terhadap Fitoremediasi Logam Berat Kromium Dengan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms)". Terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Jaka Nugraha, M.Si, selaku Dekan F.MIPA UII.
2. Bapak Rudy Syahputra, M.Si, selaku Ketua Jurusan Kimia F.MIPA UII dan Dosen Pembimbing I.
3. Bapak Drs Mudasir, M. Eng. Ph D., selaku Dosen Pembimbing II
4. Bapak Prof. Dr. Hardjono Sastrohamidjojo, selaku Dosen Penguji I
5. Bapak Dr. H. Allwar, M.Sc., selaku Dosen Penguji II
6. Ibu Is Fatimah, M.Si., selaku Koordinator Kepala Laboratorium Kimia F.MIPA UII.
7. Ibu Rohmatul Fajriyah, M.Si., selaku Ketua Jurusan Statistik
8. Seluruh staf laboratorium Kimia UII, perpustakaan Biologi UGM dan perpustakaan MIPA UII, atas sarana dan prasarana yang penulis perlukan.
9. Rekan-rekan Kimia angkatan 2001, atas bantuan, do'a dan kerjasamanya selama ini.

Penulis menyadari kekurangan dalam skripsi ini, oleh karena itu penulis menerima segala saran dan kritik untuk lebih menyempurnakan skripsi ini dan semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi kita semua. Amin ya robbal'alamin

Jogjakarta, Oktober 2005

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
INTISARI	x
ABSTRACT	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Fitoremediasi Sebagai metode Pemulihan	6
2.2 Taksonomi dan Morfologi Tanaman Eceng Gondok	8
BAB III DASAR TEORI	11
3.1 Fitoremediasi	11
3.2 Penyerapan Logam Berat Oleh Eceng Gondok (<i>Eichornia</i> <i>Crassipes (Mart) Solms</i>)	12
3.3 Kromium	14

3.4 Destruksi Basah	16
3.5 Spektrofotometer Serapan Atom	18
3.5.1 Prinsip Dasar Spektrofotometer Serapan Atom	18
3.5.2 Instrumentasi Spektrofotometer Serapan Atom	20
3.5.3 Optimasi Peralatan Spektrofotometer Serapan Atom	22
3.5.4 Gangguan Dalam Spektrofotometer Serapan Atom	23
3.6 Hipotesis	24
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	25
4.1 Ruang Lingkup Penelitian	25
4.2 Alat dan Bahan	25
4.2.1 Alat	25
4.2.1 Bahan	26
4.3 Cara Kerja	26
4.3.1 Aklimasi	26
4.3.2 Antikontaminan	26
4.3.3 Penanaman Eceng Gondok Pada Medium Yang Telah Dibuat	27
1. Pekerjaan Pendahuluan	27
2. Tahapan Perlakuan Tanaman Eceng Gondok	28
4.3.4 Larutan Buffer	30
4.4 Preparasi Sampel	30
4.4.1 Sampel Akar.....	30
4.4.2 Sampel Air.....	31
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	32
5.1 Optimasi Alat Spektrofotometer Serapan Atom	32
5.2 Kurva Larutan Standar Cr	36
5.3 Penanaman Eceng Gondok	37
5.4 Pengaruh Variabel Pada Penyerapan Logam Cr	39
5.4.1 Pola Tanam Isolasi	39

5.4.2 Pola Tanam Harvesting	40
5.4.3 Pola Tanam Pergantian	41
5.4.4 Pengaruh Waktu Kontak dan Pola Tanam.....	42
5.7 Fitotoksin Logam Cr	44
5.7.1 Pengaruh Variabel Pola Tanam dan Waktu Kontak	44
1 Pola Tanam Isolasi	44
2 Pola Tanam Harvesting	45
3 Pola Tanam Pergantian	46
 BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	 49
6.1 Kesimpulan	49
6.2 Saran	50
 BABVII DAFTAR PUSTAKA.....	 51
LAMPIRAN	53



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Pemilihan Panjang Gelombang Emisi Lampu.....	56
Tabel 2 Pemilihan Kecepatan Laju Alir-Asetilen (L/menit).....	56
Tabel 3 Pemilihan Kecepatan Laju Alir-Udara (L/menit).....	56
Tabel 4 Pemilihan Tinggi Pembakar Pemilihan Tinggi Pembakar.....	56
Tabel 5 Hasil Optimasi Alat Spektrofotometri Serapan Atom.....	57



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Morfologi Tanaman Eceng Gondok	9
Gambar 2	Diagram Spektrofotometri Serapan Atom	20
Gambar 3	Pola Tanam Isolasi.....	28
Gambar 4	Pola Tanam Harvesting.....	29
Gambar 5	Pola Tanam Pergantian	30
Gambar 6	Grafik Panjang Gelombang VS Energi.....	33
Gambar 7	Grafik Kecepatan Laju Alir-Asetilen.....	35
Gambar 8	Grafik Kecepatan Laju Alir-Udara	35
Gambar 9	Grafik Tinggi Pembakar VS Absorbansi	36
Gambar 10	Kurva kalibrasi larutan standard.....	37
Gambar 11	Profil konsentrasi logam Cr^{6+} pada akar dan air pola tanam isolasi.....	39
Gambar 12	Kadar logam Cr^{6+} dalam akar pada pola tanam harvesting.....	41
Gambar 13	Kadar logam Cr^{6+} dalam akar pada pola tanam pergantian	42
Gambar 14	Perbandingan % kadar logam Cr^{6+} untuk tiap-tiap pola tanam dan waktu kontak.....	42
Gambar 15a	Kondisi tanaman isolasi pada waktu kontak 7 hari.....	45
Gambar 15b	Kondisi tanaman isolasi pada waktu kontak 14 hari.....	45
Gambar 15c	Kondisi tanaman isolasi pada waktu kontak 21 hari.....	45
Gambar 16a	Kondisi tanaman harvesting pada waktu kontak 7 hari	46
Gambar 16b	Kondisi tanaman harvesting pada waktu kontak 14 hari	46
Gambar 16c	Kondisi tanaman harvesting pada waktu kontak 21 hari	47
Gambar 17a	Kondisi tanaman pergantian pada waktu kontak 7 hari.....	47
Gambar 17b	Kondisi tanaman pergantian pada waktu kontak 14 hari.....	47
Gambar 17c	Kondisi tanaman pergantian pada waktu kontak 21 hari	48

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Pembuatan Larutan Kerja	53
Lampiran 2	Optimasi Spektrofotometri Serapan Atom	56
Lampiran 3	Hasil Pengukuran Cr^{6+} Pada Akar	58
Lampiran 4	Hasil Pengukuran Cr^{6+} Pada Air.....	59
Lampiran 5	Langkah-langkah penentuan slope, intersep dan koefisien korelasi dengan menggunakan program Microsoft Excel	60
Lampiran 6	Perhitungan Kadar Logam Cr^{6+} Dalam Akar	61
Lampiran 7	Perhitungan Kadar Logam Cr^{6+} Dalam Air	69
Lampiran 8	Analisis Statistik Anava Dua Arah	72



**PENGARUH POLA TANAM TERHADAP
FITOREMEDIASI LOGAM BERAT KROMIUM (VI)
DENGAN TANAMAN ECENG GONDOK
(*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)**

INTISARI

Ane Sita Mashita

NIM : 01 612 020

Dalam penelitian ini telah dipelajari penyerapan logam Cr^{6+} dari media air menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms). Variabel yang dipelajari adalah pengaruh pola tanam (isolasi, harvesting, dan pergantian) dan waktu kontak (7, 14, dan 21 hari) terhadap daya serap akar tanaman terhadap logam Cr^{6+} . Logam Cr^{6+} yang diserap oleh akar tanaman eceng gondok dan dalam media air didestruksi menggunakan HNO_3 dan kemudian dianalisis menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).

Hasil penelitian menunjukkan meningkatnya jumlah logam Cr^{6+} yang terserap pada pola tanam yang berbeda dengan bertambahnya waktu kontak. Berdasarkan analisis statistik anava dua arah dengan nilai $\alpha = 0,05$, waktu kontak 21 hari merupakan waktu yang optimum untuk penyerapan logam Cr^{6+} oleh akar eceng gondok untuk pola tanam Isolasi dengan serapan yang dihasilkan 332.48 $\mu\text{g/g}$. Efek toksisitas logam Cr^{6+} dalam tanaman eceng gondok, dapat terlihat pada waktu kontak 21 hari untuk pola tanam isolasi.

Kata kunci : Fitoremediasi, kromium (VI), eceng gondok.

**THE EFFECT OF CULTIVATION PATTERNS TO
PHYTOREMEDIATION OF HEAVY METAL CHROMIUM (VI) BY
WATER HYACINTH
(*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)**

ABSTRACT

Ane Sita Mashita
01612020

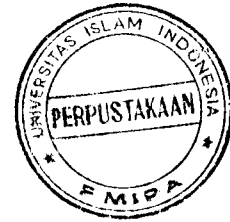
The research about phytoremediation of chromium (VI) by water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) has been done. The effect on adsorption of chromium (VI) metal by water hyacinth was studied with variables of cultivation pattern (isolation, harvesting, and changing) and contacting time (7, 14, 21 days). The toxicity effect of chromium (VI) metal was also studied by observation on the plant morphology. The digestion 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 anava two ways analysis with $\alpha=0,05$ it was shown that 21 days of contact time is the optimum condition for the adsorption of Chromium (VI) metal by root of water hyacinth which was planted according to isolation pattern with the total adsorption of 332,48 $\mu\text{g/g}$. Toxicity effect caused by chromium (VI) metal was observed at 21 days contact time for isolated cultivation patterns indicated by the change plant morphology.

Keywords : Phytoremediation, chromium (VI), water hyacinth.

BAB I

PENDAHULUAN



1.1 Latar Belakang Masalah

Dewasa ini air menjadi masalah yang perlu mendapat perhatian yang seksama dan cermat. Untuk mendapatkan air yang baik, sesuai dengan standar tertentu saat ini sudah menjadi barang yang sangat mahal, karena air sudah banyak tercemar oleh bermacam-macam limbah dari kegiatan manusia, baik limbah dari kegiatan rumah tangga, industri maupun kegiatan-kegiatan yang lain (Wardhana, 2001).

Berdasarkan Keputusan Menteri Kependudukan dan Lingkungan Hidup No.2/MENKLH/1988, yang dimaksud dengan pencemaran adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam air atau udara dan/atau berubahnya tatanan (komposisi) air/udara oleh kegiatan manusia atau proses alam, sesuai dengan peruntukannya.

Dengan semakin meningkatnya perkembangan sektor industri dan transportasi, baik industri minyak dan gas bumi, pertanian, industri kimia, industri logam dasar, industri jasa dan jenis aktivitas manusia lainnya, maka semakin meningkat pula tingkat pencemaran pada perairan, udara dan tanah akibat berbagai kegiatan tersebut (Kristanto, 2002).

Pada lingkungan perairan apabila sudah terkontaminasi oleh limbah mengakibatkan material organik dan anorganik yang terkandung pada perairan tersebut mempunyai kemampuan untuk mengabsorpsi logam, akibatnya

pencemaran logam yang lebih cepat akan terjadi. Pada umumnya logam berat di dalam air jarang sekali berbentuk atom tersendiri, biasanya terikat oleh senyawa lain, ikatan itu berupa garam organik, seperti senyawa metil, etil, fenil maupun garam anorganik berupa oksida, klorida sulfida, karbonat hidroksida dan sebagainya. Bentuk ion dari senyawa tersebut terserap dan kemudian tertimbun dalam tanaman (Darmono, 1995).

Salah satu pengolahan lokasi yang telah tercemar logam berat adalah dengan metode pemulihan (remediasi). Metode ini merupakan tindakan pemulihan yang perlu dilakukan agar lahan yang tercemar dapat digunakan kembali. Disamping metode remediasi yang biasa digunakan berbasis pada rekayasa fisika dan kimia, 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).

Pemanfaatan tumbuhan untuk remediasi lingkungan sangat ditentukan oleh pemahaman tentang penyerapan logam dan/atau degradasi senyawa organik oleh tumbuhan. Pada dasawarsa terakhir terjadi akumulasi yang cepat tentang pengetahuan mengenai aspek-aspek fisiologis tersebut. Chaney dan koleganya dari USDA-ARS yang aktif meneliti dan mengembangkan manfaat tumbuhan untuk remediasi logam telah mengidentifikasi karakteristik penting, sebagai berikut: 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).

Fitoakumulasi dan fitotoksisitas logam berat cadmium (Cd) dan kromium (Cr), dengan perbedaan waktu kontak dan konsentrasi yang semakin meningkat ternyata mampu mengurangi produktivitas biomasa dan kandungan klorofil dalam tumbuhan duckweed dan wolffia globosa (Boonyapookana dkk, 2002).

Waktu kontak juga mempengaruhi biosorpsi logam kadmium (Cd) dan kromium (Cr), dimana penyerapan terjadi secara cepat dan efisien juga pada konsentrasi rendah (Upatham dkk, 2002).

Penelitian daya serap eceng gondok juga dilakukan terhadap besi (Fe) pada tahun 2000. Untuk mengukur daya serap eceng gondok terhadap Fe, digunakan satu, dua, dan tiga rumpun eceng gondok ditempatkan dalam satu pot plastik berisi air sumur dengan tambahan logam Fe dengan konsentrasi 5 ppm. Konsentrasi Fe diukur pada hari ke-0, 7, 14, dan 21 dengan spektrofotometri serapan atom. Dari data yang diperoleh, menunjukkan bahwa pada hari ke-7, 14, dan 21, eceng gondok memberikan respon nyata dalam menurunkan logam Fe untuk ketiga perlakuan (Hasim, 2004).

Daya serap eceng gondok juga dilakukan terhadap logam Cd, Co, Ni dan Pb, dengan konsentrasi yang bervariasi (0,1-5,0 ppm). Pada penelitian kali ini pola tanam yang digunakan berbeda, yaitu dengan mengganti tanaman yang sudah

ditaruh dalam pot selama dua hari masa penyerapan dengan tanaman yang baru (Alboulross dkk, 2002)

Dalam penelitian ini akan dikaji kemampuan tanaman eceng gondok dalam mengabsorpsi logam Cr^{6+} . Pada ekosistem perairan beberapa parameter yang mempengaruhi kemampuan absorpsi tanaman eceng gondok seperti pola tanam, waktu kontak dan efek toksisitas logam Cr^{6+} terhadap tanaman eceng gondok akan diteliti. Juga akan dipelajari pola tanam dan waktu kontak mana eceng gondok bekerja secara maksimum.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dilakukan, maka pada penelitian ini dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Apakah efektifitas penyerapan logam Cr^{6+} dipengaruhi oleh perbedaan pola tanam dan waktu kontak yang bervariasi pada tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes (Mart) solm*).
2. Apakah logam Cr^{6+} memiliki efek toksisitas terhadap tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes (Mart) solm*).

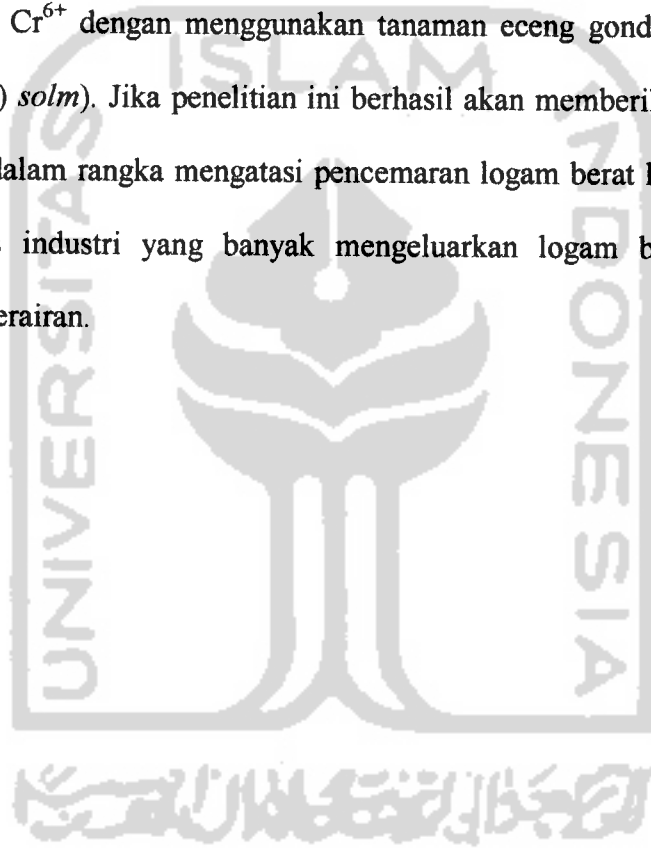
1.3 Tujuan Penelitian

Untuk mempelajari penggunaan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes (Mart) solm*) pada proses fitoremediasi logam pada lingkungan perairan. Mengetahui pengaruh pola tanam dan waktu kontak terhadap efektifitas

penyerapan logam Cr^{6+} pada tanaman eceng gondok, dan mengetahui efek toksisitas logam Cr^{6+} terhadap tanaman eceng gondok.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini dapat diketahui keunggulan fitoremediasi cemaran senyawa logam Cr^{6+} dengan menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart) solm). Jika penelitian ini berhasil akan memberikan sumbangan yang berharga dalam rangka mengatasi pencemaran logam berat khususnya pada daerah berbasis industri yang banyak mengeluarkan logam berat ke badan air/ ekosistem perairan.



Fitoakumulasi dan fitotoksisitas logam berat cadmium (Cd) dan kromium (Cr), dengan perbedaan waktu kontak dan konsentrasi yang semakin meningkat ternyata mampu mengurangi produktivitas biomasa dan kandungan klorofil dalam tumbuhan duckweed dan wolffia globosa. Dimana konsentrasi logam yang digunakan berkisar antara 10-400 mg/L dan untuk logam Cd dilakukan pada pH 4-7, untuk logam Cr pada pH 1,5-6. Untuk logam Cd, kapasitas adsorpsi maksimum terjadi pada pH 7 yaitu 80,7 mg/g dan kapasitas adsorpsi maksimum untuk logam Cr terjadi pada pH 1,5 yaitu sebesar 73,5 mg/g. (Boonyapookana dkk, 2002).

Waktu kontak juga mempengaruhi biosorpsi logam kadmium (Cd) dan kromium (Cr), dimana penyerapan terjadi secara cepat dan efisien juga pada konsentrasi rendah. (Upatham dkk, 2002)

Penelitian daya serap eceng gondok juga dilakukan terhadap besi (Fe) pada tahun 2000. Untuk mengukur daya serap eceng gondok terhadap Fe, digunakan satu, dua, dan tiga rumpun eceng gondok ditempatkan dalam ember plastik berisi air sumur dengan tambahan logam Fe dengan konsentrasi 5 ppm. Dari data yang diperoleh data, menunjukkan bahwa pada hari ke-7, 14, dan 21, eceng gondok memberikan respon nyata dalam menurunkan logam Fe untuk ketiga perlakuan (Hasim, 2004).

Penelitian daya serap eceng gondok juga dilakukan terhadap logam Cd, Co, Ni dan Pb, dengan konsentrasi yang bervariasi (0,1-5,0 ppm). Pada penelitian kali ini pola tanam yang digunakan berbeda, yaitu dengan mengganti tanaman

yang sudah ditanam dalam pot selama dua hari masa penyerapan dengan tanaman yang baru (Aboulross dkk, 2002)

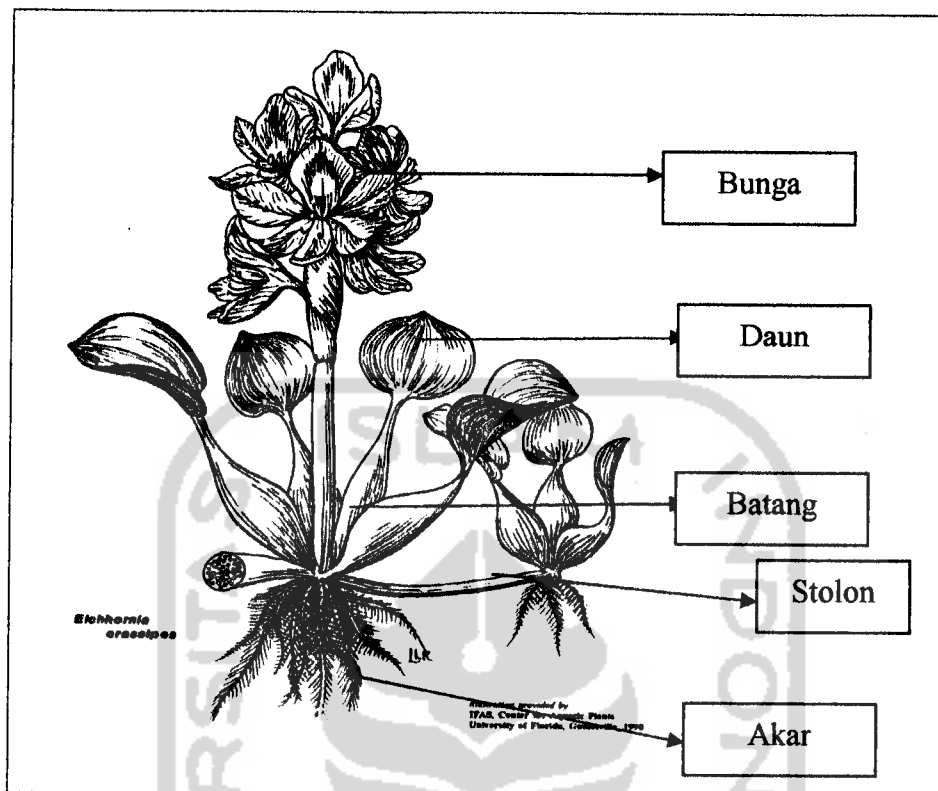
Berdasarkan dari tinjauan penelitian-penelitian di atas, serta dari klasifikasi jenis tumbuhan yang sama, maka eceng gondok dapat dijadikan salah satu rujukan untuk mencegah pencemaran logam Cr^{6+} di perairan yang salah satu sumbernya berasal dari limbah industri kulit.

2.2 Taksonomi dan Morfologi Tanaman Eceng Gondok

Kedudukan eceng gondok dalam taksonomi tumbuhan adalah sebagai berikut (Soerjani, 1975):

Divisio	: Spermatophyta
Sub division	: Angiospermae
Kelas	: Monocotyledone
Ordo	: Farinosae
Familia	: Pontederiaceae
Genus	: Eichhornia
Spesies	: Eichhornia crassipes (Mart.) Solms

Ditinjau dari anatominya (ekoanatomi) eceng gondok khususnya atau tumbuhan akuatik (*Hydrophyt*) pada umumnya mempunyai struktur anatomi yang spesifik baik akar, batang ataupun daunnya.



Gambar 1. Tanaman Eceng Gondok

Akar :

Akar eceng gondok mempunyai rambut berjumlah banyak sesuai dengan fungsinya, yakni untuk menyerap zat-zat hara yang terlarut dalam air.

Batang :

Batangnya sangat pendek dan tidak mempunyai percabangan dengan jaringan palisade yang berupa jaringan bunga karang, berfungsi sebagai rongga udara.

Daun :

Permukaan daunnya dilapisi oleh zat lilin sebagai pelindung terhadap kemelimpahan air di tempat hidupnya. Pada daun dan tangkai daun terdapat aerenkim yang berfungsi sebagai alat pengapung tubuh. Pada daun dan tangkai

daun dapat melaksanakan fotosintesis karena adanya klorofil, demikian juga respirasi.

Distribusi tumbuhan ini meliputi daerah yang sangat luas, karena didukung oleh sifatnya yang dapat dengan mudah memisahkan diri dari kelompoknya (Daubermine, 1974; Weaver, 1980).



BAB III

DASAR TEORI

3.1 Fitoremediasi

Istilah fitoremediasi berasal dari bahasa Inggris *phytoremediation*; kata ini tersusun atas dua bagian kata, yaitu *phyto* yang berasal dari kata *phyton* ("tumbuhan") dan *remediation* yang berasal dari kata Latin *remedium* ("menyembuhkan", dalam hal ini berarti juga "menyelesaikan masalah dengan cara memperbaiki kesalahan atau kekurangan") (Anonim, 1999).

Dengan demikian fitoremediasi dapat didefinisikan sebagai: penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan, atau menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik. Fitoremediasi dapat dibagi menjadi fitoekstraksi, rizofiltrasi, fitodegradasi, fitostabilisasi, fitovolatilisasi.

1 Fitoekstraksi

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

2. Rizofiltrasi

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

3. Fitodegradasi

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

4. Fitostabilisasi

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.

3.2 Penyerapan Logam Berat Oleh Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.)

Sofms)

Tumbuhan ini mempunyai daya regenerasi yang cepat karena potongan-potongan vegetatifnya yang terbawa arus air akan terus berkembang menjadi eceng gondok dewasa. Eceng gondok sangat peka terhadap keadaan yang unsur haranya di dalam air kurang mencukupi, tetapi responnya terhadap kadar unsur hara yang tinggi juga besar. Proses regenerasi yang cepat dan toleransinya terhadap lingkungan yang cukup besar, menyebabkan eceng gondok dapat dimanfaatkan sebagai pengendali pencemaran lingkungan (Soerjani, 1975).

Sel-sel akar tanaman umumnya mengandung ion dengan konsentrasi yang lebih tinggi dari pada medium sekitarnya dan biasanya bermuatan negatif. Penyerapan ini melibatkan energi, sebagai konsekuensi dan keberadaannya, kation

memperlihatkan adanya kemampuan masuk ke dalam sel secara pasif ke dalam gradient elektrokimia, sedangkan anion harus diangkut secara aktif ke dalam sel akar tanaman sesuai dengan keadaan gradient konsentrasi melawan gradient elektrokimia (Foth, 1991).

Di dalam akar, tanaman biasa melakukan perubahan pH kemudian membentuk suatu zat khelat yang disebut 'fitosiderofor'. Zat inilah yang kemudian mengikat Fe, Zn, Cu, dan Mn, kemudian dibawa ke dalam sel akar. "Agar penyerapan besi meningkat, maka tumbuhan ini membentuk molekul reduktase di membran akar". Sedangkan model translokasi di dalam tubuh tumbuhan adalah logam dibawa masuk ke sel akar kemudian ke jaringan pengangkut yaitu xylem dan floem, ke bagian tumbuhan lain. Sedangkan lokalisasi logam pada jaringan bertujuan untuk mencegah peracunan logam terhadap sel, maka tanaman akan melakukan detoksifikasi, misalnya menimbun logam ke dalam organ tertentu seperti akar.

Menurut Fitter dan Hay (1991), terdapat dua cara penyerapan ion ke dalam 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

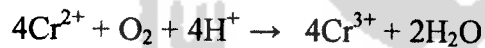
bersifat selektif, tanaman mempunyai kemampuan untuk menyeleksi penyerapan ion tertentu pada kondisi lingkungan yang luas (Foth, 1991).

3.3 Kromium

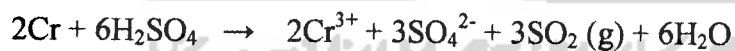
Kromium adalah logam kristalin yang berwarna putih, tak begitu liat dan tak dapat ditempa. Kromium melebur pada suhu 1765°C, logam ini larut dalam asam klorida encer atau pekat. Jika tak terkena udara, akan terbentuk ion-ion kromium (II):



Dengan adanya oksigen dari atmosfer, kromium sebagian atau separuhnya menjadi teroksidasi ke keadaan trivalen:



Asam sulfat encer menyerang kromium perlahan-lahan, dengan membentuk hidrogen. Dalam asam sulfat pekat panas, kromium larut dengan mudah dan terbentuk ion-ion kromium(III) dan belerang dioksida:



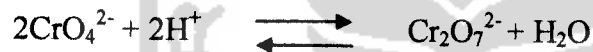
Asam nitrat, baik yang encer maupun yang pekat, membuat kromium menjadi pasif, begitu pula asam sulfat pekat dingin dan air raja (Vogel, 1990).

Berdasarkan pada sifat-sifat kimianya, logam Cr dalam persenyawaannya mempunyai bilangan oksidasi 2+, 3+ dan 6+. Logam ini tidak dapat teroksidasi oleh udara yang lembab, dan bahkan pada proses pemanasan cairan logam Cr teroksidasi dalam jumlah yang sangat sedikit sekali. Akan tetapi dalam udara yang mengandung CO₂ dalam konsentrasi tinggi, logam Cr dapat mengalami peristiwa

oksidasi dan membentuk Cr_2O_3 , sedangkan dalam larutan HCl akan membentuk logam CrCl_2 . Kromium merupakan logam yang mudah bereaksi. Logam ini secara langsung dapat bereaksi dengan nitrogen, karbon, silika dan boron (Palar, 1994).

Menurut Vogel (1990) dalam larutan-larutan air kromium membentuk tiga jenis ion: kation-kation kromium(II) dan kromium(III) dan anion kromat (dan dikromat) yang mempunyai bilangan oksidasi +6.

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 ini diturunkan dari kromite, CrO_3 . 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 pengoksidasi yang kuat (Vogel, 1990).

Sesuai dengan tingkat valensi yang dimilikinya, logam atau ion-ion kromium yang telah membentuk senyawa mempunyai sifat-sifat yang berbeda-beda sesuai tingkat ionitasnya. Senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr^{2+} akan bersifat basa, senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr^{3+} bersifat ampoter dan senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr^{6+} akan bersifat asam. Ion kromat $(\text{CrO}_2)_4^{2-}$ bila berada dalam suasana asam akan menimbulkan sifat sebagai penyebab terjadinya oksidator yang sangat kuat.

Logam Cr 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. Tetapi sumber-sumber masukan logam Cr ke dalam strata lingkungan yang umum diduga paling banyak adalah dari kegiatan-kegiatan perindustrian, kegiatan rumah tangga dan dari pembakaran serta mobilisasi bahan-bahan bakar.

Dalam badan perairan Cr dapat masuk melalui dua cara, yaitu secara alamiah dan non-alamiah. Masuknya Cr secara alamiah disebabkan oleh beberapa faktor fisika, seperti erosi yang terjadi pada batuan mineral. Disamping itu debu-debu dan partikel-partikel Cr yang di udara akan dibawa turun oleh air hujan. Masuknya Cr yang terjadi secara non-alamiah lebih merupakan dampak atau efek dari aktivitas yang dilakukan manusia. Sumber-sumber Cr yang berkaitan aktivitas manusia dapat berupa limbah atau buangan industri sampai buangan rumah tangga. (Palar, 1994)

3.4 Destruksi Basah

Dalam cuplikan sayur-sayuran terkandung berbagai senyawa baik organik maupun anorganik. Agar unsur-unsur tersebut tidak saling mengganggu dalam analisis maka salah satu unsur harus dihilangkan. Destruksi berfungsi untuk memutuskan rantai ikatan antara C, H, dan O sebagai unsur utama penyusun tumbuh-tumbuhan.

Untuk mengetahui konsentrasi Cr^{6+} 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. Di dalam pelaksanaannya destruksi biasa menggunakan empat macam cara, yaitu:

1. HNO_3

HNO_3 merupakan asam pengoksidasi yang kuat dan dapat dengan mudah dihilangkan, dimana yang berperan sebagai pengoksidnya adalah ion nitratnya. selain itu nitrat merupakan matrik yang dapat diterima oleh spektro dengan nyala.

2. Campuran H_2SO_4 dan K_2SO_4

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

3. Campuran H_2SO_4 dan HNO_3

H_2SO_4 dan HNO_3 merupakan asam-asam pengoksidasi yang kuat. Campuran dari keduanya dapat menaikkan suhu peleburan cuplikan sampai 350°C dengan demikian komponen yang dapat menguap pada suhu tinggi dapat tetap dipertahankan.

4. 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 lebih pendek dibandingkan dengan ketiga cara sebelumnya. Kelemahan dari penggunaan campuran ini adalah bahwa HClO_4 bersifat eksplosif (mudah meledak) sehingga cukup berbahaya

3.5 Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

3.5.1 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 bereksitasi ke tingkat tenaga tertentu (*excited 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 (*transmittansi*) 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:

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

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

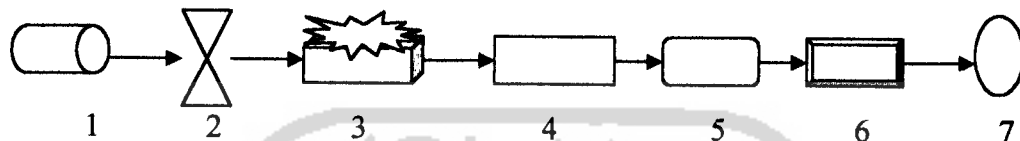
Dimana:

I_0 = intensitas radiasi awal

I = intensitas radiasi yang diteruskan

3.5.2 Instrumentasi Spektrofotometri Serapan Atom

Alat spektrofotometer serapan atom terdiri dari rangkaian dalam diagram skematik berikut ini (Skoog, 1980):



Gambar 2 Diagram spektrofotometer serapan atom

Keterangan :

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

Komponen-komponen spektrofotometri serapan atom:

1. Sumber cahaya

Hollow Cathode Lamp (HCL) atau 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. HCL umumnya terdiri dari katoda cekung yang silindris yang terbuat dari unsur yang akan ditentukan atau campurannya (*alloy*) dan anoda yang terbuat dari tungsten.

Elektroda-elektroda ini berada dalam tabung gas dengan jendela kuarsa karena panjang gelombang emisinya sering berada pada daerah ultraviolet. Tabung gas tersebut dibuat bertekanan rendah dan diisi dengan gas yang bersifat inert (Ar atau He). Beda voltase yang cukup tinggi dikenakan pada kedua elektroda tersebut sehingga atom gas pada anoda terionisasi. Ion positif ini dipercepat ke arah katoda dan ketika menabrak katoda menyebabkan beberapa logam pada katoda terpengkilat 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, sinar ini disebut garis resonansi. Sumber radiasi lain yang digunakan adalah „Elektrodless Discharge Lamp“. Lampu ini mempunyai prinsip kerja hampir sama dengan HCL, tetapi mempunyai output radiasi lebih tinggi dan biasanya digunakan untuk analisis unsur-unsur As dan Se, karena lampu HCL untuk unsur-unsur ini mempunyai sinyal yang lemah dan tidak stabil. (Mudasir, 2003).

2. Sumber atomisasi

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 oksid asetilen.

3. Monokromator

Monokromator merupakan alat yang berfungsi untuk memisahkan radiasi yang tidak diperlukan dari spektrum radiasi lain yang dihasilkan oleh lampu katoda cekung.

4. 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.

5. 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.

6. Sistem pembacaan

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

3.5.3 Optimasi Peralatan Spektrofotometri Serapan Atom

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

- Pemilihan persen (%) pada transmisi

- Kemampuan arus lampu Hollow Cathode
- Lebar celah (*slit width*)
- Kedudukan lampu terhadap focus slit
- Kedudukan panjang gelombang (λ)
- Set monokromator untuk memberikan sinyal maksimum
- Pemilihan nyala udara tekanan asetilen
- Kecepatan udara tekan
- Kecepatan asetilen
- Kedudukan burner agar memberikan absorbansi maksimum

3.5.4 Gangguan Dalam Spektrofotometri Serapan Atom

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

1. Gangguan ionisasi

Biasanya terjadi pada unsur alkali dan 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 (*refractory*).

3. Gangguan fisik

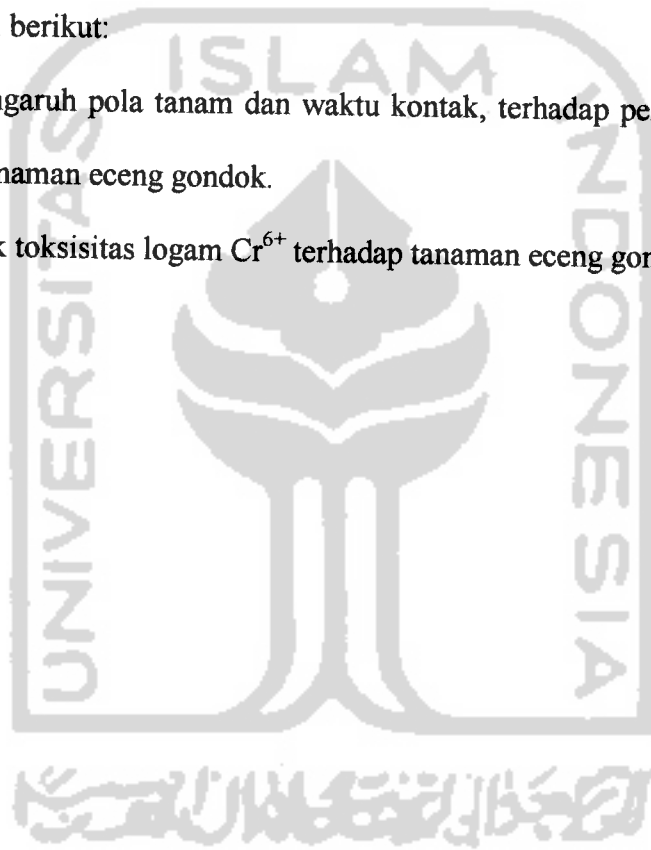
Gangguan fisik adalah parameter yang dapat mempengaruhi kecepatan sampel sampai ke nyala. Parameter-parameter tersebut adalah kecepatan alir gas,

berubahnya viskositas sampel akibat temperatur atau solven dan perubahan temperatur nyala.

3.6 Hipotesis

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

1. Adanya pengaruh pola tanam dan waktu kontak, terhadap penyerapan logam Cr^{6+} oleh tanaman eceng gondok.
2. Adanya efek toksisitas logam Cr^{6+} terhadap tanaman eceng gondok



BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian dilakukan secara laboratorium, yaitu menggunakan pot-pot plastik berisi air sebagai medium pertumbuhan tanaman yang ditambahkan logam Cr^{6+} sebagai bahan pencemar. Parameter-parameter yang diamati antara lain:

1. Pola tanam
2. Waktu kontak
3. Toksisitas logam pada tanaman

4.2 Alat dan Bahan

4.2.1 Alat

- a. Pot-pot plastik ukuran 5 L
- b. Timbangan biasa (cariba)
- c. Neraca digital (Sartorius BP-410)
- d. Mistar
- e. Alat fotografi
- f. Peralatan gelas
- g. Krusibel
- h. Spektrofotometer serapan atom model Perkin Elemer 1500 PC

4.2.2 Bahan

- a. Eceng gondok (*Eichornia crassipes* (*Mart.*) Solms)
- b. K_2CrO_4 kristal p.a (Merck)
- c. KH_2PO_4 kristal p.a (Merck)
- d. NaOH kristal p.a (Merck)
- e. Larutan HNO_3 p.a (Merck)
- f. Larutan HCl p.a (Merck)

4.3 Cara Kerja

4.3.1 Aklimasi

Sebelum digunakan untuk penelitian, dilakukan aklimasi tumbuhan eceng gondok yang bertujuan untuk penyesuaian. Aklimasi dilakukan dengan menanam tumbuhan tersebut dalam air kran selama tujuh hari tanpa pergantian air. Eceng gondok 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.

4.3.2 Anti kontaminan

Antikontaminan merupakan perlakuan terhadap peralatan gelas 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 disimpan selama semalam dalam larutan HNO_3 10% (v/v). Setelah itu dibilas dengan akuades dan dikeringkan pada tempat yang bebas dari debu (Carasek dkk, 2000)

4.3.3 Penanaman eceng gondok pada medium air

Eceng gondok ditanaman dalam pot yang telah diberi air sebanyak 4 liter. Pada hari kedelapan diberi garam K_2CrO_4 yang dihitung sebagai hari ke nol. Berat tumbuhan untuk perlakuan yaitu 100 sampai 150 gram, sedangkan ketinggian air tetap dijaga antara 3 sampai 4 liter.

1 Pekerjaan pendahuluan

Pekerjaan pendahuluan bertujuan untuk mencari konsentrasi logam maksimum yang dapat diserap oleh tanaman eceng gondok dengan hasil optimum, dimana konsentrasi yang digunakan yaitu 5 ppm.

Perlakuan terhadap parameter dilakukan pada pH yang sama yaitu pada $\text{pH}=7$, dan dilakukan pengamatan sebagai berikut:

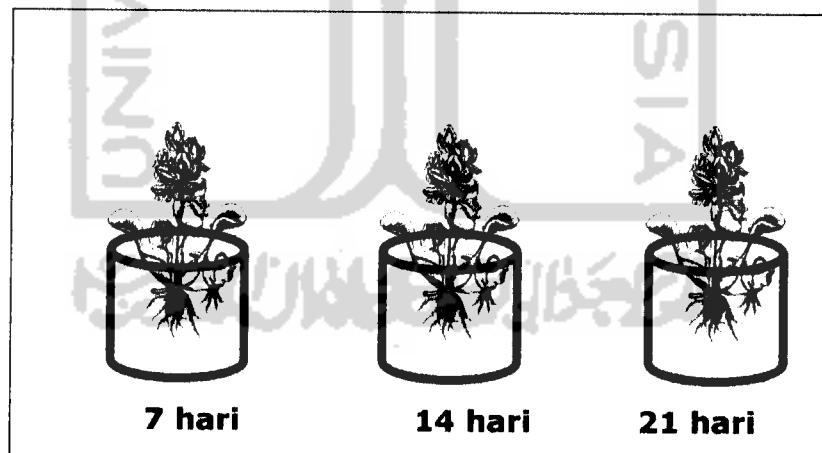
- a. Untuk melihat pengaruh konsentrasi awal logam terhadap daya serap tanaman, dilakukan pengamatan morfologi tanaman dan penentuan konsentrasi logam Cr dalam akar pada waktu kontak ke 7, 14, dan 21 hari.
- b. Untuk mengetahui akumulasi logam pada jaringan tanaman maka dilakukan penentuan konsentrasi logam pada akar.

2. Tahapan perlakuan tanaman eceng gondok

Tahapan perlakuan tanaman eceng gondok berbeda-beda, hal ini bertujuan untuk memberikan variasi hasil yang diperoleh. Ada tiga tahapan perlakuan tanaman eceng gondok, yaitu:

1. Tahapan Isolasi

Tahapan isolasi merupakan tahapan dimana pada tahapan ini disediakan tiga buah pot yang setiap potnya berisi satu ruas tanaman eceng gondok, dimana setiap pot diberikan perlakuan yang sama yaitu: diberi air dengan jumlah yang sama, 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. Pola tanam isolasi ditunjukkan pada gambar 3.

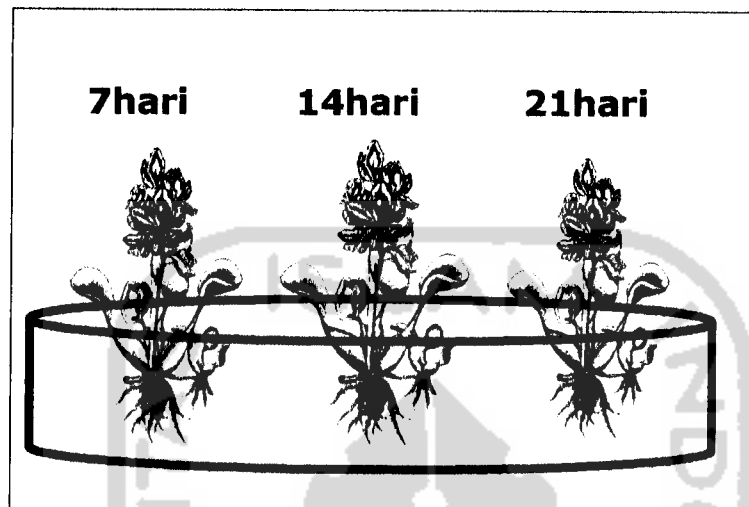


Gambar 3 Pola tanam Isolasi

2. Tahapan Harvesting

Tahapan harvesting merupakan tahapan dimana pada tahapan ini disediakan satu buah pot yang berisi tiga buah tanaman eceng gondok dengan parameter

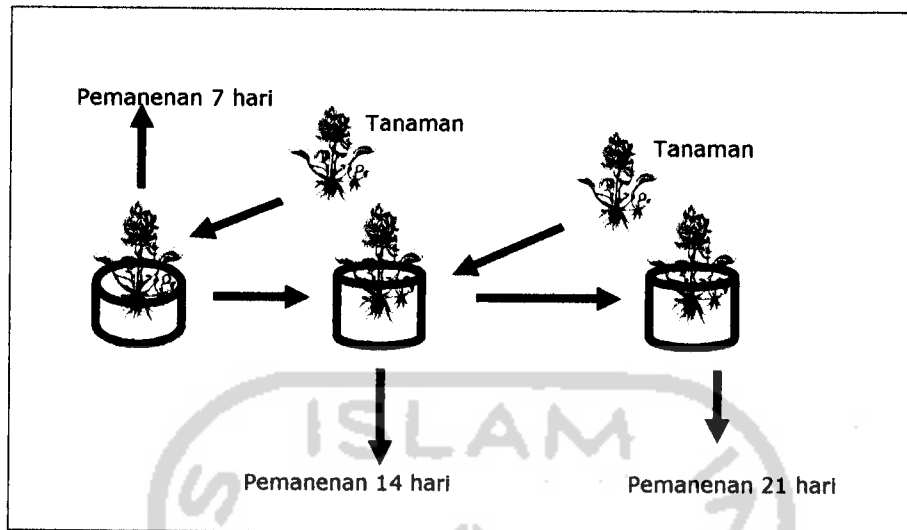
tanaman yang sama dan ditanam pada waktu yang sama. Pola tanam harvesting ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4 Pola tanam Harvesting

3. Tahapan Pergantian

Pada tahapan ini hampir sama dengan tahapan harvesting, perbedaannya terletak pada cara penanaman tanaman eceng gondok. Jika pada tahapan harvesting tanaman eceng gondok ditanam pada waktu yang bersamaan, pada tahapan ini tanaman eceng gondok ditanam pada waktu yang berbeda namun pada medium yang sama atau medium tidak mengalami perubahan jumlah air dan jumlah logam. Pola tanam pergantian ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5 Pola tanam Pergantian

4.3.4 Larutan buffer phospat

Buffer yang digunakan dalam penelitian ini merupakan 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.

4.4 Preparasi Sampel

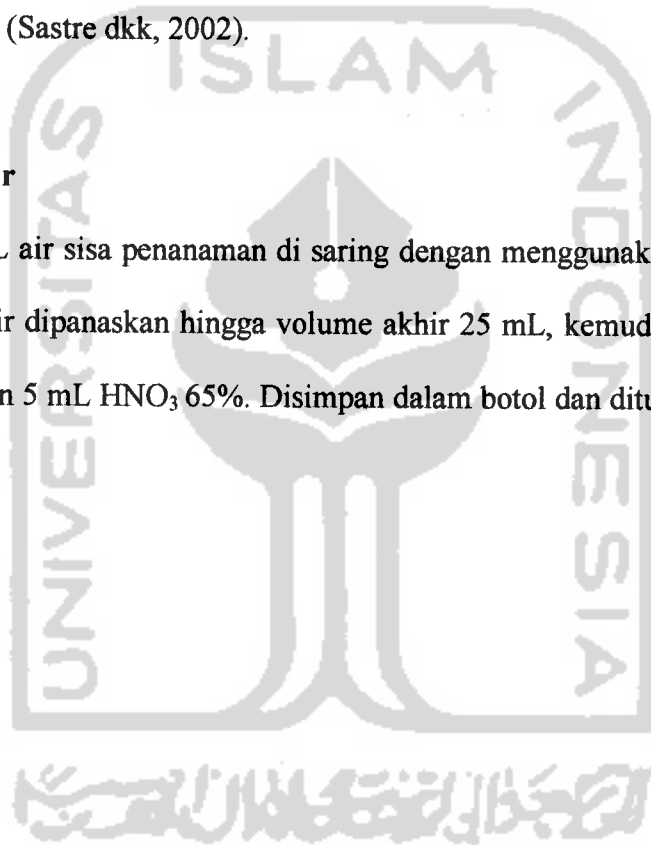
4.4.1 Sampel akar

Sepuluh gram sampel berat basah ditempatkan di dalam gelas beker 100 mL ditambahkan 25 mL HNO_3 65% kemudian ditutup dan kemudian didiamkan selama 48 jam. Setelah itu suspensi dipanaskan sambil diaduk dengan magnetik stirrer dengan kecepatan 100 rpm selama 1 jam. Lalu suspensi didinginkan.

Kemudian ditambahkan 25 mL aquades, dipanaskan dan diaduk kembali selama 5 menit. Kandungan suspensi disaring dengan kertas whatman 41. larutan yang telah jernih dimasukkan ke dalam gelas beker dan dipanaskan di atas kompor listrik hingga volume larutan tersisa 10 mL. larutan yang tersisa ditambahkan 50 mL aquades dan disimpan di dalam botol kaca dan ditutup rapat pada suhu 4°C untuk dianalisis (Sastre dkk, 2002).

4.4.2 Sampel air

1000 mL air sisa penanaman di saring dengan menggunakan kertas kertas whatman 41. Air dipanaskan hingga volume akhir 25 mL, kemudian didinginkan dan ditambahkan 5 mL HNO₃ 65%. Disimpan dalam botol dan ditutup rapat untuk dianalisis



BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Optimasi Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Alat spektrofotometer perlu dioptimasi terlebih dahulu untuk memperoleh hasil analisis yang baik. Dengan dilakukannya optimasi alat maka akan diperoleh populasi atom pada tingkat tenaga dasar yang paling banyak dalam nyala api yang dilewati oleh radiasi. Atom-atom tersebut akan menyerap tenaga radiasi yang khas untuk atom-atom tersebut dan kemudian berubah keadaan tereksitasi. Semakin banyak atom pada keadaan dasar maka radiasi yang diserap makin banyak pula. Pada kondisi yang optimum akan diperoleh serapan yang maksimum. Pada kondisi yang optimum perubahan serapan akibat perubahan konsentrasi akan lebih sensitif (Khozanah H., 2004).

Laju alir bahan bakar dan oksidan yang dibutuhkan tergantung pada ukuran pembakar (burner) dan komponen-komponen sampel. Asetilen dan udara berfungsi membawa sampel dalam bentuk larutan masuk kedalam sistem pengabutan yang akan mengubah sampel larutan menjadi aerosol halus (uap) yang siap masuk kedalam sistem nyala atau atomisasi.

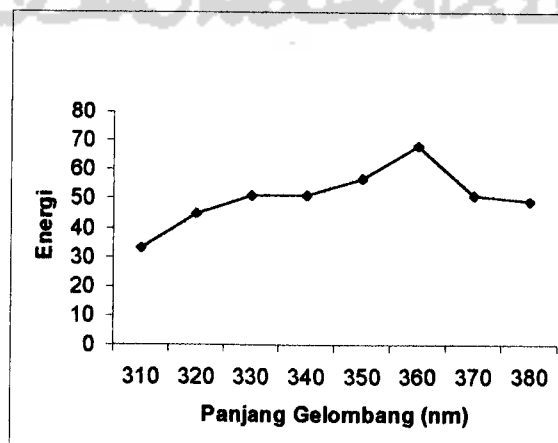
Beberapa variabel yang perlu dioptimalisasi pada alat Spektrofotometer Serapan Atom untuk memperoleh hasil analisis yang baik, antara lain:

1. Panjang gelombang (Resonansi)
2. Laju alir-asetilen sebagai bahan bakar
3. Laju alir udara sebagai oksidan

4. Tinggi pembakar
5. Lebar celah
6. Arus lampu katoda (HCL)

1. Pengukuran panjang gelombang (Resonansi)

Pada penentuan Cr dengan menggunakan alat spektrofotometer serapan atom, resonansi (panjang gelombang) yang dapat memberikan serapan maksimal harus ditentukan. Penentuan panjang gelombang dimulai dari angka bawah panjang, yaitu dimulai dari panjang gelombang 310 nm-380 nm. Panjang gelombang optimum pada saat absorbansi yang dihasilkan maksimum dipilih berdasarkan perbandingan perubahan puncak yang paling mencolok antara serapan blanko dengan larutan standar, untuk logam Cr dipergunakan larutan standar Cr 5 ppm. Dalam penelitian ini diperoleh panjang gelombang optimum untuk logam Cr = 357,9 nm, dimana energi maksimal yang dihasilkan sebesar 71. Hasil pemilihan panjang gelombang dapat dilihat pada lampiran 2. Grafik panjang gelombang versus energi di sajikan pada gambar 6



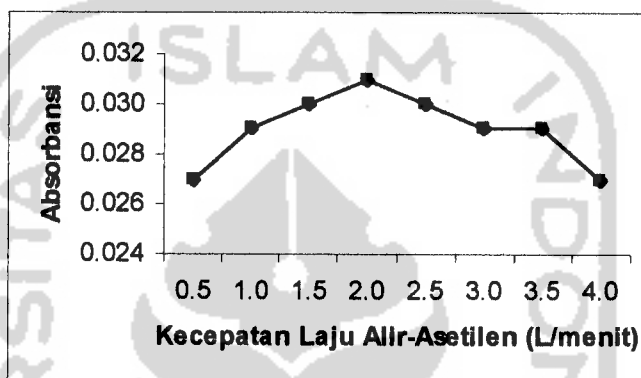
Gambar 6. Grafik Panjang Gelombang VS Energi

2 Kecepatan laju alir bahan bakar

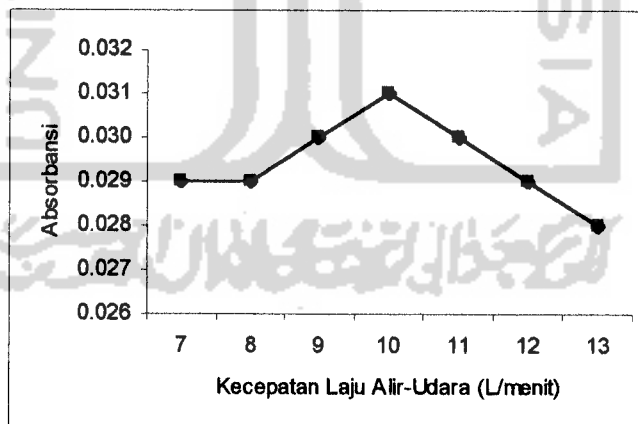
Penentuan bahan bakar untuk kromium digunakan asetilen dan udara (Khopkar, 1990). Adapun keuntungan atomisasi nyala asetilen-udara adalah dapat memberikan hasil yang maksimal, dapat digunakan untuk berbagai analisis berbagai unsur dan memiliki tingkat sensitivitas serta kecermatan yang tinggi (Narsito, 1992).

Kecepatan alir gas bakar asetilen yang digunakan dapat diatur, untuk asetilen kecepatan alir maksimal yang diperbolehkan 4 liter per menit. Unsur-unsur tertentu dapat diatomisasikan secara sempurna pada kecepatan alir yang berbeda-beda dan biasanya relatif pada kecepatan rendah. Tetapi ada juga unsur-unsur yang memerlukan kecepatan alir yang tinggi, hal ini disebabkan adanya perbedaan untuk pengatoman masing-masing unsur. Pada penelitian ini optimasi kecepatan alir bahan bakar digunakan larutan standar. Untuk optimasi digunakan larutan standar Cr dengan konsentrasi 5 ppm, kemudian dianalisis dengan menggunakan SSA pada kecepatan laju alir-asetilen 0,5-4,0 L/menit. Hasil penentuan kecepatan laju alir-asetilen optimum untuk Cr adalah 2,0 L/menit dengan absorbansi maksimum 0,031. dan kecepatan laju alir-udara dengan konsentrasi larutan standar yang sama yaitu 5 ppm, dianalisis dengan SSA pada kecepatan laju alir-udara 7,0-13,0 L/menit, diperoleh hasil optimum untuk Cr adalah 10,0 L/menit dengan absorbansi maksimum 0,031. 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 kedalam sistem nyala. Kecepatan ini akan mempengaruhi banyaknya

atom tingkat tenaga dasar pada tinggi pembakar tertentu. Hasil optimum hasil pemilihan kecepatan laju alir-asetilen dan kecepatan laju alir-udara dapat dilihat pada lampiran 2. Grafik kecepatan laju alir-asetilen versus absorbansi disajikan pada gambar 7 dan grafik kecepatan laju alir-udara versus absorbansi disajikan pada gambar 8.



Gambar 7. Grafik Kecepatan Laju Alir-Asetilen

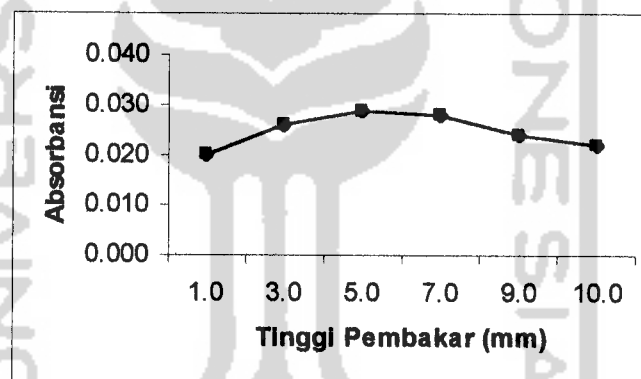


Gambar 8. Grafik Kecepatan Laju Alir-Udara

3 Tinggi pembakar

Suatu unsur dapat teratomkan pada kondisi tinggi pembakar yang berbeda-beda satu dengan lainnya. Untuk mencari tinggi pembakar optimal dipergunakan larutan standar dengan memvariasikan tinggi pembakar sehingga diperoleh

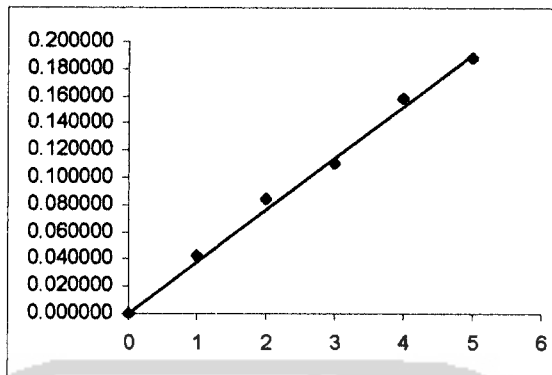
absorbansi yang maksimal. Pemilihan tinggi pembakar terus menentukan ketelitian pada suatu unsur dengan SSA, dan variasi tinggi pembakar dapat digambarkan menjadi suatu grafik yang selanjutnya dapat diketahui pada ketinggian tertentu suatu unsur dapat teratomkan secara sempurna (pada serapan maksimal). Pada penelitian ini digunakan larutan standar Cr dengan konsentrasi 5 ppm yang kemudian dianalisis dengan SSA pada variasi tinggi pembakar 1,0-10,0 mm, diperoleh hasil optimum untuk Cr adalah 5,0 mm. Hasil pemilihan tinggi pembakar dapat dilihat pada lampiran 2. kurva tinggi pembakar versus absorbansi disajikan pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik Tinggi Pembakar VS Absorbansi

5.2 Kurva Larutan Standar Cr⁶⁺

larutan standar Cr⁶⁺ dibuat dengan konsentrasi 0,000; 1,00; 2,00; 3,00; 4,00; dan 5,00 ppm yang kemudian dianalisis dengan spektrofotometer serapan atom dimulai dari 0,000 ppm (blanko) sampai konsentrasi 5,00 ppm, sehingga didapat absorbansi masing-masing larutan standar, yang kemudian dibuat kurva kalibrasi versus absorbansi seperti terlihat pada gambar 10.



Gambar 10. Kurva kalibrasi

Dari data diatas, didapatkan kurva kalibrasi standar linear sehingga dihasilkan persamaan linear $y = bx + a$, yaitu $y = 0.037522x + 0.003538$ dengan $r = 0,998$. Dimana y adalah absorbansi, b adalah slope, x adalah konsentrasi dan a adalah intersep.

5.3 Penanaman Eceng Gondok

Sebelum tanaman eceng gondok digunakan untuk penelitian, dilakukan aklimasi terlebih dahulu selama 7 hari tanpa mengalami pergantian air terhadap tanaman eceng gondok yang bertujuan untuk penyesuaian tanaman terhadap lingkungan baru dimana air yang digunakan yaitu air kran. Tanaman eceng gondok yang digunakan dipilih berdasarkan perkiraan umur yang sama, memiliki bobot tanaman yang sama berkisar 100-150 gram berat basah, jumlah ruas yang sama, panjang akar yang sama, densitas akar yang sama, dan tanaman tidak memiliki stolon. Diharapkan dengan bentuk morfologi yang sama tanaman memiliki kemampuan menyerap logam yang sama. Sebelum tanaman diaklimasi terlebih dahulu tanaman dibersihkan dari kotoran atau tanah yang melekat diakarnya.

Setelah tanaman eceng gondok mengalami aklimasi atau tahapan penyesuaian, tanaman dipindahkan kedalam 4 L medium air yang sebelumnya telah ditambahkan logam krom dengan konsentrasi 5 ppm. Selain logam krom ditambahkan pula larutan buffer fosfat yang bertujuan untuk menjaga agar air memiliki pH tetap yaitu 7, penentuan pH 7 dikarenakan menurut penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Lubis dan Sofyan (1986) menyimpulkan bahwa logam krom (Cr) dapat diserap oleh eceng gondok secara maksimal pada pH 7.

Dalam penelitian ini untuk melihat serapan akar terhadap logam Cr^{6+} digunakan konsentrasi media air sebesar 5 mg/L. Variabel yang dipelajari dalam hubungannya dengan kemampuan akar tanaman eceng gondok dalam menyerap logam Cr^{6+} adalah pola tanam dan waktu kontak. Pola tanam yang dilakukan adalah Isolasi, Harvesting dan Pergantian, sedangkan waktu panen divariasikan pada hari ke-7, 14 dan 21 hari. Untuk melihat banyaknya kadar logam Cr^{6+} yang terserap kedalam akar tanaman eceng gondok, dilakukan juga analisis terhadap media air. Dari hasil analisis, diperoleh persen kadar logam Cr^{6+} dalam setiap media tahapan. Untuk tahapan Isolasi, dapat diketahui kadar logam untuk setiap waktu kontak yaitu waktu kontak ke-7, 14 dan 21 hari. Namun untuk tahapan Harvesting dan Pergantian, hanya diperoleh persen kadar logam Cr^{6+} pada waktu kontak ke-21.

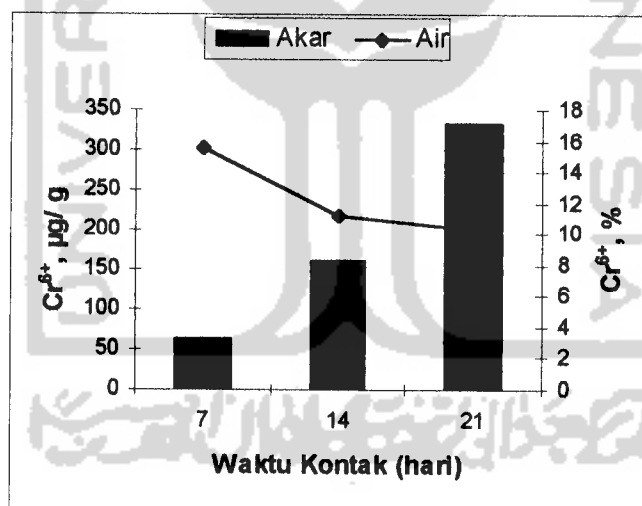
Dalam proses penanaman, tanaman eceng gondok ditaruh ditempat yang tidak terlalu terkena cahaya matahari yang berlebih. Hal ini bertujuan agar tanaman eceng gondok tidak mudah layu, karena tanaman eceng gondok

merupakan tanaman air sehingga ditakutkan jika terkena cahaya berlebih tanaman eceng gondok akan mati.

5.4 Pengaruh Variabel Pada Penyerapan Logam Cr^{6+}

5.4.1 Pola tanam isolasi

Konsentrasi logam Cr^{6+} diukur pada hari ke-7, 14, dan 21, hasil analisis menunjukkan bahwa perbedaan waktu kontak cukup berpengaruh terhadap hasil serapan logam Cr^{6+} . Dimana tanaman eceng gondok mengalami penyerapan secara optimum pada waktu kontak 21 hari, seperti yang ditunjukkan pada gambar 11 dibawah.



Gambar 11 Profil konsentrasi logam Cr^{6+} pada akar dan air pada pola tanam isolasi

Pada tahapan ini terlihat jelas bahwa pada hari ke-7 kadar logam Cr^{6+} dalam akar sebesar $61,44 \mu\text{g/g}$ berat kering, hal ini menunjukkan bahwa tanaman eceng gondok sudah mulai menyerap logam Cr^{6+} secara sempurna. Pada hari ke-14 mulai terlihat penurunan kadar logam Cr^{6+} dalam air yaitu $11,21\%$ sebanding dengan kenaikan kadar logam Cr^{6+} dalam akar sebesar $160,96 \mu\text{g/g}$ berat kering,

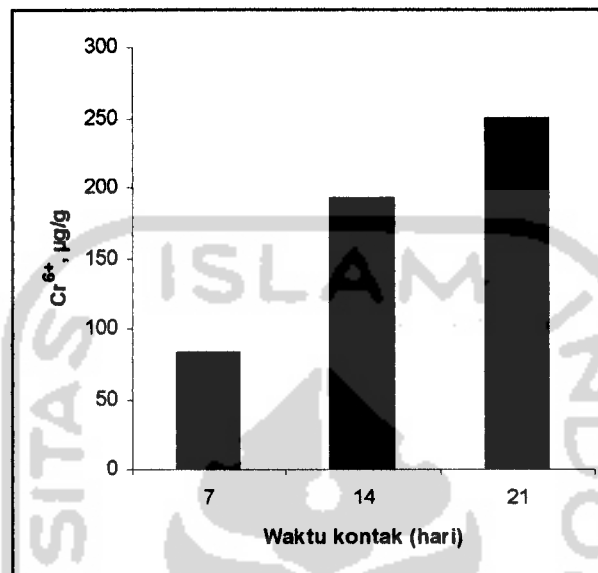
hal ini menunjukkan bahwa ada peningkatan kadar logam Cr^{6+} yang terserap oleh akar. Dan peningkatan kadar logam Cr^{6+} dalam akar yang paling optimum diperoleh pada hari ke-21 yaitu sebesar 332,48 $\mu\text{g/g}$ berat kering. Hal ini menunjukkan bahwa ada pengaruh antara waktu kontak terhadap penyerapan logam Cr^{6+} oleh tanaman eceng gondok, terlihat jelas dengan besarnya kadar logam Cr^{6+} dalam akar eceng gondok yang meningkat secara signifikan pada hari ke-7, 14 dan 21.

5.4.2 Pola tanam harvesting

Konsentrasi logam Cr^{6+} diukur pada hari ke-7, 14, dan 21, hasil analisis menunjukkan bahwa perbedaan waktu kontak cukup berpengaruh terhadap hasil serapan logam Cr^{6+} . Dimana tanaman eceng gondok mengalami penyerapan secara optimum pada waktu kontak 21 hari, seperti yang ditunjukkan pada gambar 12.

Pada pola tanam harvesting, kadar logam Cr^{6+} dari hari ke-7, 14, dan 21 semakin lama semakin meningkat. Hal ini dapat dilihat pada perolehan kadar logam Cr^{6+} dalam akar eceng gondok mulai dari hari ke-7 sampai dengan hari ke-21 yang semakin meningkat secara signifikan, seperti ditunjukkan pada gambar 12. Kadar logam Cr^{6+} sebesar 82,8 $\mu\text{g/g}$ berat kering untuk waktu kontak ke-7, 191,68 $\mu\text{g/g}$ berat kering untuk waktu kontak ke-14, dan 249,76 $\mu\text{g/g}$ berat kering untuk waktu kontak ke-21 disertai dengan rendahnya kadar logam Cr^{6+} dalam air yaitu sebesar 3,5%. Hal ini menunjukkan bahwa waktu kontak mempengaruhi efektifitas penyerapan logam Cr^{6+} oleh tanaman eceng gondok, dimana pada

waktu kontak ke-21 merupakan waktu yang optimum dimiliki oleh eceng gondok dalam menyerap logam Cr^{6+} .



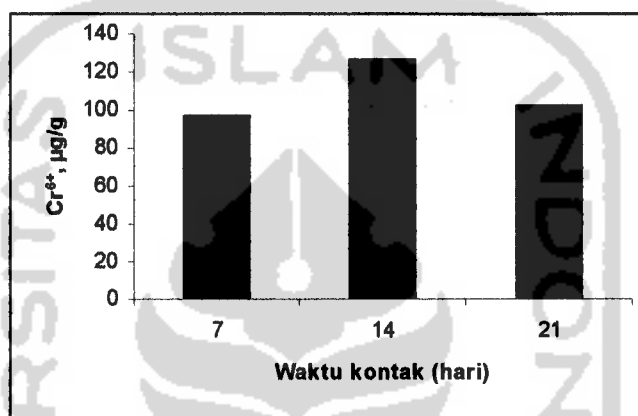
Gambar 12. Kadar logam Cr^{6+} dalam akar pada pola tanam harvesting

5.4.3 Pola tanam pergantian

Konsentrasi logam Cr^{6+} diukur pada hari ke-7, 14, dan 21, hasil analisis menunjukkan bahwa perbedaan waktu kontak cukup berpengaruh terhadap hasil serapan logam Cr^{6+} . Namun berbeda dari dua pola tanam sebelumnya, untuk pola tanam pergantian tanaman eceng gondok mengalami penyerapan secara optimum pada hari ke-14, seperti ditunjukkan pada gambar 13.

Besarnya kadar logam Cr^{6+} dalam akar eceng gondok meningkat secara signifikan pada hari ke-7 diperoleh kadar logam Cr^{6+} sebesar $96,96 \mu\text{g/g}$ berat kering, meningkat pada hari ke-14 yaitu sebesar $125,92 \mu\text{g/g}$ berat kering dan menurun pada waktu kontak ke-21 yaitu sebesar $101,6 \mu\text{g/g}$ berat kering sebanding dengan kadar logam Cr^{6+} dalam air sebesar $8,79\%$. Hal ini

menunjukkan bahwa waktu kontak mempengaruhi efektifitas penyerapan logam Cr^{6+} oleh tanaman eceng gondok, semakin lama waktu kontak maka semakin banyak logam yang terserap oleh akar dikarenakan akar sudah mulai beradaptasi dengan lingkungannya. Dimana pada waktu kontak optimum untuk pola tanam pergantian adalah pada hari ke-14.



Gambar 13 Kadar logam Cr^{6+} dalam akar pada pola tanam pergantian

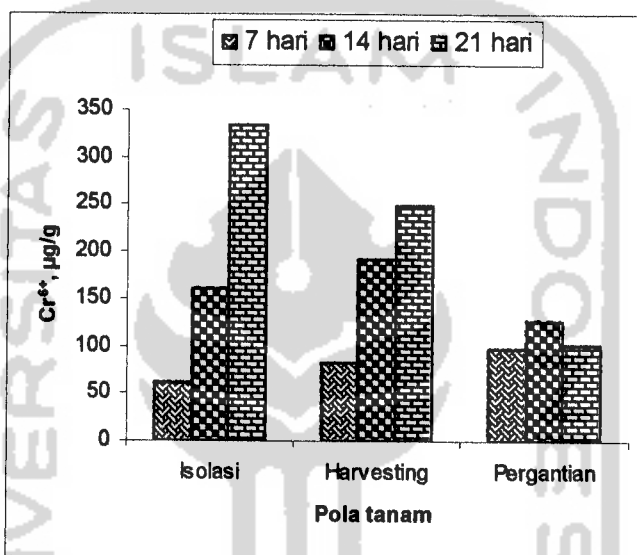
5.4.4 Pengaruh waktu kontak dan pola tanam

Jika ketiga grafik perolehan dijadikan satu, maka akan terlihat pola tanam mana dan pada hari beberapa tanaman eceng gondok memiliki kadar logam Cr^{6+} yang tinggi. Seperti ditunjukkan pada gambar 14.

Dapat dilihat bahwa perolehan hasil yang optimum diperoleh untuk pola tanam isolasi dan pada waktu kontak ke-21 dengan perolehan kadar yang terserap oleh akar sebesar $332,48 \mu\text{g/g}$ berat kering.

Berdasarkan analisis statistik (lampiran 8) terlihat bahwa F hitung yang diperoleh untuk waktu kontak sebesar 28853,128 dengan nilai probabilitas nol. Oleh karena nilai probabilitas < 0.05 , maka ketiga waktu kontak tersebut memang

berbeda nyata. Waktu kontak yang optimum yang diperlukan oleh tanaman eceng gondok adalah pada hari ke-21. Dan untuk pola tanam, diperoleh F hitung sebesar 9205,836 dengan nilai probabilitas nol. Oleh karena nilai probabilitas < 0.05 , maka ketiga pola tanam memiliki perbedaan yang signifikan terhadap daya serap tanaman eceng gondok.



Gambar 14 Perbandingan kadar logam Cr^{6+} tiap-tiap pola tanam dan waktu kontak

Dari data statistik yang dihasilkan dapat dilihat bahwa pada setiap pola tanam menghasilkan kadar serapan yang berbeda-beda, hal ini menunjukkan bahwa terdapat interaksi antara pola tanam dan waktu kontak. Dan kadar logam Cr^{6+} terbesar dimiliki oleh pola tanam isolasi pada waktu kontak ke-21 yaitu sebesar $332,48 \mu\text{g/g}$ berat kering, sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa pada hari ke-21 untuk pola panen isolasi tanaman mampu menyerap logam secara maksimal.

Berdasarkan hasil statistik untuk perbandingan dua pola tanam yaitu harvesting dan pergantian, maka pola tanam harvesting lebih unggul dengan hasil

serapan terbesar pada waktu kontak ke-21 sebesar 249,76 $\mu\text{g/g}$ berat kering. Meskipun pola tanam pergantian memiliki waktu kontak optimum 14 hari, namun hasil serapan yang diperoleh tetap minimum jika dibandingkan dengan pola tanam harvesting pada waktu kontak yang sama yaitu 125,94 $\mu\text{g/g}$ untuk pergantian dan 191,7 $\mu\text{g/g}$ untuk pola tanam harvesting. Sehingga jika digunakan untuk skala industri, maka pola tanam harvesting dapat menjadi sebuah rujukan dalam menghilangkan kontaminasi logam berat dalam air buangan atau limbah industri. Meskipun hasil yang diperoleh tidak sebesar pada pola tanam isolasi, namun pola tanam harvesting cukup efektif dalam menghilangkan logam berat dalam air dan lebih ekonomis dalam penyediaan media untuk menanam eceng gondok.

5.6 Fitotoksin Logam Krom

5.6.1 Pengaruh variabel pola tanam dan waktu kontak

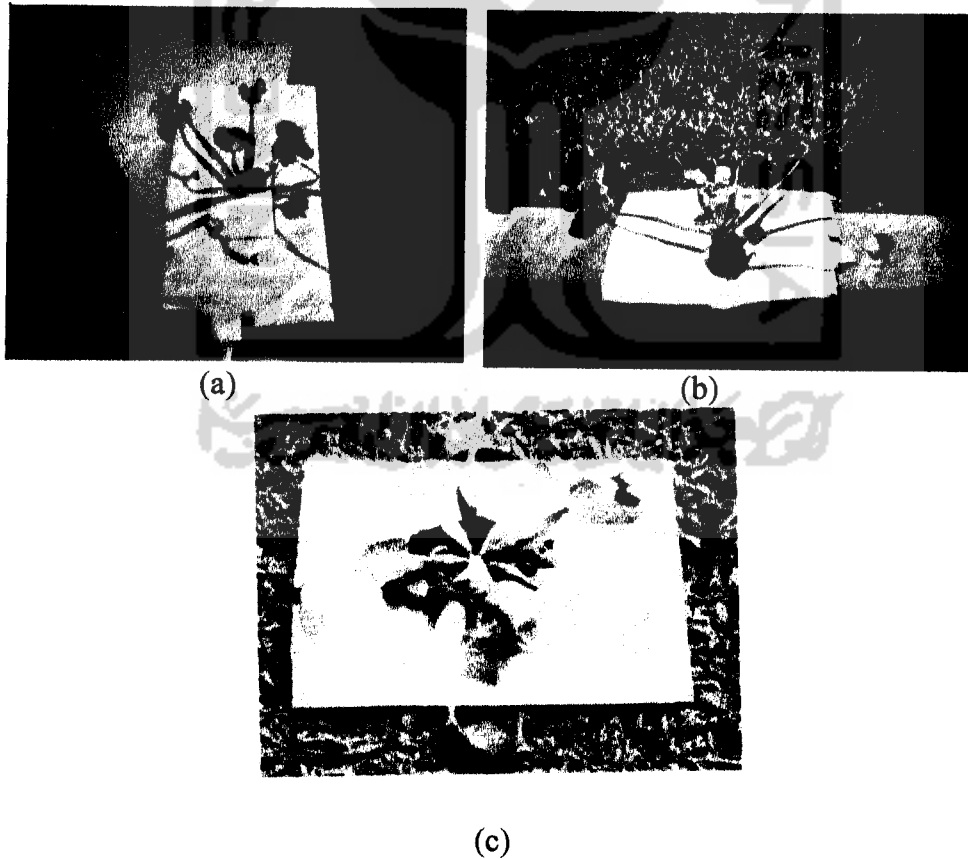
Fitotoksin logam Cr^{6+} untuk variabel pola tanam dan waktu kontak, digunakan konsentrasi logam Cr^{6+} sebesar 5 ppm dan $\text{pH}=7$. Pada setiap pola tanam, dilakukan 3 kali waktu kontak yaitu, 7, 14 dan 21 hari.

1. Pola tanam isolasi

Untuk waktu kontak 7 hari, tanaman belum nampak perubahan pada kondisi fisik yang berarti. Kondisi tanaman tumbuh subur, daun nampak segar namun ada yang dua lembar daun yang layu kemungkinan yang dapat terjadi logam sudah terakumulasi kebagian batang tumbuhan sehingga tanaman menjadi layu. Pada waktu kontak 7 hari ini, tanaman eceng gondok memiliki tambahan stolon dan tunas baru untuk masing-masing pot.

Untuk waktu kontak 14 hari, ada daun dan batang tanaman yang mengering sebagian hal ini memiliki dua kemungkinan yang dapat terjadi yaitu, logam sudah terakumulasi kebagian batang tumbuhan sehingga tanaman menjadi layu dan mengering. Tunas dan stolon sudah mulai tumbuh subur dan mulai tumbuh membesar, selain itu jumlah stolon dan tunas baru bertambah.

Untuk waktu kontak 21 hari, tanaman eceng gondok tumbuh subur dan ada penambahan satu lembar daun. Kondisi stolon sudah tumbuh membesar, jadi jumlah total stolon untuk waktu kontak 21 hari menjadi 3. Namun ada dua lembar daun mengering, kemungkinan logam telah terakumulasi ke dalam daun tanaman eceng gondok.



Gambar 15 a. Kondisi tanaman pada waktu kontak 7 hari
 Gambar 15 b. Kondisi tanaman pada waktu kontak 14 hari
 Gambar 15 c. Kondisi tanaman pada waktu kontak 21 hari

2. Pola tanam harvesting

Pada pola tanam Harvesting, 3 rumpun tanaman eceng gondok ditanam pada satu buah pot atau media. Untuk waktu kontak 7 hari, kondisi tanaman tumbuh subur baik daun maupun batangnya, dan setiap rumpun tanaman memiliki 1 buah stolon dan 1 buah tunas baru. Hal ini memungkinkan bahwa akumulasi logam didalam tubuh tanaman eceng gondok belum memberikan efek toksisitas yang begitu berarti.

Untuk waktu kontak 14 hari, terdapat daun yang sudah mulai sedikit menguning hal ini dapat memberikan 2 buah pendapat apakah daun menguning karena tanaman sudah terakumulasi logam Cr^{6+} atau daun menguning hanya dikarenakan terkena cahaya matahari yang berlebih. Kondisi bagian tanaman yang lain tumbuh subur, tunas dan stolon sudah mulai tumbuh membesar.

Untuk waktu kontak 21 hari, kondisi tanaman tidak terjadi suatu perubahan yang signifikan. Tanaman tumbuh subur dan stolon sudah tumbuh menjadi tanaman baru.



(a)

(b)



(c)

Gambar 16 a. Kondisi tanaman pada waktu kontak 7 hari
 Gambar 16 b. Kondisi tanaman pada waktu kontak 14 hari
 Gambar 16 c. Kondisi tanaman pada waktu kontak 21 hari

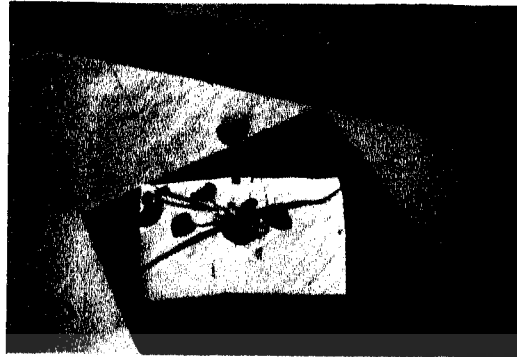
3. Pola tanam pergantian

Pada pola tanam pergantian untuk waktu kontak 7 hari, tanaman tumbuh subur tidak ada bagian tanaman yang mengering baik daun ataupun batang. Namun ada pertambahan 1 buah stolon. Untuk waktu kontak 14 hari, tidak terjadi perubahan yang signifikan pada tanaman eceng gondok hanya terdapat 1 buah stolon. Untuk waktu kontak 21 hari, ada beberapa daun yang mengering dan tanaman tumbuh stolon serta daun yang baru.



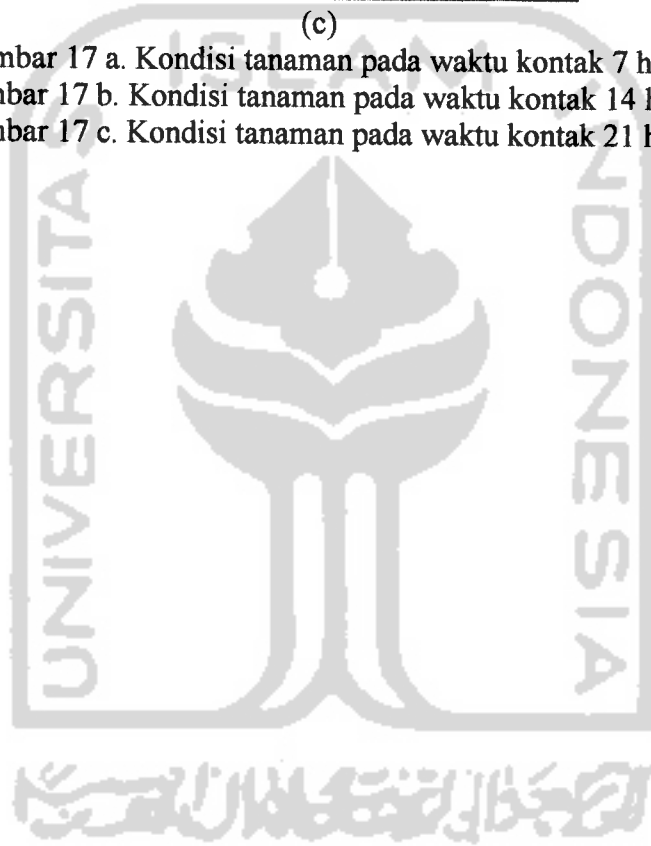
(a)

(b)



(c)

Gambar 17 a. Kondisi tanaman pada waktu kontak 7 hari
Gambar 17 b. Kondisi tanaman pada waktu kontak 14 hari
Gambar 17 c. Kondisi tanaman pada waktu kontak 21 hari



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut :

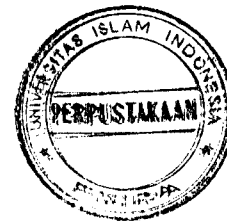
1. Perbedaan pola tanam berpengaruh terhadap besarnya kemampuan penyerapan logam Cr^{6+} oleh tanaman eceng gondok. Diantara ketiga pola tanam isolasi, harvesting, dan pergantian, pola tanam isolasi adalah yang mampu memberikan hasil penyerapan logam Cr^{6+} yang optimum. Hal ini menunjukkan bahwa pola tanam mempengaruhi penyerapan logam Cr^{6+} oleh akar eceng gondok sehingga berpengaruh terhadap efek toksisitas logam Cr^{6+} terhadap tanaman eceng gondok.
2. Waktu kontak 21 hari merupakan waktu optimum untuk penyerapan logam Cr^{6+} untuk pola panen isolasi dan harvesting, namun untuk pola panen pergantian memiliki waktu kontak optimum pada hari ke-14. Hal ini menunjukkan bahwa waktu kontak mempengaruhi penyerapan logam Cr^{6+} oleh akar eceng gondok sehingga berpengaruh terhadap efek toksisitas logam Cr^{6+} terhadap tanaman eceng gondok.
3. Pola tanam isolasi untuk waktu kontak 21 hari merupakan pola tanam dan waktu kontak yang optimum dengan hasil serapan terbesar yaitu 332,48 $\mu\text{g/g}$ berat basah.

6.2 Saran

1. Agar efek toksisitas dapat terlihat dengan jelas, perlu penambahan konsentrasi logam Cr^{6+} yang digunakan.
2. Perlu dianalisis batang dan daun untuk mengetahui apakah logam Cr^{6+} yang diserap mengalami translokasi pada bagian tanaman yang lainnya.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan media yang berbeda dan menggunakan alat instrumental yang lainnya.



BAB VII
DAFTAR PUSTAKA



- Anonim, 1999, Cool Word of the Day, The Learning Kingdom, Inc. URL:
http://www.cool_fact.com/archive/1999/08/24.html
- Anonim, 2003, *Hand Out Pelatihan Instrumental Kimia GC-MS, FT IR, AAS, HPLC dan X-RD*, Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta.
- Alboulroos, S.A., dkk, 2002, *Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Wastewater For Agricultural Purpose*, International Journal of Phytoremediation.
- Boonyapookana, B., dkk, 2002, *Phytoaccumulation and Phytotoxicity of Cadmium and Chromium in Duckweed Wolffia globosa*, International Journal of Phytoremediation, 4: 1.
- Chaney, R. L. M., dkk, 1997, *Phytoremediation of Soil Metal*, Publikasi di website (diakses 15 April 2000)
- Darmono, 1995, *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*, UI Press, Jakarta.
- Doubermine, R. F., 1974, *Plants and Environment*, Willey Eastern Limited, New York.
- Fitter, A. H., dan R, K, M, Hay., 1981, *Fisiologi Lingkungan Tanaman*, Gadjah Mada University Press, Jogjakarta.
- Foth, H. D., 1991, *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*, Gadjah Mada University Press, Jogjakarta.
- Glass, J., dkk, 2001, *Phytoremediation's Progress*, Environmental Science and Technology, Publikasi di website.
- Hasim, DEA., 2004, *Eceng Gondok Pembersih Polutan Logam Berat*, Publikasi di website.
http://www.kompas.com/kompas_cetak/0306/19/properti.
- Khopkar S.M., 1990, *Konsep Dasar Kimia Analitik*, Edisi ke-2, UI Press, Jogjakarta.

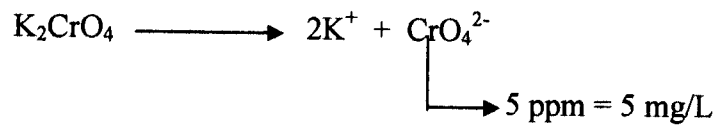
- Khozanah H., 2004, *Penentuan Kandungan Timbal (Pb) Dan Tembaga (Cu) Pada Sayuran Sawi (Brassica Juncea) Dengan Spektrofotometri Serapan Atom*, Skripsi Jurusan Kimia, FMIPA, UII, Jogjakarta.
- Kristanto, P., 2002, *Ekologi Industri*, Penerbit ANDI, Jogjakarta.
- Narsito, 1992, *Dasar-Dasar Spektrofotometri Serapan Atom*, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta.
- Palar, H., 1994, *Pencemaran dan Teknologi Logam Berat*, PT Rineka Cipta, Jakarta
- Priyanto, B., Prayitno, J., 2004, *Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran Khususnya Logam Berat*, Publikasi di website (diakses 18 Maret 2004)
- Sastre J., Sahuquillo A., Vidal M., Rauret G., 2002, *Determination of Cd, Cu, Pb and Zn in Environmental Samples: Microwave-Assisted Total Digestion Versus Aqua Regia and Nitric Acid Extraction*, *Analitica Chemica, Acta* 462 (2002) 59-72.
- Skoog, D. A., 1985, *Principles of Instrumental Analysis*, Third edition, Sounders Coulege Publishing, Philodelfia.
- Soerjani, S. W., 1975, *Eceng Gondok Sebagai Penyerap Pencemar*, SEAMEO, Biotrop, Bogor.
- Upatham, S.E. dkk, 2002, *Phytoaccumulation and Phytotoxicity of Cadmium and Chromium in Duckweed Wolffia globosa*, *International Journal of Phytoremediation*, 2:2.
- Van Steenis, C. G. G. J., 1980, *Flora Untuk Sekolah Di Indonesia*, Pradya Paramita, Jakarta.
Hal : 6,150,264
- Vogel, 1990, *Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro jilid 1*, PT Kalman Media Pustaka, Jakarta.
- Weaver, J. E., and F. E. Cleament, 1980, *Plant Ecology*, Tata Mc Graw-Hill Publishing Company LTD, New Delhi.
- Wardhana, W. A., 2001, *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Penerbit ANDI, Jogjakarta.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Pembuatan Larutan-larutan Kerja

1.1 Pembuatan larutan Cr⁶⁺ 5 ppm dari Garam K₂CrO₄



$$\text{mmol} = 5 / 115,972$$

$$= 0,0431 \text{ mmol}$$

$$\text{mmol K}_2\text{CrO}_4 = \text{mmol CrO}_4^{2-}$$

$$= 0,0431 \text{ mmol}$$

Sehingga banyaknya garam K₂CrO₄ yang dibutuhkan:

$$\text{Berat K}_2\text{CrO}_4 \text{ (gram)} = \text{mmol} \times \text{BM K}_2\text{CrO}_4$$

$$= 0,0431 \times 194,20$$

$$= 8,3506 \text{ mg}$$

$$= 0,0083506 \text{ gram / L air}$$

untuk media 4 Liter air, garam K₂CrO₄ yang dibutuhkan sebanyak: 0,0334024 gram

1.2 Pembuatan Anti Kontaminan HNO₃ 10%

Diketahui : 65% HNO₃

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 65 = 1000 \times 10$$

$$V_1 = 10000 / 65$$

$$V_1 = 153,85 \text{ mL}$$

HNO₃ 65% yang dibutuhkan untuk membuat larutan antikonaminan HNO₃ 10% sebanyak 154 mL (dibulatkan), diencerkan didalam labu ukur 1000 mL sampai tanda batas.

1.3 Pembuatan Larutan Buffer Phospat

Buffer yang digunakan dalam penelitian ini merupakan campuran KH₂PO₄ dan NaOH, dengan komposisi 100 mL KH₂PO₄ 0,1 M ditambahkan dengan X mL NaOH 0,1 M (untuk 1 L media).

1. Pembuatan 100 mL 0,1M KH₂PO₄

$$\begin{aligned} 0,1M &= 0,1 \text{ mol / L} = 0,1 \text{ g / Mr / L} \\ &= 0,1 \text{ g / 136 / L} \\ &= 1,36 \text{ g / 100 mL} \end{aligned}$$

2. Pembuatan 200 mL NaOH 1M dari garamnya

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

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

$$= 1 \times 0,2$$

$$= 0,2 \text{ mol}$$

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

$$\text{gr} = \text{mol} \times \text{Mr}$$

$$= 0,2 \times 40$$

$$= 8 \text{ gram}$$

Jadi, untuk membuat 200 mL larutan NaOH 1M dibutuhkan garam NaOH sebanyak 8 gram dilarutkan dengan aquades hingga volume 200 mL.

3. Pembuatan larutan NaOH 0,1M dari larutan NaOH 1M

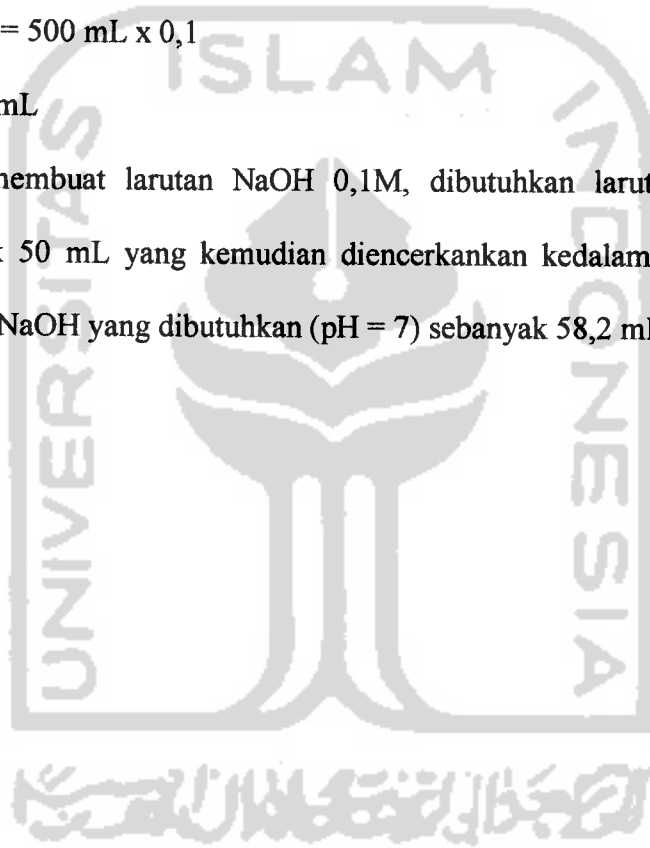
$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 1 = 500 \text{ mL} \times 0,1$$

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

Untuk membuat larutan NaOH 0,1M, dibutuhkan larutan NaOH 1M sebanyak 50 mL yang kemudian diencerkan kedalam labu 500 mL.

Volume NaOH yang dibutuhkan (pH = 7) sebanyak 58,2 mL.



Lampiran 2. Optimasi Spektrofotometri Serapan Atom

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

Tabel 1 Pemilihan Panjang Gelombang Emisi Lampu

Konsentrasi (ppm)	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

Tabel 2 Pemilihan Kecepatan Laju Alir-Asetilen (L/menit)

Konsentrasi (ppm)	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

Tabel 3 Pemilihan Kecepatan Laju Alir-Udara (L/menit)

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi Tinggi Pembakar (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

Tabel 4 Pemilihan Tinggi Pembakar

Parameter	Unsur Logam	Satuan
	Kromium	
Resonansi (panjang gelombang)	357,9	nm
Laju alir-asetilen	2	Liter/menit
Laju ali-udara	10	Liter/menit
Tinggi pembakar	5	nm
Lebar celah	0,7	nm
Jenis gas pembakar	Udara-asetilen	Liter/menit
Arus lampu katode (HCL)	10	mA

Tabel 5 Hasil Optimasi Alat Spektrofotometri Serapan Atom



Lampiran 3. Hasil pengukuran Cr⁶⁺ pada akar

Method Name : Cr Flame Element : Cr
 Method Description : Analisa Cr

Date : 03/23/2005 Calibration Equation : Zero Intercept : linear
 Technique : Flame Slit width : 0.70 nm
 Wavelength : 357.9 nm Energy : 71
 Lamp Current : 10

No	Kode Sampel	Hasil Pengukuran Absorbansi			Absorbans Rata-rata	Faktor Pengencer	Berat Sampel (gram)
		I	II	III			
1	Std1	0.0425	0.0426	0.0432	0.0428	-	-
2	Std2	0.0855	0.0835	0.0841	0.0844	-	-
3	Std3	0.1098	0.1110	0.1110	0.1106	-	-
4	Std4	0.1572	0.1593	0.1574	0.1579	-	-
5	Std5	0.1893	0.1869	0.1887	0.1883	-	-
6	Isolasi 7 hari	0.0420	0.0420	0.0418	0.0419	10	10
7	Isolasi 14 hari	0.1036	0.1042	0.1044	0.1041	10	10
8	Isolasi 21 hari	0.1077	0.1062	0.1083	0.1074	20	10
9	Harvesting 7	0.0547	0.0551	0.0560	0.0553	10	10
10	Harvesting 14	0.1233	0.1238	0.1228	0.1233	10	10
11	Harvesting 21	0.1598	0.1589	0.1602	0.1596	10	10
12	Pergantian 7	0.0640	0.0642	0.0640	0.0641	10	10
13	Pergantian 14	0.0823	0.0818	0.0824	0.0822	10	10
14	Pergantian 21	0.0669	0.0666	0.0676	0.0670	10	10
15	Kontrol	0.0042	0.0043	0.0042	0.0043	1	10

Lampiran 4. Hasil pengukuran Cr⁶⁺ pada air

Method Name : Cr Flame Element : Cr
Method Description : Analisa Cr

Date : 06/17/2005 Calibration Equation : Zero Intercept : linear
Technique : Flame Slit Width : 0.70 nm
Wavelength : 357.9 nm Energy : 70

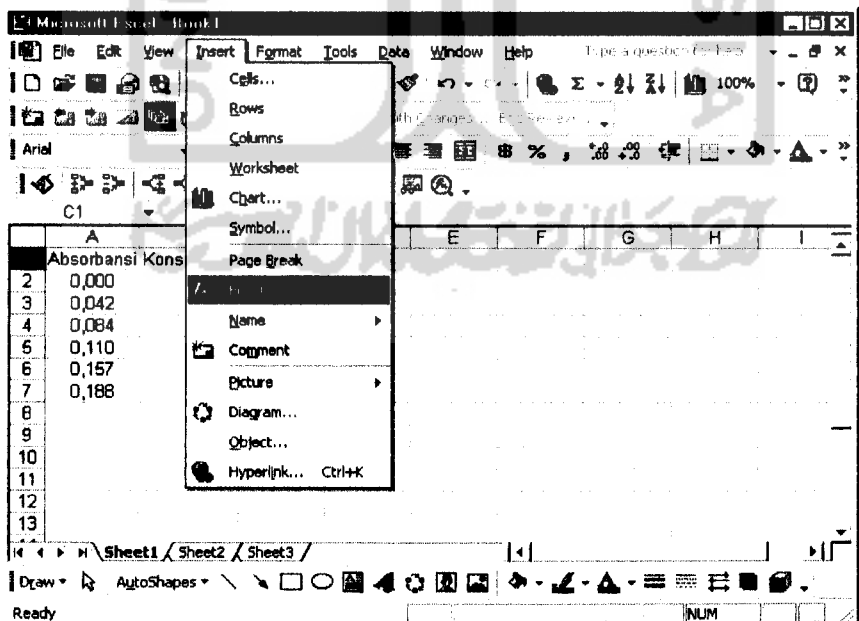
No	Kode Sampel	Hasil Pengukuran Absorbansi			Absorbans Rata-rata	Faktor Pengenceran
		I	II	III		
1	Std1	0.0246	0.0303	0.0308	0.0286	-
2	Std2	0.0620	0.0614	0.0618	0.0617	-
3	Std3	0.0898	0.0898	0.0897	0.0898	-
4	Std4	0.1196	0.1218	0.1238	0.1218	-
5	Std5	0.1605	0.1642	0.1667	0.1638	-
6	Isolasi 7 hari	0.1616	0.1586	0.1595	0.1599	20
7	Isolasi 14 hari	0.1152	0.1143	0.1142	0.1145	20
8	Isolasi 21 hari	0.1047	0.1046	0.1045	0.1046	20
9	Harvesting	0.0734	0.0705	0.0680	0.0706	-
10	Pergantian	0.0882	0.0897	0.0908	0.0895	20

Lampiran 5 Langkah-langkah penentuan slope, intersep dan koefisien korelasi dengan menggunakan program Microsoft Excel

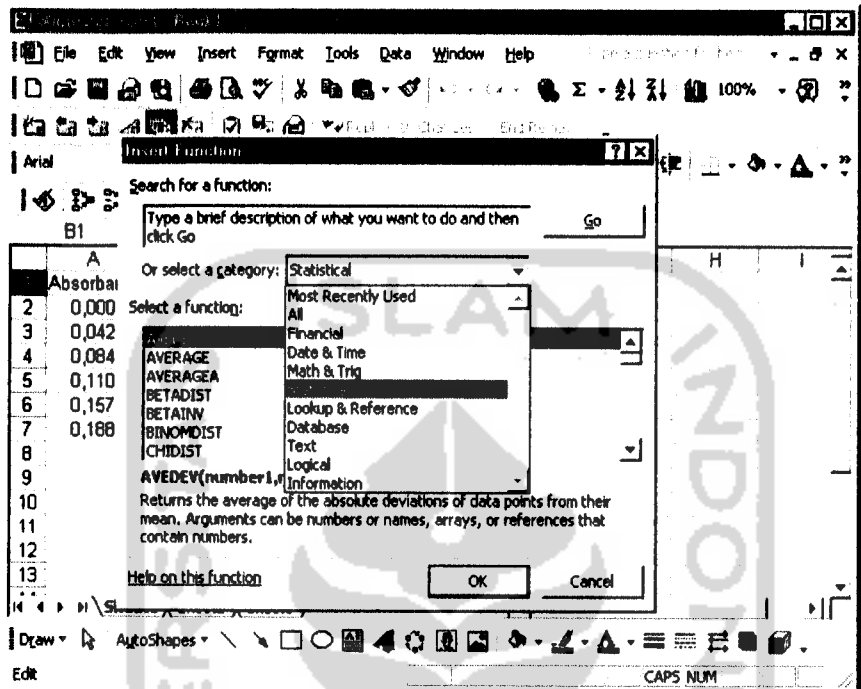
1. Klik *start*, lalu pilih menu program Microsoft Excel



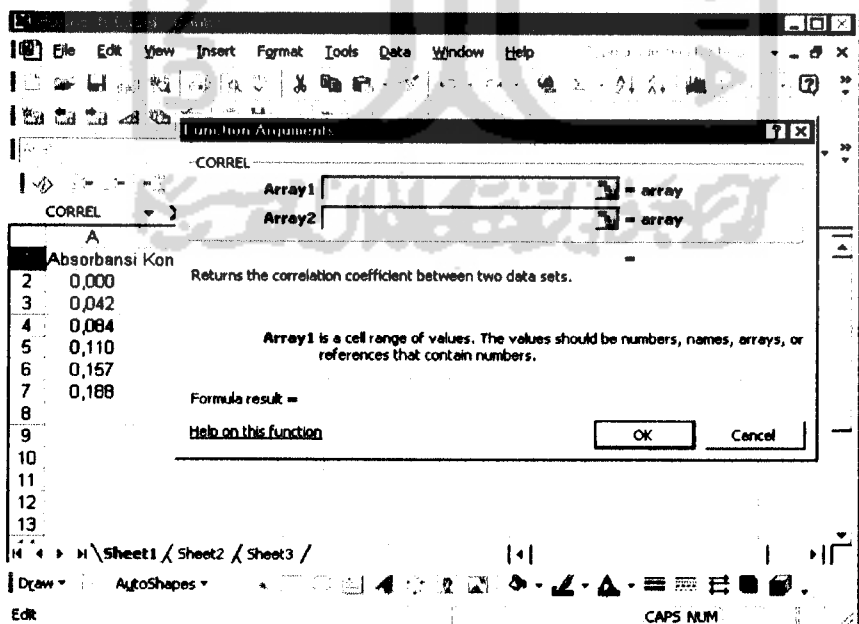
2. Klik *insert*, pilih menu *function*



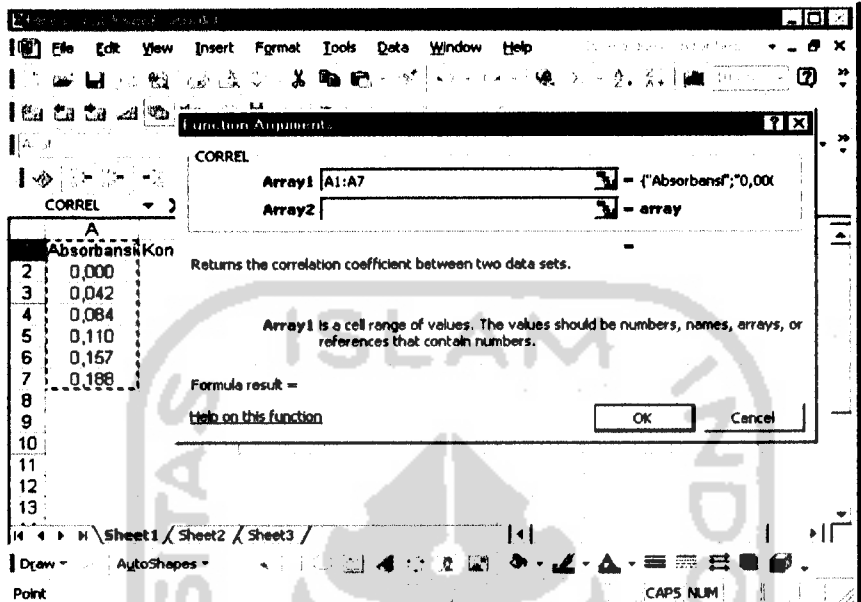
3. Pilih kategori *statistical* dan klik *carrel* pada kolom dibawah untuk menentukan korelasi, lalu klik **OK**



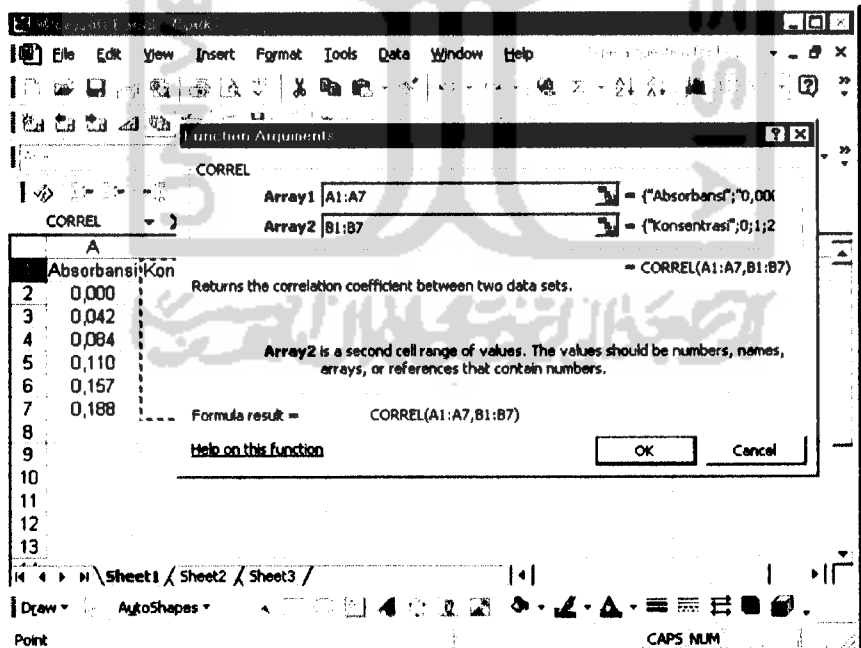
4. Setelah layar di bawah muncul, isi data absorbansi dan konsentrasi pada kolom *array 1* dan *array 2*.



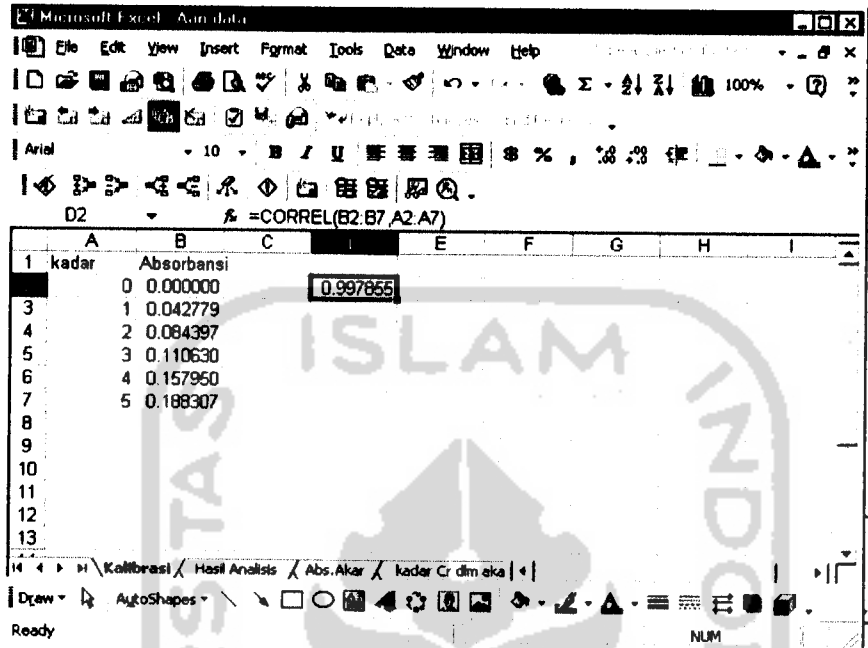
5. Isi data absorbansi pada kolom *array 1*



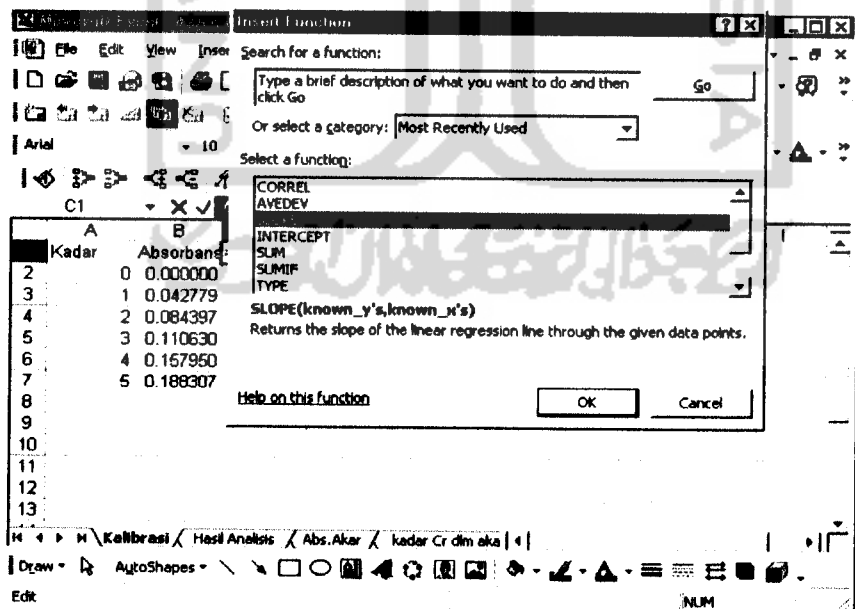
6. Isi data konsentrasi pada kolom *array 2*, kemudian klik OK



7. Nilai korelasi yang dihasilkan akan nampak pada layar



8. Untuk menentukan nilai slope dan intersep, langkah yang digunakan sama, tetapi pada kategori *statistical* pilih *slope* untuk penentuan slope dan *intercept* untuk penentuan intersep



- Isolasi 7 hari

$$Y = bX + a$$

$$0.0419 = 0.037522X + 0.003538$$

$$0.037522X = 0.0419 - 0.003538$$

$$0.037522X = 0.0384$$

$$X = \frac{0.0384}{0.037522}$$

$$X = 1.024 \mu\text{g/ mL}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cr dalam akar} &= \frac{1.024 \mu\text{g} / \text{L} \times 60 \text{mL} \times 10}{10\text{g}} \\ &= 61.44 \mu\text{g/ g berat kering} \end{aligned}$$

- Isolasi 14 hari

$$Y = bX + a$$

$$0.1041 = 0.037522X + 0.003538$$

$$0.037522X = 0.1041 - 0.003538$$

$$0.037522X = 0.1006$$

$$X = \frac{0.1006}{0.037522}$$

$$X = 2.6827 \mu\text{g/ mL}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cr dalam akar} &= \frac{2.6827 \mu\text{g} / \text{mL} \times 60 \text{mL} \times 10}{10\text{g}} \\ &= 160.96 \mu\text{g/ g berat kering} \end{aligned}$$

- Isolasi 21 hari

$$Y = bX + a$$

$$0.1074 = 0.037522X + 0.003538$$

$$0.037522X = 0.1074 - 0.003538$$

$$0.037522X = 0.1039$$

$$X = \frac{0.1039}{0.037522}$$

$$X = 2.771 \mu\text{g/ mL}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cr dalam akar} &= \frac{2.771 \mu\text{g} / \text{mL} \times 60 \text{mL} \times 20}{10\text{g}} \\ &= 332.48 \mu\text{g/ g berat kering} \end{aligned}$$

2. Tahapan Harvesting

Variabel (Hari)	Hasil Pengukuran (Abs)			Konsentrasi rata-rata
	I	II	III	
7	0.0547	0.0551	0.0560	0.0553
14	0.1233	0.1238	0.1228	0.1233
21	0.1598	0.1598	0.1602	0.1596

- Harvesting 7 hari

$$Y = bX + a$$

$$0.0553 = 0.037522X + 0.003538$$

$$0.037522X = 0.0553 - 0.003538$$

$$0.037522X = 0.0518$$

$$X = \frac{0.0518}{0.037522}$$

$$X = 1.3813 \mu\text{g/ mL}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cr dalam akar} &= \frac{1.3813 \mu\text{g/ mL} \times 60 \text{ mL} \times 10}{10 \text{ g}} \\ &= 82.8 \mu\text{g/ g berat kering} \end{aligned}$$

- Harvesting 14 hari

$$Y = bX + a$$

$$0.1233 = 0.037522X + 0.003538$$

$$0.037522X = 0.1233 - 0.003538$$

$$0.037522X = 0.1198$$

$$X = \frac{0.1198}{0.037522}$$

$$X = 3.1947 \mu\text{g/ mL}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cr dalam akar} &= \frac{3.1947 \mu\text{g/ mL} \times 60 \text{ mL} \times 10}{10 \text{ g}} \\ &= 191.68 \mu\text{g/ g berat kering} \end{aligned}$$

- Harvesting 21 hari

$$Y = bX + a$$

$$0.1596 = 0.037522X + 0.003538$$

$$0.037522X = 0.1596 - 0.003538$$

$$0.037522X = 0.1561$$

$$X = \frac{0.1561}{0.037522}$$

$$X = 4.1627 \mu\text{g/ mL}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cr dalam akar} &= \frac{4.1627 \mu\text{g} / \text{mL} \times 60 \text{mL} \times 10}{10 \text{g}} \\ &= 249.76 \mu\text{g} / \text{g berat kering} \end{aligned}$$

3. Pola tanam Pergantian

Variabel (Hari)	Hasil Pengukuran (Abs)			Konsentrasi rata-rata
	I	II	III	
7	0.0640	0.0642	0.0640	0.0641
14	0.0823	0.0818	0.0824	0.0822
21	0.0669	0.0666	0.0676	0.0670

- Pergantian 7 hari

$$Y = bX + a$$

$$0.0641 = 0.037522X + 0.003538$$

$$0.037522X = 0.0641 - 0.003538$$

$$0.037522X = 0.0606$$

$$X = \frac{0.0606}{0.037522}$$

$$X = 1.616 \mu\text{g} / \text{mL}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cr dalam akar} &= \frac{1.616 \mu\text{g} / \text{mL} \times 60 \text{mL} \times 10}{10 \text{g}} \\ &= 96.96 \mu\text{g} / \text{g berat kering} \end{aligned}$$

- Pergantian 14 hari

$$Y = bX + a$$

$$0.0822 = 0.037522X + 0.003538$$

$$0.037522X = 0.0822 - 0.003538$$

$$0.037522X = 0.0787$$

$$X = \frac{0.0787}{0.037522}$$

$$X = 2.0987 \mu\text{g} / \text{mL}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cr dalam akar} &= \frac{2.0987 \mu\text{g} / \text{mL} \times 60 \text{mL} \times 10}{10 \text{g}} \\ &= 125.92 \mu\text{g} / \text{g berat kering} \end{aligned}$$

- Pergantian 21 hari
 $Y = bX + a$
 $0.0670 = 0.037522X + 0.003538$
 $0.037522X = 0.0670 - 0.003538$
 $0.037522X = 0.0635$
 $X = \frac{0.0635}{0.037522}$
 $X = 1.6933 \mu\text{g/ mL}$

$$\text{Kadar logam Cr dalam akar} = \frac{1.6933 \mu\text{g/ mL} \times 60 \text{ mL} \times 10}{10 \text{ g}}$$

$$= 101.6 \mu\text{g/ g berat kering}$$

4. Tanaman Kontrol

Variabel (Hari)	Hasil Pengukuran			Konsentrasi Rata-rata
	Absorbansi			
	I	II	III	
21	0.0042	0.0043	0.0042	0.0043

$$Y = bX + a$$

$$0.0043 = 0.037522X + 0.003538$$

$$0.037522X = 0.0043 - 0.003538$$

$$0.037522X = 0.0008$$

$$X = \frac{0.0008}{0.037522}$$

$$X = 0.0213 \mu\text{g/ mL}$$

$$\text{Kadar logam Cr dalam akar} = \frac{0.0213 \mu\text{g/ mL} \times 60 \text{ mL}}{10 \text{ g}}$$

$$= 0.1278 \mu\text{g/ g berat kering}$$

Lampiran 7. Perhitungan kadar logam Cr dalam media air untuk variabel pola tanam

Kurva kalibrasi

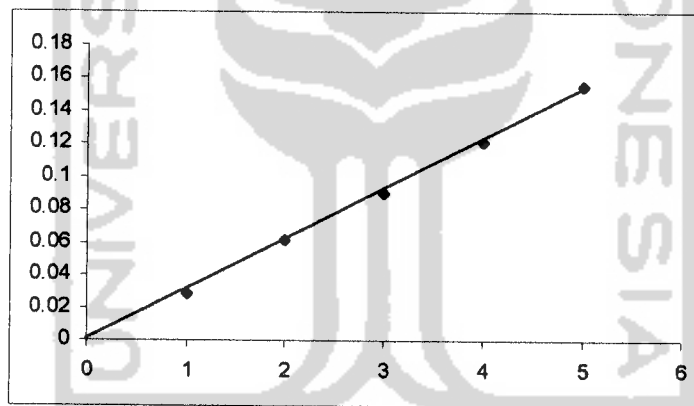
Standar	Absorbansi
0	0.000000
1	0.028563
2	0.061726
3	0.089767
4	0.121761
5	0.155651

Dengan menggunakan program regresi linear Microsoft Excel, diperoleh :

Korel = $r = 0.9996$

Slop = $b = 0.031$

Intersep = $a = - 0.0013$



Sehingga diperoleh persamaan kurva standart sebagai berikut :

$$Y = bX + a$$

$$Y = 0.031X - 0.0013 \dots\dots\dots(2)$$

1. Pola tanam Isolasi

Variabel (Hari)	Hasil Pengukuran (Abs)			Konsentrasi rata-rata
	I	II	III	
7	0.1616	0.1586	0.1595	0.1599
14	0.1152	0.1143	0.1142	0.1145
21	0.1047	0.1046	0.1045	0.1046

- Isolasi 7 hari

$$Y = bX + a$$

$$0.1599 = 0.031X - 0.0013$$

$$0.031X = 0.1599 + 0.0013$$

$$0.031X = 0.1612$$

$$X = \frac{0.1612}{0.031}$$

$$X = 5.2 \mu\text{g/ mL}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cr dalam media air} &= 5.2 \mu\text{g/ mL} \times 30 \text{ mL} \times 20 \\ &= 3120 \mu\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ logam Cr tersisa dalam air} &= \frac{3120 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100\% \\ &= 15,6 \% \end{aligned}$$

- Isolasi 14 hari

$$Y = bX + a$$

$$0.1145 = 0.031X - 0.0013$$

$$0.031X = 0.1145 + 0.0013$$

$$0.031X = 0.1158$$

$$X = \frac{0.1158}{0.031}$$

$$X = 3.7355 \mu\text{g/ mL}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cr dalam media air} &= 3.7355 \mu\text{g/ mL} \times 30 \text{ mL} \times 20 \\ &= 2241.3 \mu\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ logam Cr tersisa dalam air} &= \frac{2241.3 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100\% \\ &= 11.2065 \% \end{aligned}$$

- Isolasi 21 hari

$$Y = bX + a$$

$$0.1046 = 0.031X - 0.0013$$

$$0.031X = 0.1046 + 0.0013$$

$$0.031X = 0.1059$$

$$X = \frac{0.1059}{0.031}$$

$$X = 3.4161 \mu\text{g/ mL}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cr dalam media air} &= 3.4161 \mu\text{g/ mL} \times 30 \text{ mL} \times 20 \\ &= 2049.677 \mu\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ logam Cr tersisa dalam air} &= \frac{2049.677 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100\% \\ &= 10.25 \% \end{aligned}$$

2. Pola tanam Harvesting

$$Y = bX + a$$

$$0.070617 = 0.031X - 0.0013$$

$$0.031X = 0.070617 + 0.0013$$

$$0.031X = 0.071917$$

$$X = \frac{0.071917}{0.031}$$

$$X = 2.3199 \mu\text{g/ mL}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cr dalam media air} &= 2.3199 \mu\text{g/ mL} \times 30 \text{ mL} \times 10 \\ &= 695.97 \mu\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ logam Cr tersisa dalam air} &= \frac{695.97 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100\% \\ &= 3.48 \% \end{aligned}$$

3. Pola tanam Pergantian

$$Y = bX + a$$

$$0.0895 = 0.031X - 0.0013$$

$$0.031X = 0.0895 + 0.0013$$

$$0.031X = 0.0908$$

$$X = \frac{0.0908}{0.031}$$

$$X = 2.93 \mu\text{g/ mL}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cr dalam media air} &= 2.93 \mu\text{g/ mL} \times 30 \text{ mL} \times 20 \\ &= 1757.92 \mu\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ logam Cr tersisa dalam air} &= \frac{1757.92 \mu\text{g}}{20000 \mu\text{g}} \times 100\% \\ &= 8.79 \% \end{aligned}$$

Lampiran 8. Analisis statistik anava dua arah

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
POLA	1.00	Isolasi	9
	2.00	Harvesting	9
	3.00	Pergantian	9
WAKTU	1.00	7 hari	9
	2.00	14 hari	9
	3.00	21 hari	9

Levene's Test of Equality of Error Variances

Dependent Variable: KADAR

F	df1	df2	Sig.
5.258	8	18	.002

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

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

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: KADAR

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	188919.019 ^a	8	23614.877	13852.234	.000
Intercept	657171.844	1	657171.844	385489.9	.000
POLA	31387.673	2	15693.836	9205.836	.000
WAKTU	98375.915	2	49187.958	28853.128	.000
POLA * WAKTU	59155.431	4	14788.858	8674.985	.000
Error	30.686	18	1.705		
Total	846121.549	27			
Corrected Total	188949.705	26			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

Estimated Marginal Means

1. Grand Mean

Dependent Variable: KADAR

Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
		Lower Bound	Upper Bound
156.012	.251	155.484	156.540

2. Pola

Pairwise Comparisons

Dependent Variable: KADAR

(I) POLA	(J) POLA	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^a	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
Isolasi	Harvesting	10.027*	.615	.000	8.734	11.320
	Pergantian	76.818*	.615	.000	75.525	78.111
Harvesting	Isolasi	-10.027*	.615	.000	-11.320	-8.734
	Pergantian	66.791*	.615	.000	65.498	68.084
Pergantian	Isolasi	-76.818*	.615	.000	-78.111	-75.525
	Harvesting	-66.791*	.615	.000	-68.084	-65.498

Based on estimated marginal means

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

a. Adjustment for multiple comparisons: Least Significant Difference (equivalent to no adjustments).

Univariate Tests

Dependent Variable: KADAR

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Contrast	31387.673	2	15693.836	9205.836	.000
Error	30.686	18	1.705		

The F tests the effect of POLA. This test is based on the linearly independent pairwise comparisons among the estimated marginal means.

3. Waktu

Estimates

Dependent Variable: KADAR

WAKTU	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
7 hari	80.409	.435	79.495	81.323
14 hari	159.484	.435	158.570	160.399
21 hari	228.142	.435	227.228	229.057

Pairwise Comparisons

Dependent Variable: KADAR

(I) WAKTU	(J) WAKTU	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^a	95% Confidence Interval for Difference ^a	
					Lower Bound	Upper Bound
7 hari	14 hari	-79.076*	.615	.000	-80.369	-77.782
	21 hari	-147.733*	.615	.000	-149.026	-146.440
14 hari	7 hari	79.076*	.615	.000	77.782	80.369
	21 hari	-68.658*	.615	.000	-69.951	-67.365
21 hari	7 hari	147.733*	.615	.000	146.440	149.026
	14 hari	68.658*	.615	.000	67.365	69.951

Based on estimated marginal means

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

a. Adjustment for multiple comparisons: Least Significant Difference (equivalent to no adjustments).

Univariate Tests

Dependent Variable: KADAR

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Contrast	98375.915	2	49187.958	28853.128	.000
Error	30.686	18	1.705		

The F tests the effect of WAKTU. This test is based on the linearly independent pairwise comparisons among the estimated marginal means.

4. POLA * WAKTU

Dependent Variable: KADAR

POLA	WAKTU	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
Isolasi	7 hari	61.493	.754	59.910	63.077
	14 hari	160.907	.754	159.323	162.490
	21 hari	332.480	.754	330.896	334.064
Harvesting	7 hari	82.827	.754	81.243	84.410
	14 hari	191.680	.754	190.096	193.264
	21 hari	250.293	.754	248.710	251.877
Pergantian	7 hari	96.907	.754	95.323	98.490
	14 hari	125.867	.754	124.283	127.450
	21 hari	101.653	.754	100.070	103.237

Post Hoc Tests

1. Pola

Multiple Comparisons

Dependent Variable: KADAR

Tukey HSD

(I) POLA	(J) POLA	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Isolasi	Harvesting	10.0267*	.61550	.000	8.4558	11.5975
	Pergantian	76.8178*	.61550	.000	75.2469	78.3886
Harvesting	Isolasi	-10.0267*	.61550	.000	-11.5975	-8.4558
	Pergantian	66.7911*	.61550	.000	65.2203	68.3620
Pergantian	Isolasi	-76.8178*	.61550	.000	-78.3886	-75.2469
	Harvesting	-66.7911*	.61550	.000	-68.3620	-65.2203

Based on observed means.

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

Homogeneous Subsets

KADAR

Tukey HSD^{a,b}

POLA	N	Subset		
		1	2	3
Pergantian	9	108.1422		
Harvesting	9		174.9333	
Isolasi	9			184.9600
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) = 1.705.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b. Alpha = .05.

2. Waktu

Multiple Comparisons

Dependent Variable: KADAR

Tukey HSD

(I) WAKTU	(J) WAKTU	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
7 hari	14 hari	-79.0756*	.61550	.000	-80.6464	-77.5047
	21 hari	-147.7333*	.61550	.000	-149.3042	-146.1625
14 hari	7 hari	79.0756*	.61550	.000	77.5047	80.6464
	21 hari	-68.6578*	.61550	.000	-70.2286	-67.0869
21 hari	7 hari	147.7333*	.61550	.000	146.1625	149.3042
	14 hari	68.6578*	.61550	.000	67.0869	70.2286

Based on observed means.

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

Homogeneous Subsets

KADAR

Tukey HSD^{a,b}

WAKTU	N	Subset		
		1	2	3
7 hari	9	80.4089		
14 hari	9		159.4844	
21 hari	9			228.1422
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) = 1.705.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b. Alpha = .05.

NPar Tests

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residual for KADAR
N		27
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.0000
	Std. Deviation	1.08638
Most Extreme Differences	Absolute	.181
	Positive	.127
	Negative	-.181
Kolmogorov-Smirnov Z		.940
Asymp. Sig. (2-tailed)		.340

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

