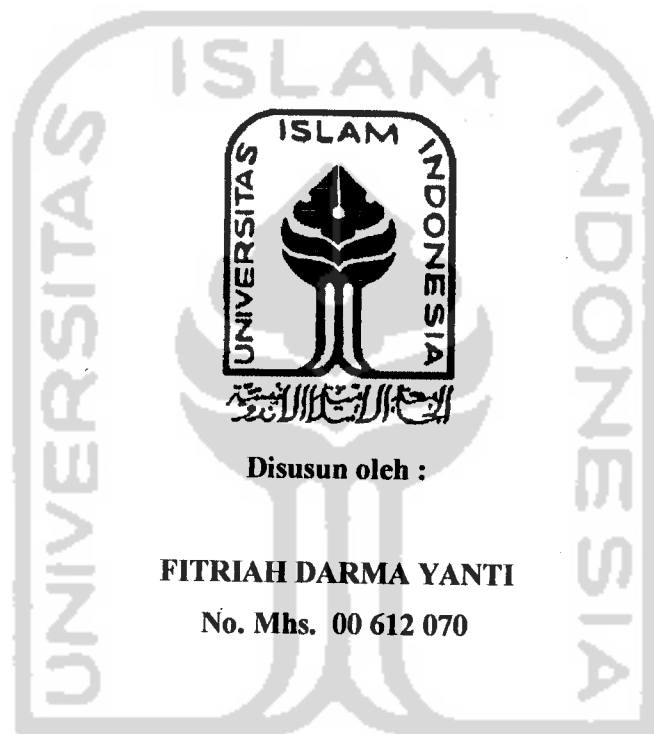


**KAJIAN FITOREMEDIASI LOGAM Cu DENGAN TANAMAN
ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)**

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 :

FITRIAH DARMA YANTI

No. Mhs. 00 612 070

JURUSAN ILMU KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

JOGJAKARTA

2004

LEMBAR PENGESAHAN

KAJIAN FITOREMEDIASI LOGAM Cu DENGAN TANAMAN

ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)

Skripsi

Oleh :

Nama : FITRIAH DARMA YANTI

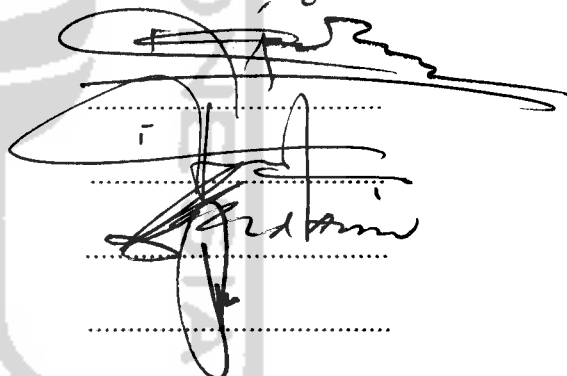
NIM : 00612070

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Jurusan Ilmu Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia
Jogjakarta

Dewan Penguji

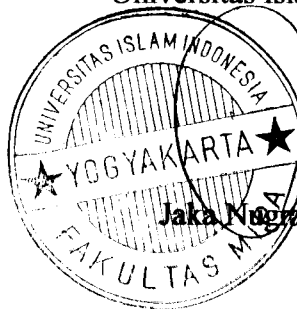
1. Drs. Allwar, M.Sc
2. Tatang Shabur Julianto, S.Si
3. Drs. Mudasir, M.Eng, Ph.D.
4. Rudy Syahputra, M.Si.

Tanda tangan



Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia



Jaka Nugraha, M.Si

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan ridho-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ Kajian fitoremediasi logam Cu dengan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)” ini untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh derajat sarjana kimia pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia Jogjakarta.

Penulis sadar bahwa selesainya penulisan ini karena bantuan dari banyak pihak, oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tak terhingga kepada :

1. Bapak Jaka Nugraha, S.Si, M.Si., selaku dekan FMIPA UII.
2. Bapak Riyanto, M.Si., selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA UII.
3. Bapak Drs. Mudasir, M.Eng. Ph D., selaku dosen pembimbing I.
4. Bapak Rudy Syahputra, M.Si., selaku dosen pembimbing II.
5. Ibu Is Fatimah, M.Si., selaku Koordinator Kepala Laboratorium kimia FMIPA UII.
6. Seluruh staf laboratorium kimia UII dan UGM, perpustakaan Biologi UGM dan perpustakaan MIPA UII, bagi sarana dan prasarana yang penulis perlukan.

Rasa terima kasih yang tak terhingga juga tidak lupa penulis sampaikan untuk semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung. Namun penulis sadar dengan sepenuh hati bahwa dalam penulisan tugas

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
INTISARI.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar belakang.....	1
2.2. Rumusan masalah.....	3
3.3. Tujuan penelitian.....	4
4.4. Manfaat penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms).....	5
2.1.1. Kedudukan taksonomi eceng gondok	5
2.1.2. Deskripsi eceng gondok.....	5
2.1.3. Syarat hidup eceng gondok.....	8
2.2. Fitoremediasi.....	9
BAB III DASAR TEORI	12
3.1. Mekanisme penyerapan logam oleh tumbuhan.....	12
3.2. Logam berat.....	14
3.2.1. Logam Cu	15
3.3. Toksisitas logam pada tanaman.....	17
3.4. Spektrofotometri serapan atom.....	18
3.4.1. Prinsip dasar spektrofotometri serapan atom.....	18
3.4.2. Instrumentasi.....	21

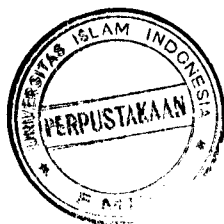
3.4.3. Gangguan dalam spektrofotometri serapan atom.....	23
3.5. Hipotesis	24
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	25
4.1. Alat dan bahan	25
4.1.1. Alat-alat	25
4.1.2. Bahan-bahan	26
4.2. Variabel penelitian	26
4.2.1. Konsentrasi awal	26
4.2.2. pH larutan	27
4.2.3. Efek kompetitif	27
4.4.4. Akumulasi logam pada morfologi tanaman.....	27
4.3. Cara kerja	27
4.3.1. Aklimasi	27
4.3.2. Penanaman eceng gondok pada medium	28
4.3.3. Anti kontaminan	28
4.3.4. Pembuatan larutan buffer fosfat	29
4.3.5. Pembuatan larutan induk Cu 1000 ppm	29
4.3.6. Destruksi basah	29
4.4. Analisis AAS	30
4.4.1. Penentuan konsentrasi logam Cu dan Zn	30
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	32
5.1. Konsentrasi awal logam Cu	32
5.2. Pengaruh pH larutan	34
5.3. Efek kompetitif	36
5.4. Akumulasi logam pada tanaman.....	38
5.5. Fitotoksin logam Cu	39
5.5.1. Pengaruh konsentrasi awal	39
5.5.1.1. Pengaruh pemberian konsentrasi tinggi	39
5.5.1.2. Pengaruh pemberian konsentrasi rendah	41
5.5.2. Pengaruh pH	42
5.5.3. Efek kompetitif	45

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	48
6.1. Kesimpulan	48
6.2. Saran	49
BAB VII DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN.....	53



DAFTAR TABEL

Tabel 1 : Volume NaOH yang digunakan pada pH 6, 7 dan 8.....	53
Tabel 2 : Data optimasi alat AAS untuk logam Cu dan Zn.....	55
Tabel 3 : Absorbansi larutan standar Cu pada Berbagai konsentrasi untuk variabel akumulasi logam pada morfologi tanaman.....	63
Tabel 4 : Hasil pengukuran logam Cu pada morfologi tanaman menggunakan AAS.....	64
Tabel 5 : Konsentrasi logam Cu pada akar, batang dan daun.....	66
Tabel 6 : Absorbansi larutan standar Cu pada berbagai konsentrasi untuk variabel konsentrasi awal logam.....	67
Tabel 7 : Hasil pengukuran logam Cu untuk variabel konsentrasi awal logam Cu menggunakan AAS.....	68
Tabel 8 : Konsentrasi logam Cu pada waktu kontak 7, 14 dan 21 hari untuk variabel konsentrasi awal logam Cu.....	72
Tabel 9 : Absorbansi larutan standar Cu pada berbagai konsentrasi untuk variabel pH larutan.....	73
Tabel 10 : Hasil pengukuran logam Cu untuk variabel pH larutan menggunakan AAS.....	74
Tabel 11 : Serapan logam Cu pada pH 6, 7 dan 8.....	76
Tabel 12 : Absorbansi larutan standar Cu pada berbagai konsentrasi untuk variabel efek kompetitif.....	77
Tabel 13 : Absorbansi larutan standar Zn pada berbagai konsentrasi untuk variabel efek kompetitif.....	78
Tabel 14 : Hasil pengukuran logam Cu dan Zn untuk variabel efek kompetitif menggunakan AAS.....	79
Tabel 15 : Serapan logam Cu dan Zn untuk variabel efek kompetitif.....	81



DAFTAR GAMBAR

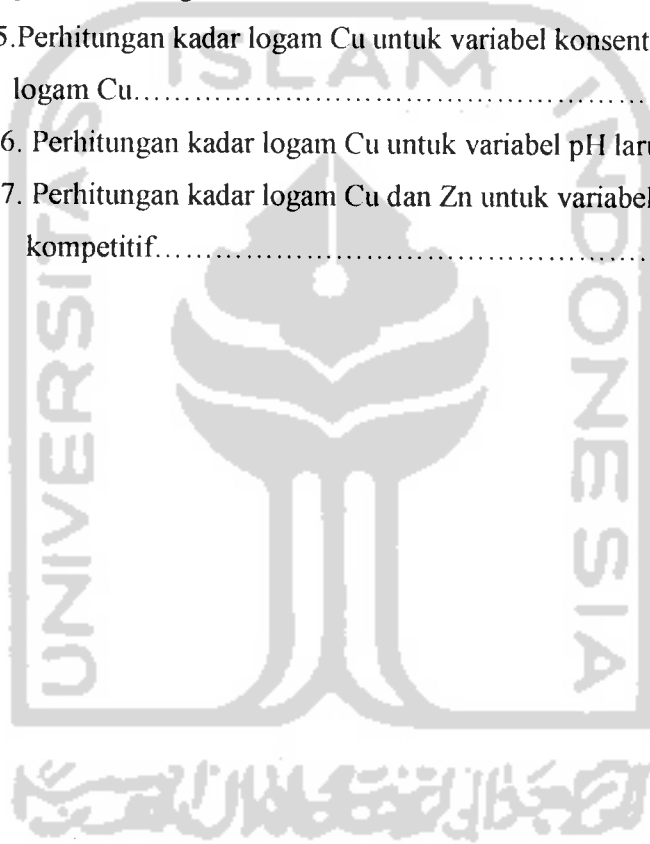
Gambar 1 : Morfologi eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.)Solms).....	8
Gambar 2 : Mekanisme penyerapan logam oleh tanaman eceng gondok.....	14
Gambar 3 : Kurva kalibrasi dalam analisis spektrofotometri serapan atom.....	20
Gambar 4 : Skema alat spektrofotometer serapan atom.....	21
Gambar 5 : Kurva standar Cu untuk variabel akumulasi logam pada morfologi tanaman.....	63
Gambar 6 : Serapan logam Cu pada morfologi tanaman.....	66
Gambar 7 : Kurva standar logam Cu untuk variabel konsentrasi awal logam.....	67
Gambar 8 : Pengaruh waktu kontak terhadap serapan logam Cu pada tanaman.....	72
Gambar 9 : Kurva standar Cu untuk variabel pH larutan.....	73
Gambar 10: Hubungan daya serap logam Cu dengan pH larutan.....	76
Gambar 11: Kurva standar Cu untuk variabel efek kompetitif.....	77
Gambar 12: Kurva standar Zn untuk variabel efek kompetitif.....	78
Gambar 13: Pengaruh efek kompetitif terhadap daya serap tanaman.....	81
Gambar 14 : Tanaman eceng gondok pada konsentrasi 35 ppm.....	40
Gambar 15.a.: Tanaman eceng gondok pada konsentrasi logam Cu 5 dan 15 ppm pada waktu kontak 14 hari	42
Gambar 15.b.: Tanaman eceng gondok pada konsentrasi logam Cu 5 dan 15 ppm pada waktu kontak 21 hari	42
Gambar 16: Kondisi tanaman eceng gondok pada konsentrasi logam Cu 15 ppm dan pH 5 menggunakan buffer asetat	43
Gambar 17: Kondisi tanaman eceng gondok pada konsentrasi logam Cu 15 ppm dan pH 9 menggunakan buffer asetat	44
Gambar 18.a.: Kondisi tanaman pada konsentrasi logam Cu 15 ppm, waktu kontak 14 hari pada pH 6	45
Gambar 18.b.: Kondisi tanaman pada konsentrasi logam Cu 15 ppm, waktu kontak 14 hari pada pH 7	45

Gambar 18.c.: Kondisi tanaman pada konsentrasi logam Cu 15 ppm, waktu kontak 14 hari pada pH 8	45
Gambar 19: Kondisi tanaman pada konsentrasi logam Cu 35 ppm dan Zn 35 ppm	46
Gambar 20: Pengaruh pemberian logam Cu 15 ppm dan Zn 15 ppm tanpa pengaturan pH	46
Gambar 21: Kondisi tanaman pada konsentrasi logam Cu dan Zn 15 ppm pada pH 7.....	47



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pembuatan larutan – larutan kerja.....	53
Lampiran 2. Langkah-langkah penentuan slope, intersep dan koefisien korelasi menggunakan program Microsoft Excel.....	57
Lampiran 3. Rumus perhitungan kadar logam Cu untuk setiap variabel.....	62
Lampiran 4. Perhitungan kadar logam Cu untuk variabel akumulasi logam Cu pada morfologi tanaman.....	63
Lampiran 5. Perhitungan kadar logam Cu untuk variabel konsentrasi awal logam Cu.....	67
Lampiran 6. Perhitungan kadar logam Cu untuk variabel pH larutan.....	73
Lampiran 7. Perhitungan kadar logam Cu dan Zn untuk variabel efek kompetitif.....	77



KAJIAN FITOREMEDIASI LOGAM Cu DENGAN TANAMAN

ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)

INTISARI

Telah dilakukan penelitian fitoremediasi logam Cu dengan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya serap logam Cu oleh tanaman yang dipengaruhi oleh konsentrasi awal logam, pH media tumbuh, waktu kontak, efek kompetitif antara logam Cu dan Zn, dan toksisitas logam Cu.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan ember eksperimen dan analisis konsentrasi logam dengan menggunakan spektrofotometri serapan atom.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi Cu tertinggi terdapat pada akar sebesar $(284,27 \pm 1,16 \mu\text{g/g})$. Konsentrasi 15 ppm dan waktu kontak 14 hari merupakan kondisi optimum logam Cu oleh eceng gondok sebesar $(581,40 \pm 1,97 \mu\text{g/g})$. Pada pH 7 media tumbuh tanaman sebesar $(442,89 \pm 4,81 \mu\text{g/g})$. Kehadiran logam Zn dalam media tumbuh memberikan efek kompetisi dan menurunkan serapan logam Cu menurun menjadi $(340,78 \pm 3,19 \mu\text{g/g})$. Konsentrasi logam Cu lebih dari 15 ppm dapat menyebabkan keracunan pada tanaman.

Kata kunci : Fitoremediasi, tanaman eceng gondok, logam Cu.

**THE STUDY OF PHYTOREMEDIATION OF Cu METAL BY
WATER HYACINTH (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)**

ABSTRACT

The research on phytoremediation of Cu metal using water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) has been done. The research aim was to describe the absorption of Cu metal by experimental plants as function of initial concentration of metal, pH of grow media, contacting time, competing effect of metal uptake by plant and Cu metal toxicity on plant was also examined.

All the experiment were done by vase experiment and Cu concentration was measured by atomic absorption spectrophotometry.

The result showed that the highest Cu concentration was found on root ($284,27 \pm 1,16 \mu\text{g/g}$). The optimum of Cu metal uptake was at initial concentration of 15 ppm, contacting time at the 14th days ($581,40 \pm 1,97 \mu\text{g/g}$) and the optimum of plant growth media of pH 7 equal to ($442,89 \pm 4,81 \mu\text{g/g}$). The presence of Zn metal by on growth media gave competition effect on uptaking the Cu metal equal to ($340,78 \pm 3,19 \mu\text{g/g}$) and the concentration of Cu metal more than 15 ppm toxicity to plant.

Keyword : Phytoremediation, water hyacinth, Cu metal.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan, tanpa air tidak akan ada kehidupan. Dalam kenyataannya air bukan hanya dibutuhkan manusia saja, air juga merupakan bahan yang mutlak harus ada baik untuk tumbuhan, hewan, maupun mikroorganisme, oleh karena air berfungsi dalam pertumbuhan dan perkembangan organisme hidup.

Pada tahun 1996, pantai Timur Surabaya dikabarkan telah tercemar oleh logam berat disebabkan oleh pembuangan limbah dari industri yang menggunakan logam berat dalam proses produksi. Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa air susu ibu (ASI) dari ibu yang menyusui telah mengandung Kadmium (Cd) sebanyak 36,1 ppm, sehingga dikhawatirkan akan membahayakan kesehatan anak-anak karena dapat menyebabkan penurunan kecerdasan anak dan kerusakan jaringan tubuh. Di dalam sampel darah penduduk sekitar pantai tersebut juga mengandung tembaga (Cu) sebesar 2511,07 ppb dan merkuri (Hg) sebanyak 2,48 ppb. Kandungan tembaga (Cu) dalam darah warga telah melampaui nilai ambang batas yang telah ditetapkan WHO yaitu sebesar 800-1200 ppb. Hal ini menunjukkan bahwa masyarakat tersebut telah mengkonsumsi hewan laut di sekitar pantai Timur Surabaya yang telah terkontaminasi logam berat. (Rini, 2001).

Tindakan pemulihan (remediasi) perlu dilakukan agar lahan yang tercemar dapat digunakan kembali untuk berbagai kegiatan secara aman. Penanggulangan secara biologi bisa menjadi alternatif pengolahan air limbah yang memerlukan biaya yang relatif murah dan pengerjaannya sederhana yaitu dengan menggunakan tumbuhan air, yakni eceng gondok. Metode fitoremediasi adalah metode yang mengandalkan peran tanaman untuk menyerap, mendegradasi, mentransformasi dan memobilisasi bahan pencemar, baik logam berat maupun senyawa organik. Penggunaan fitoremediasi ini disebabkan oleh kenyataan bahwa sejumlah tanaman memiliki sifat untuk mengakumulasi logam berat dalam jaringannya. (Priyanto dan Prayitno, 2004)

Eceng gondok adalah salah satu jenis tumbuhan air yang pertama kali ditemukan oleh Kalr Von Mortius pada tahun 1824 di sungai Amazon Brazilia. Karena kecepatan pertumbuhan eceng gondok yang tinggi, tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang dapat merusak lingkungan perairan. Pemanfaatan eceng gondok untuk memperbaiki kualitas air yang tercemar relatif murah dan sederhana khususnya terhadap limbah domestik dan industri sebab eceng gondok memiliki kemampuan menyerap zat pencemar yang tinggi dari pada jenis tumbuhan lainnya. (Falah, 2004)

Rangkaian penelitian seputar kemampuan eceng gondok dalam menyerap logam berat juga telah dilakukan oleh para pakar. Widyanto dan Susilo (1981) melaporkan bahwa dalam waktu 24 jam, eceng gondok mampu menyerap logam kadmium (Cd), merkuri (Hg) dan nikel (Ni), masing-masing sebesar 1,35 mg/g, 1,77 mg/g dan 1,16 mg/g bila logam itu tak bercampur. Eceng gondok juga

menyerap Cd 1,23 mg/g, Hg 1,88 mg/g dan Ni 0,35 mg/g berat kering apabila logam-logam itu berada dalam keadaan tercampur dengan logam lain. Oleh karena itu, hal ini dapat dikembangkan menjadi sistem pengolahan limbah yang efektif dan efisien (Hasim, 2000).

Dalam penelitian ini akan dikaji kemampuan tanaman eceng gondok dalam mengabsorpsi logam Cu. Logam Cu merupakan unsur hara bagi tanaman, apabila berada pada konsentrasi rendah. Tetapi, pada konsentrasi tinggi akan bersifat toksik. Pada ekosistem perairan beberapa parameter yang mempengaruhi kemampuan absorpsi tanaman eceng gondok seperti konsentrasi awal logam, waktu kontak dan keberadaan logam lain akan diteliti. Juga akan dipelajari jaringan mana dalam eceng gondok yang dapat mengakumulasi logam-logam tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian tersebut di atas, timbul permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh konsentrasi awal logam Cu, pH larutan dan waktu kontak terhadap kemampuan penyerapan logam oleh tanaman eceng gondok.
2. Bagaimana pengaruh antar logam (efek kompetitif atau aditif) dari logam Cu dan Zn terhadap kemampuan penyerapan logam oleh tanaman eceng gondok.
3. Dimanakah konsentrasi terbesar logam Cu pada morfologi tanaman eceng gondok (akar, batang dan daun).

1.3. Tujuan

1. Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi awal logam Cu, pH larutan dan waktu kontak terhadap kemampuan penyerapan logam oleh tanaman eceng gondok.
2. Untuk mengetahui pengaruh antar logam (efek kompetitif atau aditif) dari logam Cu dan Zn terhadap kemampuan penyerapan logam oleh tanaman eceng gondok.
3. Untuk mengetahui konsentrasi terbesar logam Cu pada morfologi tanaman eceng gondok (akar, batang dan daun).

1.3 Manfaat

Jika penelitian ini berhasil, maka akan memberikan sumbangan berupa metode dalam pengolahan limbah logam berat yang cukup murah menggunakan metode fitoremediasi dengan memanfaatkan tanaman air. Hal ini pada gilirannya akan memperbaiki kualitas lingkungan dan kualitas hidup masyarakat serta menjamin masyarakat terbebas dari cemaran logam berat.

BAB II


TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)

2.1.1 Kedudukan Taksonomi Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)

Kedudukan eceng gondok dalam taksonomi tumbuhan adalah sebagai

berikut:



Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Subdivisi	: <i>Angiospermae</i>
Kelas	: <i>Monocotyledoneae</i>
Ordo	: <i>Farinosae</i>
Familia	: <i>Pontederiaceae</i>
Genus	: <i>Eichhornia</i>
Species	: <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms

2.1.2. Deskripsi Eceng Gondok

Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) yang mempunyai nama daerah eceng atau enceng, merupakan tanaman herbaperial berbunga yang mengapung pada permukaan air tawar. Jika digolongkan lebih lanjut, eceng gondok merupakan tumbuhan akuatik makrofit (tumbuhan berpembuluh yang hidup di air). Hidupnya tersebar di sepanjang daerah tropik atau subtropik, berasal dari Brazil. Batangnya berongga, lunak, mempunyai ruang udara yang menyebabkan

mengapung, panjang antara 2 – 40 cm, bervariasi tergantung status nutrien dari air dan frekuensi kerapatan tanaman. Bunganya berwarna ungu, tumbuh tegak, berbentuk tandan. Dapat membentuk biji, tapi reproduksi lebih banyak dilakukan dengan stolon (Yuliawati,1995).

Ciri khasnya adalah batang dan tangkai daun dalam perkembangannya mempunyai bilik udara, yaitu rongga dengan dinding penyekat selaput tipis (Rusmiyanto, 1998).

Tanaman ini bereproduksi dan melakukan pertumbuhan secara cepat ke arah lateral hingga menutupi permukaan air, baru melakukan pertumbuhan vertikal. Eceng gondok merupakan salah satu tumbuhan berfotosintesis paling produktif di dunia. Dari 10 tanaman ini dapat berlipat jumlahnya selama reproduksi vegetatif menjadi 600.000 tanaman dalam waktu 8 bulan, menutupi area perairan.

Secara fisiologis penyerapan zat-zat dapat melalui akar, stomata, lentisel dan sebagainya. Pada tanaman eceng gondok terutama yang ditumbuhkan dalam air limbah, penyerapan zat-zat yang paling banyak melalui akarnya, yaitu melalui 2 cara:

1. Masuk ke sistem apoplast yang terdiri dari bagian tak hidup dari tanaman (kutikula, dinding sel, ruang interseluler dan saluran xylem)
2. Masuk ke sistem simplast, yang terdiri dari bagian hidup dari tanaman (epidermis, mesofil, floem, rambut akar, korteks, dan lain-lain).

Perkembangan penelitian dalam mengolah air limbah secara biologis sampai pada penggunaan kolam air limbah dengan tanaman air. Ini dilakukan karena

adanya keuntungan konkrit dari penggunaan tanaman, baik secara ekologis maupun efisiensinya yang lebih baik (Yuliawati, 1995).

Menurut Weaver dan Clements (1980) tanaman eceng gondok lebih umum berkembang biak secara vegetatif dibanding secara generatif, perkembangbiakan secara vegetatif dengan menggunakan sulur-sulurnya. Berikut ini adalah bagian-bagian dari tanaman eceng gondok:

1. Akar

Akar dengan bulu-bulu akar yang banyak, berfungsi sebagai pegangan atau jangkar, dan sebagian besar berguna untuk mengabsorpsi zat-zat makanan dari dalam air. Pada bagian ujung akar tidak terdapat tudung akar atau kaliptra, tetapi sebagai gantinya, terbentuk kantung akar.

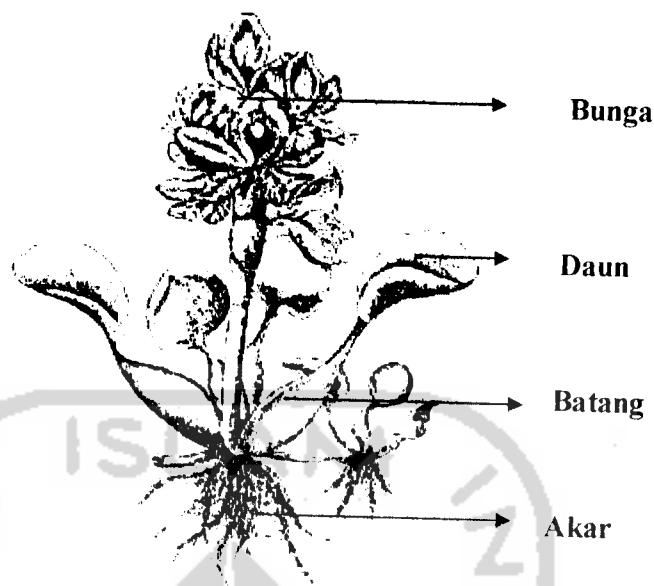
2. Batang

Batang tanaman eceng gondok atau yang disebut dengan petiola, yang berbentuk bulat menggelembung, di dalamnya penuh dengan ruang-ruang udara, yang berfungsi untuk mengapung di atas permukaan air.

3. Daun

Daun tanaman eceng gondok terletak di atas permukaan air. Di dalamnya terdapat banyak ruang-ruang udara, yang berfungsi sebagai alat pengapung dalam air. Kloroplast banyak dijumpai di dalam sel-sel epidermis daun, yang berguna dalam fotosintesis. Di permukaan sebelah atas daun banyak dijumpai stomata (Farida, 1986)

Morfologi eceng gondok ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Morfologi eceng gondok
(*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.)

2.1.3 Syarat Hidup Eceng Gondok

Eceng gondok tumbuh baik pada intensitas cahaya dan temperatur yang tinggi. Temperatur optimum untuk pertumbuhan eceng gondok adalah 27°C-30°C. Eceng gondok tumbuh paling cepat pada temperatur 28°C-30°C. Eceng gondok berhenti tumbuh pada temperatur di bawah 10°C dan di atas 40°C.

Eceng gondok hanya dapat tumbuh pada air tawar dan tidak toleran terhadap salinitas. Pertumbuhannya semakin baik pada air yang tercemar oleh sampah, karena eceng gondok dapat menggunakan nitrogen, fosfor dan nutrisi lain yang terdapat di dalamnya.

pH untuk pertumbuhan optimum eceng gondok berkisar antara 4,0-8,0 sedangkan kisaran pH untuk pertumbuhan terletak di antara 4,0 dan 10,0. Eceng

gondok yang tumbuh pada air yang lebih asam atau lebih basa cenderung mengubah pH sehingga terletak di dalam kisaran pH optimum (Asiyatun, 1993).

2.2 Fitoremediasi

Istilah fitoremediasi berasal dari kata Inggris *phytoremediation*, kata ini tersusun atas dua bagian kata, yaitu *phyto* yang berasal dari kata Yunani *phyton* (= “tumbuhan”) dan *remediation* yang berasal dari kata Latin *remedium* (= “menyembuhkan”, 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 itu senyawa organik maupun anorganik.

Fitoremediasi dapat dibagi menjadi fitoekstraksi, rizofiltrasi, fitodegradasi, fitostabilisasi dan fitovolatilisasi.

1. Fitoekstraksi.

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

2. Rizofiltrasi.

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

3. Fitodegradasi.

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

4. Fitostabilisasi.

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

5. Fitovolatilisasi.

Terjadi ketika tumbuhan menyerap kontaminan dan melepaskannya ke udara lewat daun. Dapat pula senyawa kontaminan mengalami degradasi sebelum dilepas lewat daun (Priyanto dan Prayitno, 2004).

Fitoremediasi, walaupun sekarang masih dalam tahap pengembangan, diharapkan akan menjadi teknologi pembersih lingkungan yang tangguh di era mendatang, sehingga program penghijauan dan pembersihan bumi akan segera tercapai (Eriawan, 2001).

Proses regenerasi vegetatif yang sangat cepat dan toleransinya terhadap lingkungan yang cukup besar, menyebabkan eceng gondok dapat dimanfaatkan sebagai pengendali pencemaran lingkungan perairan. Eceng gondok mampu menyerap 0,176 mg Pb dan 0,150 mg Hg/ berat kering tumbuhan dari aquades dan air dalam waktu 24 jam. Sehingga dimungkinkan sekali pemanfaatan eceng gondok untuk mengurangi logam-logam toksik yang terlarut dalam perairan. Eceng gondok berfungsi sebagai penyerap logam-logam berbahaya, di antaranya Pb, As, Hg, atau Cd. Penelitian yang dilakukan oleh Darowi Ahmady (1993) menyimpulkan bahwa eceng gondok umur pertumbuhan 30 hari merupakan umur

yang paling efektif dalam menyerap logam berat Hg dan dalam konsentrasi Hg 10 ppm masih mampu bertahan hidup selama 14 hari (Ahmady, 1993).

Eceng gondok mampu menyerap unsur Cd dan Pb sebesar 3,92 mg/g berat kering tanaman per hari dan 0,93 mg/g berat kering tanaman per hari selama periode waktu 4 hari. Setelah periode 28 hari kemampuan penyerapannya menjadi berkurang. Pada periode tersebut Pb dan Cd yang diserap hanya 0,29 mg/g berat kering tanaman per hari (Yuliawati, 1995).

Kemampuan eceng gondok dalam menyerap logam berat juga telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Widyanto dan Susilo(1981) melaporkan bahwa dalam waktu 24 jam, eceng gondok mampu menyerap logam cadmium (Cd), merkuri (Hg) dan nikel (Ni), masing-masing sebesar 1,35 mg/g, 1,77 mg/g dan 1,16 mg/g bila logam itu tak bercampur. Eceng gondok juga menyerap Cd 1,23 mg/g, Hg 1,88 mg/g, dan Ni 0,35 mg/g berat kering apabila logam-logam itu berada dalam keadaan tercampur dengan logam lain. Lubis dan Sofyan menyimpulkan logam krom (Cr) dapat diserap oleh eceng gondok secara maksimal pada pH 7. Dalam penelitiannya, logam Cr semula berkadar 15 ppm turun hingga 51,85% (Hasim, 2000).

BAB III

DASAR TEORI

3.1 Mekanisme Penyerapan Logam Oleh Tumbuhan

Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi 3 proses yang berkesinambungan, yaitu :

- Penyerapan logam oleh akar.

Telah diketahui, bahwa agar tumbuhan dapat menyerap logam maka logam harus dibawa ke dalam larutan di sekitar akar (rizosfer) dengan beberapa cara bergantung pada spesies tumbuhannya :

1. Perubahan pH.

Pada *Thlaspi caerulescens*, mobilisasi seng dipacu dengan terjadinya penurunan pH pada daerah perakaran sebesar 0,2 – 0,4 unit.

2. Ekskresi zat khelat.

Mekanisme penyerapan besi lewat pembentukan suatu zat khelat disebut fitosiderofor. Molekul fitosiderofor yang terbentuk ini akan mengikat (mengkhelat) besi dan membawanya ke dalam sel akar melalui peristiwa transport aktif. Selain aktif terhadap besi, fitosiderofor dapat mengikat logam lain seperti seng (Zn), tembaga (Cu) dan mangan (Mn).

3. Pembentukan reduktase spesifik logam.

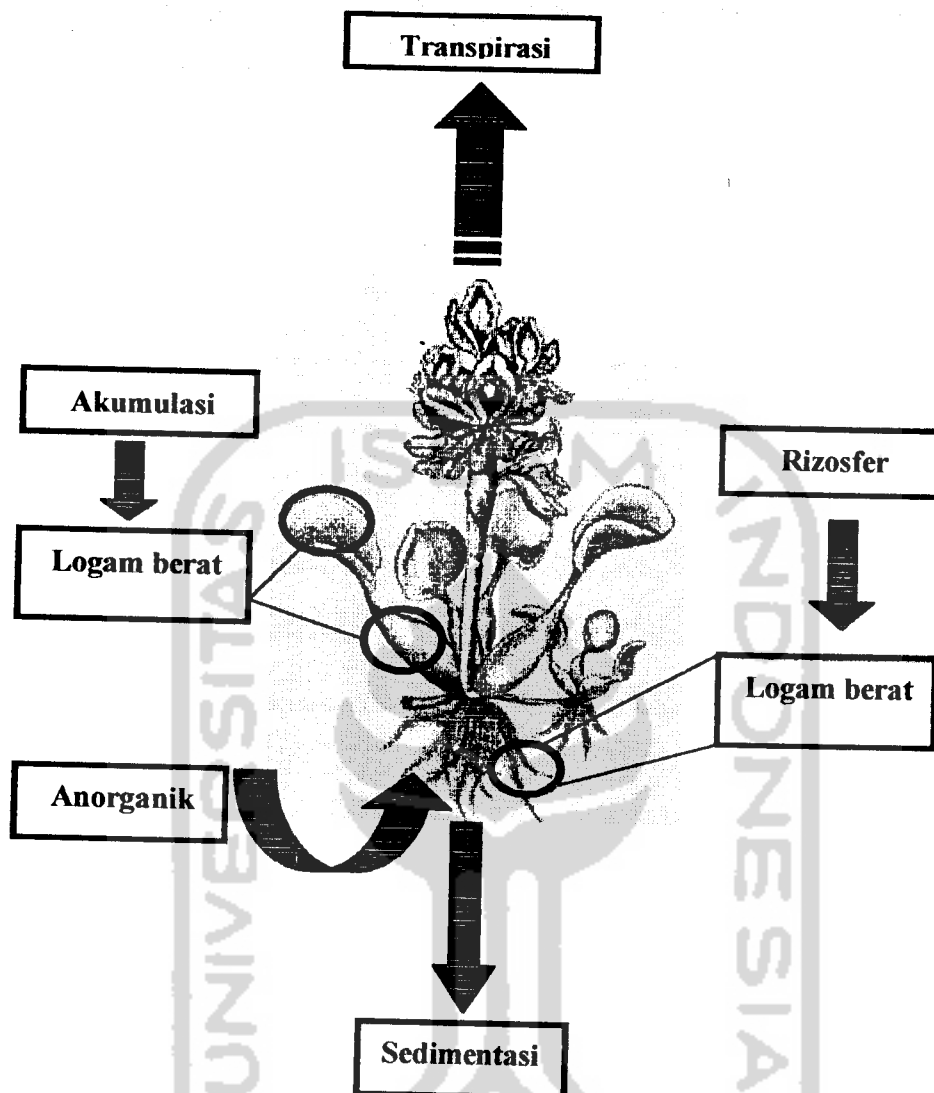
Di dalam meningkatkan penyerapan besi, tumbuhan membentuk suatu molekul reduktase di membran akarnya. Reduktase ini berfungsi mereduksi logam yang selanjutnya diangkut melalui kanal khusus di dalam membran akar.

- Translokasi di dalam tubuh tumbuhan.

Setelah logam dibawa masuk ke dalam sel akar, selanjutnya logam harus diangkut melalui jaringan pengangkut, yaitu xilem dan floem, ke bagian tumbuhan lain. Untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan, logam diikat oleh molekul khelat. Berbagai molekul khelat yang berfungsi mengikat logam dihasilkan oleh tumbuhan, misalnya histidin yang terikat pada Ni.

- Lokalisasi logam pada jaringan.

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



Gambar 2. Mekanisme penyerapan logam oleh tanaman eceng gondok

3.2 Logam Berat

Logam berat adalah logam atau setengah logam yang mempunyai berat atom besar. Dapat pula dikatakan bahwa logam berat adalah unsur-unsur dengan nomor atom 22 sampai 92 dan terletak pada periode 3 sampai 7 di dalam susunan berkala atau sistem periodik (Mailman, 1980).

Logam merupakan bahan pertama yang dikenal oleh manusia dan digunakan sebagai alat-alat yang berperan penting dalam sejarah peradaban manusia. Logam mula-mula diambil dari pertambangan di bawah tanah (kerak bumi), yang kemudian dicairkan dan dimurnikan dalam pabrik menjadi logam-logam murni.

Logam lalu dibentuk dan dapat dipergunakan untuk peralatan pertanian (besi), perhiasan (emas, perak) dan bahkan logam jenis tertentu dalam ukuran yang sangat kecil dapat digunakan sebagai bahan pengganti energi minyak (Uranium). Proses pemurnian logam tersebut yaitu dari pencairan sampai menjadi logam, sebagian darinya terbuang ke dalam lingkungan. Secara alami siklus perputaran logam bermula dari kerak bumi kemudian ke lapisan tanah, kemudian ke makhluk hidup (tanaman, hewan dan manusia), ke dalam air, mengendap dan akhirnya kembali ke kerak bumi.

Toksisitas logam pada manusia menyebabkan timbulnya penyakit seperti kerusakan jaringan, terutama jaringan hati dan ginjal, menyebabkan kanker dan mempunyai sifat teratogenik (abnormalitas pertumbuhan embrio). Timbulnya toksisitas ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kadar logam yang termakan, lamanya mengkonsumsi, jenis kelamin, kebiasaan memakan makanan tertentu, umur, spesies, kondisi fisik dan kemampuan jaringan tubuh (Darmono, 1995).

3.2.1 Logam Cu

Tembaga dengan nama kimia *cupprum* dilambangkan dengan Cu. Unsur logam ini berbentuk kristal dengan warna kemerahan. Dalam tabel periodik unsur



kimia tembaga menempati posisi dengan nomor atom (NA) 29 dan mempunyai bobot atau berat atom (BA) 63,546.

Kegunaannya:

Logam Cu atau tembaga digolongkan ke dalam logam-logam penghantar listrik yang baik. Cu merupakan pengantar listrik terbaik setelah perak (Ag). Karena itu, logam Cu banyak digunakan dalam bidang elektronika atau perlistrikan.

Dalam bidang industri lainnya, senyawa Cu banyak digunakan. Sebagai contoh adalah industri cat, industri insektisida, fungisida dan lain-lain.

CuO banyak digunakan sebagai katalis, baterai, elektroda, penarik sulfur atau belerang dan sebagai pigmen serta pencegah pertumbuhan lumut. Mengingat banyaknya penggunaan Cu, tidak dapat dipungkiri pembuangan limbah industri yang mengandung logam berat Cu juga sangat beragam / banyak.

Keracunan Cu:

Bentuk tembaga yang paling beracun adalah debu-debu Cu yang dapat mengakibatkan kematian pada dosis 3,5 mg/kg. Pada manusia, efek keracunan utama yang ditimbulkan akibat terpapar oleh debu atau uap logam Cu adalah terjadinya gangguan pada pernafasan yaitu terjadi kerusakan atropik pada selaput lendir yang berhubungan dengan hidung. Kerusakan itu merupakan akibat dari gabungan sifat iritatif yang dimiliki oleh debu atau uap Cu tersebut (Palar, 1994).

3.3 Toksisitas logam pada tanaman

Tanaman yang ditumbuhkan dalam media air atau tanah yang mengandung senyawa toksik akan memberikan respon sensitif atau respon resisten. Respon sensitif ditandai dengan pertumbuhan tidak normal bahkan kematian. Respon resisten ditandai dengan kemampuan tanaman untuk bertahan hidup dan berproduksi (Wang dan Evangeloe, 1995).

Logam berat dapat menimbulkan fitotoksisitas dengan cara:

1. Mengganggu kontak air dengan tanaman sehingga menyebabkan tanaman mengalami gangguan metabolisme.
2. Meningkatkan permeabilitas membran plasma sel akar sehingga akar menjadi lemah dan berkurang kemampuan seleksinya.
3. Menghambat fotosintesis dan respirasi.
4. Menurunkan aktivitas enzim metabolik.

Ambang batas tanaman terhadap logam berat berbeda-beda untuk tiap tanaman. Bila ambang batas terlampaui maka menyebabkan meningkatnya aktivitas enzim dan protein dalam pembentukan khelat bersifat toksik (Jamil dan Parkash, 1993). Konsentrasi logam yang melampaui batas maksimum menurut Connel dan Miller (1984) dapat menyebabkan reduksi terhadap organ-organ tanaman, ukuran tumbuhan menjadi kerdil, bunga menjadi lebih kecil dari ukuran normal atau bahkan tidak terbentuk, menyebabkan klorosis, efek fatal adalah menimbulkan kematian.

3.4 Spektrofotometri Serapan Atom

3.4.1 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 bergantung pada jumlah atom-atom bebas yang terlibat dan pada kemampuan atom-atom itu untuk menyerap radiasi (Narsito, 1992).

Prinsip dasar cara analisis spektrofotometri serapan atom adalah interaksi berbagai bentuk energi terutama panas dan atau energi radiasi dengan unsur yang dianalisis. Metode spektrofotometri serapan atom didasarkan pada proses penyerapan oleh atom-atom yang berada pada tingkat dasar (*ground state*). Penyerapan tersebut menyebabkan tereksitasinya elektron dalam atom-atom ke tingkat yang lebih tinggi (*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 (*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 menintegrasikan 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 zat kadar 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

A = menyatakan absorbansi

a = absorpsi spesifik

ϵ = absorptivitas molar

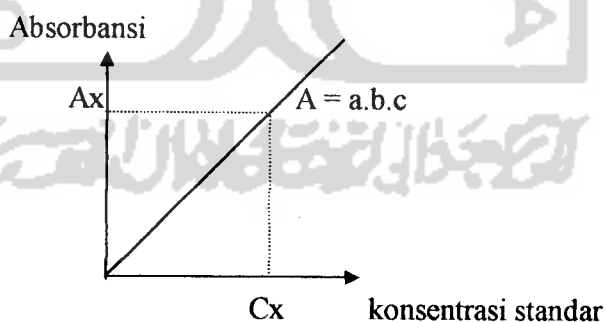
c = konsentrasi

b = tebal medium serapan

persamaan (10) di atas dikenal sebagai hukum Lambert-Beer.

(Day dan Underwood, 1986).

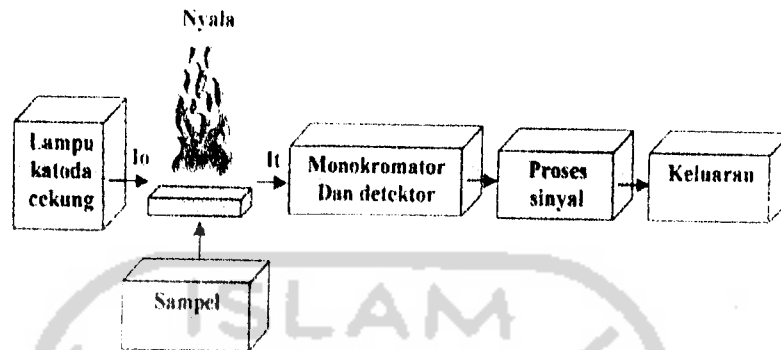
Dari persamaan tersebut menunjukkan bahwa absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi atom pada tingkat dasar pada nyala (atau dalam sel absorpsi). Besarnya konsentrasi atom-atom ini sebanding dengan konsentrasi unsur dalam cuplikan, sehingga dengan membuat kurva absorbansi lawan konsentrasi unsur di dalam larutan standar, maka diperoleh kurva garis lurus (pada daerah konsentrasi tertentu), kurva ini disebut kurva kalibrasi (kurva standar). Dengan menginterpolasikan absorbansi larutan cuplikan pada kurva kalibrasi, maka konsentrasi unsur dalam cuplikan dapat ditentukan



Gambar 3. Kurva kalibrasi dalam analisis secara spektrofotometri.

3.4.2. Instrumentasi

Susunan alat spektrofotometer serapan atom dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Skema alat spektrofotometer serapan atom

Komponen-komponen spektrofotometer 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 mengganti 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 (*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 Ne. 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 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).

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 oksion 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.

3.4.3 Gangguan Dalam Spektrofotometri Serapan Atom

Secara umum ada 3 macam gangguan dalam spektrofotometri serapan atom (Khopkar, 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 pembentukan 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.

3.5 HIPOTESIS

Hipotesis 1: Terjadi akumulasi logam Cu pada morfologi tumbuhan eceng gondok (akar, batang dan daun).

Hipotesis 2: Konsentrasi awal logam Cu, pH larutan dan waktu kontak berpengaruh terhadap kemampuan penyerapan logam oleh tanaman eceng gondok.

Hipotesis 3 : Daya serap tanaman eceng gondok terhadap kedua logam, yaitu logam Cu dan logam Zn yang berada dalam larutan secara bersamaan akan bersifat kompetisi.



BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini akan diuraikan alat, bahan dan cara kerja yang digunakan dalam penelitian, masing-masing diuraikan dalam sub-bab sebagai berikut.

4.1 Alat dan bahan

4.1.1 Alat-alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari seperangkat alat gelas dan peralatan lainnya seperti tercantum di bawah ini :

- a. Timbangan merk Cariba skala 2 kg
- b. Neraca analitik merk sartorius BP 410
- c. pH meter merk WTW
- d. Spektrofotometer serapan atom model AA-782 Nippon Jarell Ash
- e. Pengaduk magnetik merk Labinco L-34
- f. Ember plastik 10 L
- g. Kompor listrik
- h. Kalkulator merk casio fx-3600P
- i. Peralatan gelas

4.1.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa padatan dan larutan, seperti tercantum di bawah ini :

- a. Sampel tanaman eceng gondok yang diambil dari sekitar persawahan di daerah dusun Mandungan. Sampel \pm 3 km dari jalan raya.
- b. Logam Cu p.a (Merck)
- c. Larutan Hoagland II dengan komposisi sebagai berikut :
 - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ p.a (Merck) 0,95 g/L
 - KNO_3 p.a (Merck) 0,61 g/L
 - MgSO_4 p.a (Merck) 0,49 g/L
 - $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ p.a (Merck) 0,12 g/L
 - Ferri tatrak p.a (Merck) 0,005 g/L
- d. HNO_3 65% p.a (Merck)
- e. KH_2PO_4 p.a (Merck)
- f. NaOH p.a (Merck)
- g. Kertas saring whatman 41
- h. Aquades
- i. Standar Cu 1000 ppm (spektrosol) BDH

4.2 Variabel penelitian

4.2.1 Konsentrasi awal

Untuk melihat pengaruh konsentrasi awal logam terhadap daya serap tanaman, maka dilakukan variasi konsentrasi logam di dalam larutan yaitu konsentrasi 5 ppm dan 15 ppm ; dan variasi waktu kontak 7, 14 dan 21 hari.

4.2.2 pH Larutan

Untuk melihat pengaruh pH terhadap daya serap logam oleh tanaman, maka pH larutan dibuat dengan variasi pH 6, 7, dan 8. Pengamatan untuk setiap pH dilakukan selama 14 hari pada konsentrasi 15 ppm pada masing-masing tanaman.

4.2.3 Efek kompetitif

Untuk melihat daya serap optimum logam oleh tanaman dengan kehadiran logam kompetitor, maka ditambahkan logam Zn ke dalam larutan dengan konsentrasi yang sama dengan logam Cu, pengamatan dilakukan selama 14 hari pada konsentrasi 15 ppm dan pH 7.

4.2.4 Akumulasi Logam Pada Morfologi Tanaman

Untuk mengetahui akumulasi maksimum konsentrasi logam pada bagian tanaman, maka dilakukan pengamatan konsentrasi logam pada bagian akar, batang dan daun tanaman pada konsentrasi logam Cu sebesar 15 ppm dan waktu kontak selama 21 hari.

4.3. Cara kerja

4.3.1. Aklimasi

Sebelum digunakan untuk penelitian, dilakukan aklimasi tumbuhan eceng gondok yang bertujuan untuk penyesuaian (adaptasi). Sebelum diaklimasi terlebih dahulu tanaman dicuci bersih. Aklimasi dilakukan dengan menanam tumbuhan tersebut dalam air sumur tanpa pergantian air selama 7 hari. Eceng gondok yang digunakan dipilih berdasarkan perkiraan umur yang sama.

4.3.2. Penanaman eceng gondok pada medium yang telah dibuat

Eceng gondok ditanam dalam ember plastik yang telah diberi aquades sebanyak 2 L. Kemudian ditambahkan larutan hoagland II sebagai nutrisi tanaman selama 7 hari. Pada hari ke-8 diberi logam Cu. Berat tumbuhan untuk perlakuan yaitu 100-200 g dan ketinggian air dijaga tetap 2 L. Untuk kontrol ember plastik diisi dengan aquades dan larutan hoagland II. Konsentrasi dibuat menjadi 5 ppm dan 15 ppm sedangkan untuk kontrol 0 ppm. Masing-masing ember plastik diberi label. Untuk menjaga agar tanaman dapat tumbuh dengan baik, maka tanaman diletakkan pada tempat yang cukup mendapat cahaya matahari.

4.3.3. Anti kontaminan

Anti kontaminan merupakan perlakuan terhadap peralatan gelas. Sebelum digunakan untuk analisis, peralatan gelas yang akan digunakan, terlebih dahulu disimpan selama satu malam dalam larutan HNO_3 10 % v/v agar alat-alat tersebut

terbebas dari pengotor yang dapat menyebabkan gangguan pada saat analisis. Setelah itu dibilas dengan akuades dan dikeringkan pada tempat yang bebas debu (Carasek dkk, 2002).

4.3.4. Pembuatan Larutan Buffer Phosfat

Larutan Buffer Phosfat dibuat dengan melarutkan 100 ml larutan 0,1 M KH_2PO_4 ke dalam 1,8 L larutan hoagland. Kemudian ditambahkan logam Cu. Selanjutnya ditambahkan 0,1 M NaOH sesuai dengan pH yang diinginkan. Kemudian ditambahkan aquades sampai 2 L. (Perhitungan selengkapnya ditunjukkan pada lampiran 1) (Robinson dan Stokes, 1968).

4.3.5. Pembuatan larutan induk Cu 1000 ppm

Larutan induk Cu 1000 ppm dibuat dengan melarutkan 1 g serbuk logam Cu dengan 7 ml HNO_3 pekat dalam labu ukur 1 L. Kemudian diencerkan dengan aquades sampai batas. Larutan ini dibuat untuk dimasukkan ke dalam media tanam pada konsentrasi 5 ppm dan 15 ppm. (Perhitungan ada di lampiran 1).

4.3.6. Destruksi basah

Sepuluh gram sampel berat basah ditempatkan di dalam gelas beker 100 ml ditambahkan 25 ml HNO_3 65% kemudian ditutup dan didiamkan selama 48 jam. Setelah itu suspensi dipanaskan sambil diaduk dengan magnetik stirrer pada suhu 200 °C 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 Analisis AAS

4.4.1. Penentuan konsentrasi logam Cu dan Zn

Penentuan kandungan logam Cu dan Zn dilakukan dengan menggunakan seperangkat alat spektrofotometer serapan atom model AA-782 Nippon Jarell Ash. Baik logam Cu maupun Zn diukur dengan menggunakan metode nyala (flame) pada kondisi optimum (lampiran 1).

Standarisasi alat spektrofotometer serapan atom digunakan larutan blanko dan dibuat deret larutan standar, dimana dari deret larutan standar ini akan diperoleh kurva baku atau kurva standar linear yang dibuat berdasarkan absorbansi dari larutan spektrosol untuk logam Cu dan Zn dengan konsentrasi yang telah diketahui (pehitungan dalam pembuatan deret larutan standar ditunjukkan pada lampiran 1).

Perhitungan komponen slope dan intersep pada persamaan regresi linear dilakukan dengan menggunakan Microsoft Excel 4.0. Dari kurva kalibrasi diperoleh hubungan antara variabel x (konsentrasi) dan y (Absorbansi) melalui persamaan regresi linear yang dinyatakan dengan persamaan :

$$y = bx + a$$

Dimana :

a = intersep

b = slope

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

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

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

$$\text{Korelasi} = r = \frac{n \sum (xy) - \sum x \sum y}{\left\{ n \sum (x^2) - (\sum x)^2 \right\} \left\{ n \sum (y^2) - (\sum y)^2 \right\}}^{1/2}$$

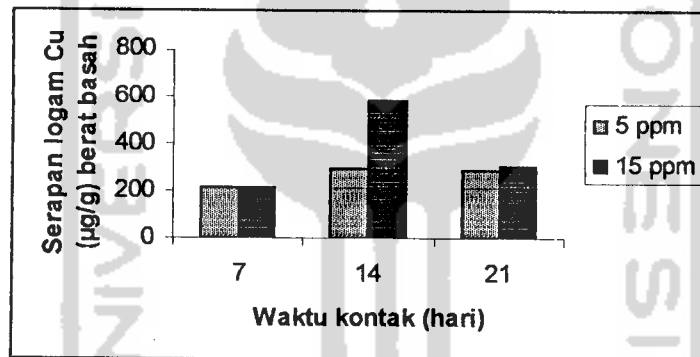


BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Konsentrasi awal logam Cu

Konsentrasi awal logam digunakan untuk melihat batas paparan logam Cu sehingga tanaman mampu menyerap secara maksimal. Pada penelitian ini digunakan konsentrasi awal logam Cu sebesar 5 ppm dan 15 ppm dengan waktu kontak selama 7, 14 dan 21 hari. Pengaruh waktu kontak terhadap daya serap tanaman pada masing-masing konsentrasi ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Pengaruh waktu kontak terhadap serapan logam Cu pada tanaman

Dari hasil analisis pada gambar 8 menunjukkan bahwa penyerapan optimum logam Cu terbesar pada konsentrasi 15 ppm. Jumlah serapan logam Cu semakin besar dalam tanaman dengan bertambahnya konsentrasi logam Cu. Hal ini disebabkan karena pada media tanam dengan konsentrasi 15 ppm kepadatan populasi ionnya lebih besar dibandingkan pada konsentrasi 5 ppm. Semakin tinggi jumlah ion Cu yang ada dalam media tanam semakin tinggi pula konsentrasi ion yang diserap oleh tanaman. Proses penyerapan unsur-unsur kimia oleh tanaman

air dilakukan lewat membran sel yaitu secara osmosis. Kation dari unsur-unsur kimia tersebut terdapat di dalam molekul air dan dikelilingi oleh molekul air lainnya. Jadi jumlah ion yang berdifusi ke rambut-rambut akar tergantung pada jumlah molekul air yang berdifusi ke membran sel. Semakin banyak molekul air yang diserap oleh tanaman eceng gondok, berarti semakin banyak ion-ion logam tersebut yang masuk ke dalam tubuh tanaman (Supradata, 1992).

Pada gambar 8 memperlihatkan bahwa waktu kontak 7 hari telah terjadi penyerapan logam Cu tetapi optimum terjadi pada waktu kontak 14 hari dan pada waktu kontak 21 hari terjadi penurunan serapan. Hal ini disebabkan pertama, karena konsentrasi logam Cu dalam media tanam semakin berkurang disebabkan serapan oleh tanaman. Semakin lama eceng gondok ditanam, semakin banyak logam yang terserap sehingga yang tersisa dalam media tanam semakin kecil. Apabila konsentrasi logam yang tersedia semakin kecil, maka yang terserap akan lebih kecil. Kedua, karena kemampuan eceng gondok dalam menyerap logam Cu terbatas. Peningkatan konsentrasi logam Cu yang semakin tinggi menyebabkan toksisitas pada tanaman. Eceng gondok mampu menyerap logam berat lebih besar pada hari ke-14 dibanding pada hari ke-28 (Ahmady, 1993).

5.2 Pengaruh pH larutan

Pengaruh pH digunakan untuk melihat pH optimum tanaman eceng gondok dapat menyerap logam maksimal. Dalam penelitian ini digunakan konsentrasi logam Cu sebesar 15 ppm dan waktu kontak 14 hari pada pH 6, 7 dan

Pengurangan CO_2 karena proses fotosintesis eceng gondok akan bergeser kesetimbangan ke kanan yang berarti pengurangan ion H^+ (asam) dalam larutan, sehingga larutan menjadi bersifat netral.

Larutan asam ($\text{pH} < 7$) dapat menyebabkan air dalam media akan masuk ke dalam jaringan tanaman sehingga ligan semakin polar, sehingga dapat mengganggu metabolisme tanaman. Sebaliknya larutan basa ($\text{pH} > 7$) dapat menyebabkan air di dalam jaringan akan tertarik ke dalam media sehingga mengganggu metabolisme tanaman. Sedangkan pH netral ($\text{pH} 7$) cenderung lebih stabil.

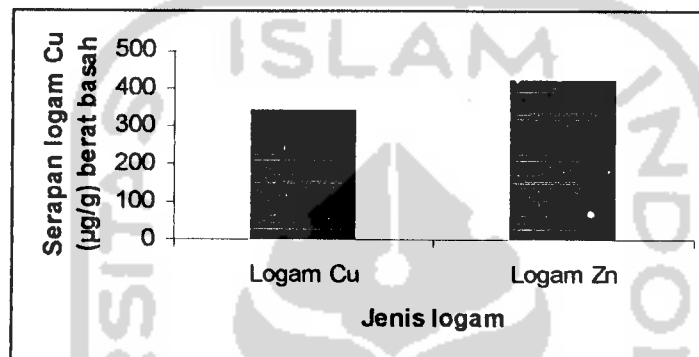
Ligan yang mempunyai atom donor dengan keelektronegatifan tinggi adalah basa kuat sedangkan ligan dengan atom donor yang mudah terpolarisasi adalah basa lemah. Secara umum, kation-kation kuat (asam Lewis) dengan ligan-ligan kuat (basa Lewis) akan membentuk kompleks yang stabil, sedangkan asam-asam lemah membentuk kompleks yang sangat stabil dengan basa-basa lemah. Kation Cu^{2+} merupakan asam yang bersifat lemah. Di dalam tanaman eceng gondok terdapat gugus amino yang mudah terpolarisasi berfungsi sebagai ligan khelat, sehingga membentuk kompleks yang sangat stabil (Mawardi, 1997).

5.3 Efek kompetitif

Efek kompetitif digunakan untuk melihat faktor sinergi antar logam terhadap daya serap logam. Faktor sinergi tersebut dapat saling mendukung (sifat adisi) atau bersaing (sifat kompetisi). Jika yang terjadi sifat kompetisi berarti ketika ditambahkan logam lain maka yang diserap paling tinggi adalah logam

tersebut, sebaliknya jika terjadi sifat adisi maka yang diserap paling tinggi oleh tanaman adalah logam yang semula telah ada pada media dan bukan logam lain.

Dalam penelitian ini digunakan konsentrasi logam Cu sebesar 15 ppm, logam pengganggu adalah logam Zn 15 ppm dan waktu kontak selama 14 hari pada pH 7. Pengaruh efek kompetitif terhadap daya serap tanaman ditunjukkan pada gambar 13.



Gambar 13. Pengaruh efek kompetitif terhadap daya serap tanaman

Pada gambar 13 memperlihatkan bahwa kehadiran logam Zn menyebabkan penyerapan logam Cu menurun menjadi $340,78 \pm 3,19 \mu\text{g/g}$ berat basah. Hal ini disebabkan pertama, karena ukuran ion logam Zn lebih kecil dari pada ukuran ion logam Cu. Di dalam sistem periodik ukuran ion yang semakin kecil dari kiri ke kanan sehingga logam Zn cenderung lebih dulu masuk ke dalam sel akar dibandingkan logam Cu. Kedua, secara umum logam Cu dan Zn merupakan hara esensial bagi tanaman yaitu sebagai unsur hara mikro. Unsur hara mikro dibutuhkan dalam jumlah yang relatif kecil bagi tanaman. Namun, persentase konsentrasi logam Zn yang diperlukan oleh tanaman lebih tinggi dibandingkan persentase konsentrasi logam Cu agar dapat tumbuh dengan baik.

Hal inilah yang menyebabkan logam Zn lebih tinggi diserap oleh tanaman dibandingkan logam Cu.

Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kehadiran logam Zn akan menurunkan serapan logam Cu. Sehingga dapat dikatakan bahwa pengaruh antar logam Cu dan Zn terhadap kemampuan penyerapan oleh tanaman bersifat kompetisi.

5.4 Akumulasi Logam Cu Pada Morfologi Tanaman

Pengamatan dilakukan untuk mengetahui akumulasi terbesar logam Cu pada morfologi tanaman eceng gondok, maka dilakukan pengukuran konsentrasi logam Cu pada bagian akar, batang dan daun. Pada penelitian ini digunakan konsentrasi 15 ppm dan waktu kontak 21 hari.

Larutan Hoagland yang digunakan sebagai media dalam penelitian ini adalah larutan yang umum digunakan dalam penelitian-penelitian secara laboratoris, khususnya penelitian yang berhubungan dengan nutrisi tumbuhan.

Dipakainya larutan Hoagland sebagai sumber zat hara bagi tumbuhan dalam penelitian ini selain sangat umum digunakan seperti tersebut diatas, juga karena larutan Hoagland mengandung ion-ion amonium maupun nitrat yang merupakan buffer atau penyangga yang baik. Diharapkan akan memperkecil kemungkinan terganggunya tumbuhan oleh faktor-faktor dari luar yang akan mengganggu pertumbuhan dan perkembangan eceng gondok selama penelitian, sehingga potensi maksimum eceng gondok dalam menyerap logam dapat dihitung secara lebih teliti.

Berikut adalah hasil analisis penyerapan logam Cu oleh tanaman eceng gondok secara lengkap ditunjukkan dalam tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisis penyerapan logam Cu pada akar, batang dan daun tanaman eceng gondok pada waktu kontak 21 hari

Pemberian logam Cu (ppm)	Serapan logam Cu ($\mu\text{g/g}$) berat basah		
	Akar	Batang	Daun
5	284,27	3,62	1,74

Dari hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi logam Cu pada akar lebih tinggi dibandingkan yang terdapat pada batang dan daun. Hal ini disebabkan pertama, karena tanaman melakukan lokalisasi logam dengan menimbun logam pada organ akar untuk mencegah peracunan logam terhadap sel. Tumbuhan mempunyai mekanisme detoksifikasi agar tidak menghambat metabolisme (Collins, 1999). Kedua, karena di dalam fitoremediasi, tanaman eceng gondok termasuk dalam golongan tumbuhan rizofiltrasi. Rizofiltrasi adalah pemanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap, mendegradasi dan mengakumulasi bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik. Sehingga logam yang diserap oleh tanaman cenderung terakumulasi di akar.

Mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yang berkesinambungan, yaitu penyerapan 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. Penyerapan oleh akar, tumbuhan membentuk suatu zat khelat. Mekanisme penyerapan logam lewat pembentukan suatu zat khelat disebut fitosiderofor. Molekul fitosiderofor yang terbentuk ini akan mengikat (mengkhelat) logam dan membawanya ke dalam sel akar melalui peristiwa transport aktif. Fitosiderofor dapat mengikat logam seperti besi (Fe), seng (Zn), tembaga (Cu) dan Mangan (Mn). Translokasi di dalam tubuh tumbuhan berupa logam dibawa masuk ke dalam sel akar, selanjutnya logam harus diangkut melalui jaringan pengangkut, yaitu xilem dan floem, ke bagian tumbuhan lain. Lokalisasi logam pada jaringan untuk mencegah peracunan logam terhadap sel, maka tumbuhan akan melakukan mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar (Priyanto dan Prayitno, 2004).

5.5. Fitotoksin logam Cu

5.5.1. Pengaruh konsentrasi awal

5.5.1.1. Pengaruh pemberian konsentrasi tinggi

Dalam penelitian ini, optimasi dilakukan terlebih dahulu terhadap variabel yang digunakan. Untuk variabel konsentrasi awal, konsentrasi logam Cu yang digunakan adalah 75 ppm dan 35 ppm dalam 2 L media. Logam Cu ditambahkan pada hari ke-8. Sebelum ditambahkan logam semua tanaman pada media nampak segar, daunnya hijau dan berukuran besar. Demikian juga dengan akar, rambut-rambut akar panjang berwarna kecoklatan dan berkembang dengan baik. Namun, 1 hari setelah pemberian logam, kondisi tanaman yang diberi konsentrasi 75 ppm

tampak daunnya mengering dan batang yang membusuk. Akarnya berwarna kehitaman. Sedangkan tanaman yang diberi konsentrasi 35 ppm terjadi perubahan pada hari ke-2 setelah penambahan logam, tunas tampak layu dan pertumbuhannya berhenti. Daun yang sudah tua mengering serta batangnya membusuk. Sementara pada tanaman kontrol belum terjadi perubahan. Secara umum pada penanaman selain kontrol tampak pengaruh logam Cu sesuai dengan tingginya konsentrasi yang diberikan. Semakin tinggi konsentrasi Cu yang diberikan, semakin cepat terlihat pengaruhnya terhadap eceng gondok, yaitu terlihat terutama melalui layunya daun dan membusuknya batang. Untuk kontrol sampai hari terakhir pengamatan kondisinya masih baik. Pengaruh pemberian logam pada konsentrasi tinggi ditunjukkan pada gambar 14.



Gambar 14. Tanaman eceng gondok pada konsentrasi 35 ppm

Mekanisme yang penting dari toksisitas logam ini adalah peracunan pada enzim. Di sini logam mengikat gugus-gugus amino dan sulfhidril di dalam enzim tersebut. Akibatnya kerja enzim pada tubuh tanaman akan terganggu dan hal ini mempengaruhi juga pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Semakin tinggi kadar ion-ion logam yang masuk ke dalam tanaman, semakin tinggi pula

jumlah enzim-enzim yang kerjanya terganggu di dalam tubuh tanaman tersebut. Hal ini berarti semakin menghambat perkembangan dan pertumbuhan tanaman (Bowen, 1966).

5.5.1.2. Pengaruh pemberian konsentrasi rendah

Kemudian konsentrasi logam Cu yang digunakan diturunkan menjadi 15 ppm dan 5 ppm. Logam ditambahkan pada hari ke-8, setelah 7 hari diadaptasikan dengan larutan hoagland. Pada awalnya dengan konsentrasi tersebut daunnya segar bahkan tumbuh tunas-tunas baru. Sampai hari ke-7 kontak dengan logam tidak terjadi perubahan pada kedua konsentrasi tersebut. Daun masih nampak segar, akar tumbuh lebat belum berkurang dari keadaan sebelumnya. Pada hari ke-14 kontak dengan logam perubahan morfologi tanaman mulai jelas terlihat pada konsentrasi 15 ppm kondisi daun pada batang yang tua sebagian sudah mulai menguning dan ujungnya mengerut. Pada konsentrasi 5 ppm kondisi daun yang sudah tua menguning namun terlihat tumbuh tunas dan stolon baru pada kedua konsentrasi tersebut. Pada hari ke-21 kontak dengan logam menunjukkan adanya perubahan morfologi dari kedua konsentrasi tersebut. Pada konsentrasi 5 ppm kondisi daun tua mengering. Sedangkan pada konsentrasi 15 ppm daun dan batang yang sudah tua mengering dan nampak gugur. Pada akar tampak bulu-bulu akar rontok. Namun tumbuh tunas dan stolon baru pada kedua konsentrasi tersebut, akar-akarnya mulai tumbuh berwarna putih. Dari hasil pengamatan dapat dikatakan bahwa logam Cu dengan konsentrasi lebih dari 15 ppm ternyata menghambat pertumbuhan eceng gondok.



(a)

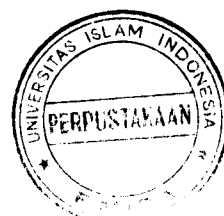
(b)

Gambar 15.a. Konsentrasi logam Cu 5 ppm dan 15 ppm pada waktu kontak 14 hari

Gambar 15.b. Konsentasi logam Cu 5 ppm dan 15 ppm pada waktu kontak 21 hari

5.5.2. Pengaruh pH

Untuk variabel pH larutan, pada awalnya variasi pH yang digunakan 5, 7 dan 9 dengan menggunakan buffer asetat. Perubahan morfologi tanaman mulai jelas terlihat sejak logam Cu dan buffer asetat ditambahkan ke dalam media. Sebelum adanya buffer dan logam Cu kondisi tanaman baik. Daun tampak hijau, segar dan berukuran besar. Akar berwarna kecoklatan dan berkembang dengan baik. Begitu pula dengan tunas-tunasnya berwarna hijau. Pada pH 5, hari ke-6 setelah pemberian logam daun tua tampak layu, mengering, dan tunas-tunas tidak dapat berkembang dengan baik, akhirnya menggulung dan terhenti pertumbuhannya. Pengaruh pemberian logam Cu pada pH 5 menggunakan buffer asetat ditunjukkan pada gambar 16 di bawah ini :





Gambar 16. Kondisi tanaman pada konsentrasi 15 ppm dan pH 5 menggunakan buffer asetat

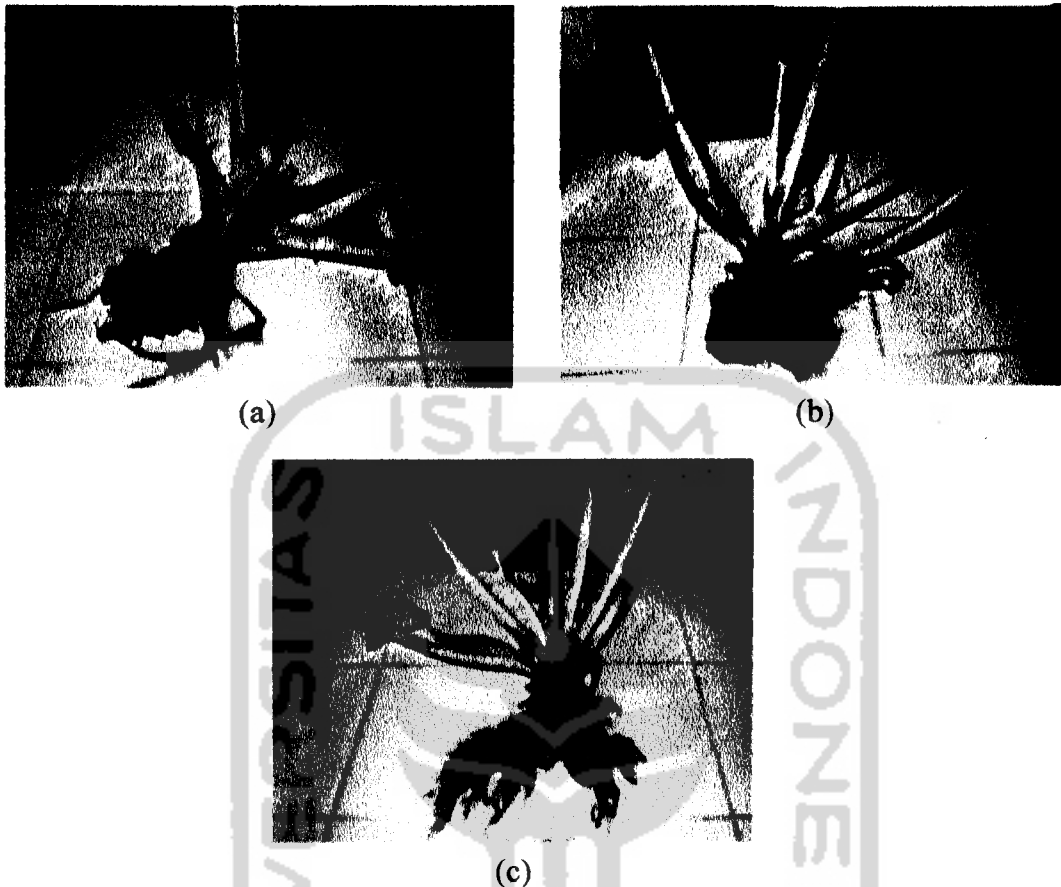
Hal yang sama juga terjadi pada pH 9 setelah waktu kontak 12 hari. Terlihat pada perubahan morfologinya, daun-daun tua layu kecoklatan dan membusuk. Pada daun yang berwarna hijau terlihat lebih pucat dan ujungnya agak layu. Akar-akarnya rontok dan berwarna kehitaman. Kuncup daun tidak dapat berkembang dengan baik dan akhirnya rata-rata daun menggulung dan sudah kehilangan klorofilnya. Karena bulu-bulu akar yang rontok dan daun yang cepat layu, maka proses penyerapan zat hara dan kegiatan fotosintesis terganggu. Pengaruh pemberian logam ditunjukkan pada gambar 17. Rusaknya morfologi tanaman diduga akibat buffer asetat yang digunakan tidak cocok untuk nutrisi tanaman.



Gambar 17. Kondisi tanaman pada konsentrasi 15 ppm dan pH 9 menggunakan buffer asetat

Kebanyakan tumbuhan, hewan dan organisme lainnya tidak akan hidup terus pada air dengan pH di bawah 5 (asam) dan di atas 9 (basa). pH yang tidak sesuai dengan kondisi normal kehidupan tumbuhan akan menyebabkan unsur-unsur hara mikro sukar larut. Akibatnya tumbuhan sukar mendapatkan unsur-unsur tersebut, dan akan mengalami gejala defisiensi unsur mikro seperti klorosis, gugurnya daun, terganggunya pertumbuhan tanaman karena enzim serta proses oksidasi reduksi di dalam sel tanaman terganggu (Dwidjoseputro, 1986).

Kemudian digunakan buffer fosfat dengan konsentrasi 15 ppm pada pH 6, 7 dan 8 dan waktu kontak 14 hari. Perubahan morfologi tanaman terlihat setelah waktu kontak 14 hari. Daun yang sudah tua mengering dan berwarna coklat serta tumbuh tunas-tunas baru. Secara umum tidak terjadi perbedaan mendasar pada media masing-masing pH. Terlihat bahwa pada pH tersebut masing-masing tanaman tumbuh dengan baik seperti ditunjukkan pada gambar 18 di bawah ini :



Gambar 18.a. Konsentrasi logam Cu 15 ppm, waktu kontak 14 hari pada pH 6
 Gambar 18.b. Konsentrasi logam Cu 15 ppm, waktu kontak 14 hari pada pH 7
 Gambar 18.c. Konsentrasi logam Cu 15 ppm, waktu kontak 14 hari pada pH 8

5.5.3. Efek Kompetitif

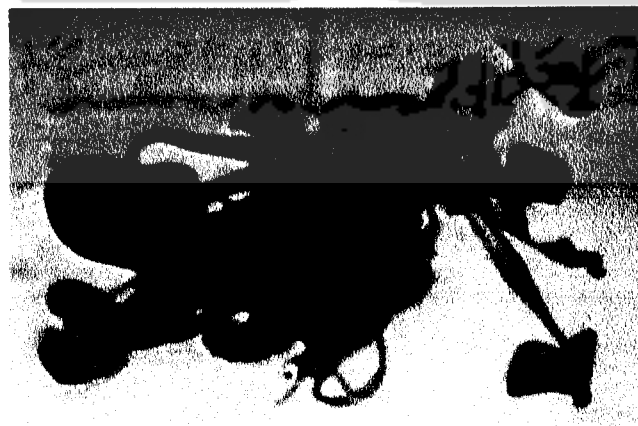
Untuk variabel efek kompetitif, digunakan campuran konsentrasi logam Cu 35 ppm dan logam Zn 35 ppm dalam 1 media. Pada waktu kontak 6 hari, morfologi tanaman mulai tampak jelas perubahannya. Daun yang sudah tua maupun tunas-tunasnya mengering dan layu bahkan ada yang membusuk. Rambut-rambut akar rontok dan berwarna kehitaman. Bisa dikatakan bahwa tanaman tersebut sudah terhenti pertumbuhannya seperti yang ditunjukkan pada gambar 19.



Gambar 19. Kondisi tanaman pada konsentrasi logam Cu 35 ppm dan Zn 35 ppm

Gejala khas toksisitas logam adalah “stunting” akar yang seringkali diikuti dengan terjadinya warna kecoklatan dan kematian meristem (Fitter dan Hay, 1991).

Hal yang sama juga terjadi pada media yang di dalamnya terdapat konsentrasi logam Cu 15 ppm dan Zn 15 ppm tanpa pengaturan pH. Tunas-tunas sudah berhenti pertumbuhannya daun-daun dan batang yang sudah tua juga membusuk. Tanda-tanda mati dengan memucatnya daun, gugur dan layu pada hari ke-14.



Gambar 20. Pengaruh pemberian logam Cu 15 ppm dan Zn 15 ppm tanpa pH

Kemudian dilakukan pengaturan pH terhadap logam Cu dan Zn. pH yang digunakan adalah pH 7 dengan konsentrasi 15 ppm pada masing-masing logam. Morfologi tanaman tidak mengalami perubahan yang signifikan sampai pada waktu kontak 14 hari dan bahkan tumbuh tunas-tunas yang baru seperti yang ditunjukkan pada gambar 21. Dengan demikian pengaturan pH berpengaruh terhadap kemampuan daya serap kedua logam oleh tanaman eceng gondok.



Gambar 21. Kondisi tanaman pada konsentrasi logam Cu dan Zn 15 ppm pada pH 7

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada data hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan dalam bab terdahulu dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kadar logam Cu pada konsentrasi 15 ppm dan waktu kontak 14 hari merupakan kondisi optimum logam Cu. Kadar yang didapatkan ($581,40 \pm 1,968$). Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi awal logam dan waktu kontak berpengaruh terhadap penyerapan logam oleh tanaman eceng gondok.
2. Kondisi penyerapan optimum logam Cu adalah pada pH 7 dibandingkan pada pH 6 dan pH 8. Akan tetapi dengan adanya pengaturan pH menurunkan jumlah penyerapan logam. Kadar logam Cu yang diperoleh tanpa pengaturan pH ($581,40 \pm 1,968$) sedangkan kadar logam Cu dengan pengaturan pH ($442,895 \pm 4,806$). Hal ini menunjukkan bahwa pengaturan pH berpengaruh terhadap kemampuan penyerapan logam oleh tanaman eceng gondok.
3. Pengaruh antar logam menunjukkan bahwa dengan adanya logam Zn sebagai logam pengganggu dapat menurunkan penyerapan logam Cu oleh tanaman. Kadar logam Cu yang diperoleh apabila tanpa logam pengganggu ($442,775 \pm 3,185$) sedangkan kadar logam Cu yang diperoleh dengan penambahan logam pengganggu ($340,775 \pm 3,185$). Dapat dikatakan bahwa terjadi efek kompetitif antar logam Cu dan Logam Zn.

4. Logam Cu dalam akar memberikan hasil analisis lebih tinggi dari pada kadar logam Cu dalam batang dan daun. Kadar yang didapatkan dalam akar ($284,274 \pm 1,156$) sedangkan dalam batang ($3,621 \pm 0,043$) dan didalam daun ($1,737 \pm 0$).

6.2 Saran

Untuk melengkapi penelitian ini perlu diteliti lebih lanjut mengenai:

1. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut tentang kadar Cu di air sebagai media tumbuh eceng gondok yang dianalisis agar diketahui jumlah logam yang terserap maupun yang tertinggal.
2. Perlu diteliti lebih lanjut kemampuan penyerapan eceng gondok terhadap limbah logam berat lainnya maupun senyawa organik, sehingga dapat digunakan sebagai pengolah limbah yang cukup aman dan efisien.

BAB VII

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmady, D., 1993, *Efektivitas Penyerapan Hg dan Pengaruhnya Pada Eceng Gondok*, Skripsi, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta.
- Asiyatun, S., 1993, *Toksisitas Limbah Pabrik Baja Lapis Seng P.T. Semarang Makmur, Semarang, Terhadap Ikan Tombro (Cyprinus carpiol.) Dengan Perlakuan Eceng Gondok (Eichhornia crassipes)*, Skripsi, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta.
- Boyd, 1990, *Water Quality in Ponds for Aquacultural Experimental Station*, Auburn University, Alabama.
- Bowen, H.J.M., 1996, *Trace Elements in Biochemistry*, Academic Press, London.
- Carasek Eduardo, Wick Tonjes J., Scharf M., 2002, *A New Method of Microvolume Back-Extraction Procedure For Enrichment of Pb and Cd and Determinatin By Flame Atomic Absorption Spectrometry*, *Talanta* 56 (2002) 185-191.
- Collins, C.D., 1999, *Strategis for Minimizing Environmental Contaminans*, trends, plants sci. 445.
- Connel, W., Des and Miller, J., Gregory, 1984, *Chemistry and Ecotoxicology of Pollution*, A Willey Interscience Publication, New York.
- Darmono, 1995, *Logam Dalam Sistem Biologi Mahkluk Hidup*, UI Press, Jakarta.
- Day, Jr. R.A. and Underwood, A.L., 1986, *Analisa Kimia Kuantitatif*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Dwidjoseputro, D., 1986, *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*, PT. Gramedia, Jakarta.
- Eriawan, 2001, *Fitoremediasi Teknologi Pengolah Limbah Alternatif*, http://www.terranet.or.id/goto_berita.php?id=3241 (diakses pada tanggal 3 Januari 2004).
- Falah Sirojul, 2004, *Eceng Gondok, Gulma Sahabat Manusia?*, <http://www.pikiranrakyat.com/cetak/0903/28/1001.htm> (Diakses pada tanggal 1 Agustus 2004).
- Fairbridge, R.W. and Finkl, Jr. C.W., 1996, *The Encyclopedia of Soil Science part 1*, Dowden, Hutchinson and Ross inc., p. 388

- Fairbridge, R.W. and Finkl, Jr. C.W., 1996, *The Encyclopedia of Soil Science part 1*, Dowden, Hutchinson and Ross inc., p. 388
- Farida Herawati, E., 1986, *Peranan Eceng Gondok Dalam Pembersihan Air Limbah Unit Pulp dan Soda Pabrik P.N. Bablak Magelang dan Perubahan Anatominya Setelah Perlakuan*, Skripsi, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta.
- Fitter, A.H. and R.K.M. Hay, 1991, *Fisiologi Lingkungan Tanaman*, Gadjah Mada University Press, Jogjakarta.
- Hasim, 2000, *Eceng Gondok Pembersih Polutan Logam Berat*, <http://www.kompas.com/kompascetak/0307/02/inspirasi/404854.htm> (diakses pada tanggal 20 Oktober 2003).
- Jamil, J., and Parkash, 1993, *Eichhornia crassipes (Mart.) Solms: A New Biosystem For Metal Pollutin Removal From Aquatic Environmen*, in P rakas., Ram (Eds.), 1993, *Man, Science and Environmen*, Ashish Publish.
- Khopkar, S.M., 1990, *Konsep Dasar Kimia Analitik*, Edisi ke-2, UII Press, Jogjakarta.
- Mailman, R.B., 1980, *Heavy Metals*, dalam F.C. Guthrie and jj. Perry (Eds) *Introductions to Environmental Toxicologi*, Elsvier north Holland, inc. N.y.
- Mawardi, 1997, *Biosorpsi Timbal oleh Biomassa Saccharomyces Cerevisiae*, Thesis, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Gadjah Mada.
- Mudasir, 2003, *Hand Out Pelatihan Instrumentasi Kimia (Spektrofotometri Serapan Atom)*, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta.
- Narsito, 1992, *Dasar-Dasar Spektrofotometri Serapan Atom*, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta.
- Palar, 1994, *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, penerbit Rineka Cipta, Jakarta.
- Priyanto Budhi dan Prayitno Joko, 2004, *Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat*, <http://www.ltl,bppt.tripod.com/sublab/lfloral.htm> (Diakses pada tanggal 1 Agustus 2004).

- Rini Daru S., 2001, *Mangrove Jenis api-api Alternatif Pengendalian Pencemaran Logam Berat Pesisir*, <http://www.pikiranrakyat.com/cetak/0903/28/1001.htm> (Diakses pada tanggal 1 Agustus 2004).
- Robinson R.A. dan Stokes R.H., 1986, *Electrolyte Solutions, The Measurement and Interpretation of Conductance, Chemical Potential, and Diffusion in Solutions of simple electrolyte*, 2nd e.d, rev. London.
- Rusmiyanto, E., 1998, *Pemanfaatan Eceng Gondok dalam Perbaikan Kualitas Limbah Cair RSUP Sardjito*, Skripsi, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta.
- 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.
- Supradata, 1992, *Peningkatan Kualitas Air Limbah Pabrik Baja P.T. Krakatau Steel Cilegon, Jawa Barat Menggunakan Eceng Gondok dan Kayu Apu*, Skripsi, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada.
- Wang, J. and V.P Evangeloe, 1995, *Metal Tolerance Aspect of Plant cell wall and Vacuole*, Dalam Pessarkli, M., *Handbook of Plant and Crop Phisiology*, Marcel Dekker, Inc. Madison Avenue, New York.
- Widyanto, L.S., 1981, *Eceng Gondok Sebagai Penyerap Air*, Tropicall pest Biology Program, SEAMEO – BIOTROP, Bogor
- Yuliawati, E., 1995, *Pengaruh Limbah Pabrik Cat Sebelum dan Setelah Perlakuan dengan Eceng Gondok Terhadap Pertumbuhan Kacang Hijau*, Skripsi, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta.



Lampiran

Lampiran 1. Pembuatan larutan-larutan kerja

1.1. Pembuatan larutan buffer fosfat

a. Pembuatan 100 ml 0,1 M KH_2PO_4

$$\begin{aligned} 0,1 \text{ M} &= 0,1 \text{ mol/L} = 0,1 \frac{\text{g/Mr}}{\text{L}} \\ &= 0,1 \frac{\text{g}/136}{\text{L}} \\ &= 13,6 \text{ g/L} \\ &= 1,36 \text{ g/100 ml} \longrightarrow 1 \text{ L media} \end{aligned}$$

b. Pembuatan 200 ml NaOH 1 M

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

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

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

$$\text{g} = \text{mol} \times \text{Mr} = 0,2 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol} = 8 \text{ g}$$

8 g NaOH dilarutkan dengan aquades hingga volume 200 ml

NaOH 1 M akan diturunkan menjadi 0,1 M

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

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

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

50 ml NaOH 1 M ditambahkan aquades hingga 500 ml

Tabel 1. Volume NaOH yang digunakan pada pH 6, 7 dan 8

pH	Volume NaOH (ml)
6	11,2
7	58,2
8	93,4

1.2. Pembuatan larutan Cu induk 1000 ppm

Diketahui :

$$\text{Berat jenis HNO}_3 = 1,40 \text{ g/ml}$$

$$\% \text{ HNO}_3 = 65\%$$

$$\text{BM HNO}_3 = 63 \text{ g/mol}$$

$$\text{Berat jenis} = \text{massa} / \text{volume}$$

$$\text{Massa larutan} = \text{berat jenis} \times \text{volume}$$

$$= 1,40 \text{ g/ml} \times 1000 \text{ ml}$$

$$= 1400 \text{ g}$$

$$\text{massa zat terlarut} = \% \text{ massa} \times \text{massa larutan}$$

$$= 65\% \times 1400 \text{ g}$$

$$= 910 \text{ g}$$

$$M = \text{mol/L} \longrightarrow \text{mol} = \text{g/BM}$$

$$= \frac{910 \text{ g}}{63 \text{ g/mol}} = 14,44 \text{ mol}$$

$$M = 14,44 \text{ mol/l L} = 14,44 \text{ M}$$

$$N = M \times \text{valensi}$$

$$= 14,44 \times 1 = 14,44 \text{ N}$$

$$\text{HNO}_3 \text{ } 14,44 \text{ M} \longrightarrow 0,1 \text{ M}$$

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

$$V_1 \times 14,44 \text{ M} = 1 \text{ L} \times 0,1 \text{ M}$$

$$V_1 = 6,92 \times 10^{-3} \text{ L} = 6,92 \text{ ml}$$



1.4. Pembuatan Larutan standar logam Cu

Larutan standar logam Cu spektrosol 1000 ppm dibuat menjadi 100 ppm dalam labu ukur 25 ml.

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

$$V_1 \cdot 1000 \text{ ppm} = 25 \text{ ml} \cdot 100 \text{ ppm}$$

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

Standar 100 ppm dibuat menjadi 2,5; 5,0; 7,5 dan 10,0 ppm dalam labu ukur 25 ml, maka :

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

$$V_1 \cdot 100 \text{ ppm} = 25 \text{ ml} \cdot 2,5 \text{ ppm}$$

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

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

$$V_1 \cdot 100 \text{ ppm} = 25 \text{ ml} \cdot 5 \text{ ppm}$$

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

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

$$V_1 \cdot 100 \text{ ppm} = 25 \text{ ml} \cdot 7,5 \text{ ppm}$$

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

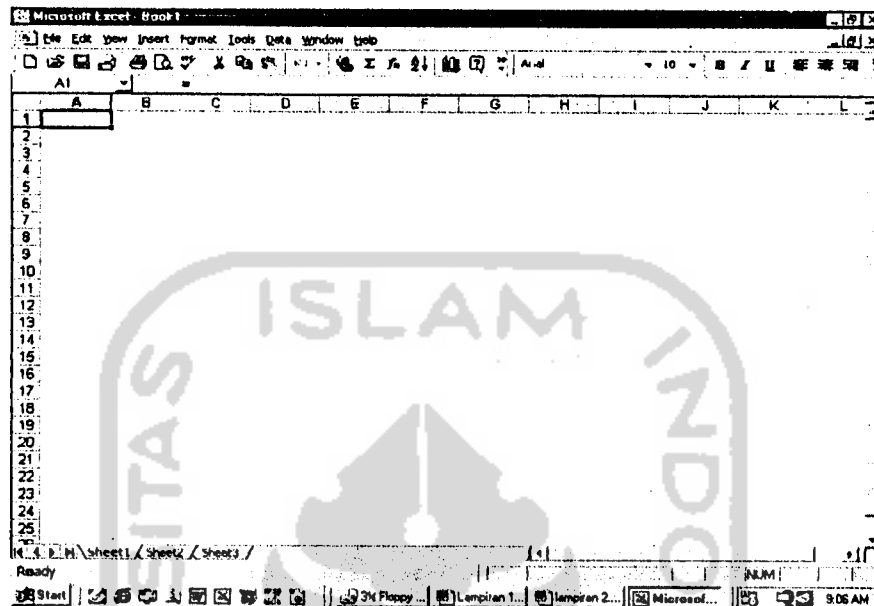
d. $V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$

$$V_1 \cdot 100 \text{ ppm} = 25 \text{ ml} \cdot 10 \text{ ppm}$$

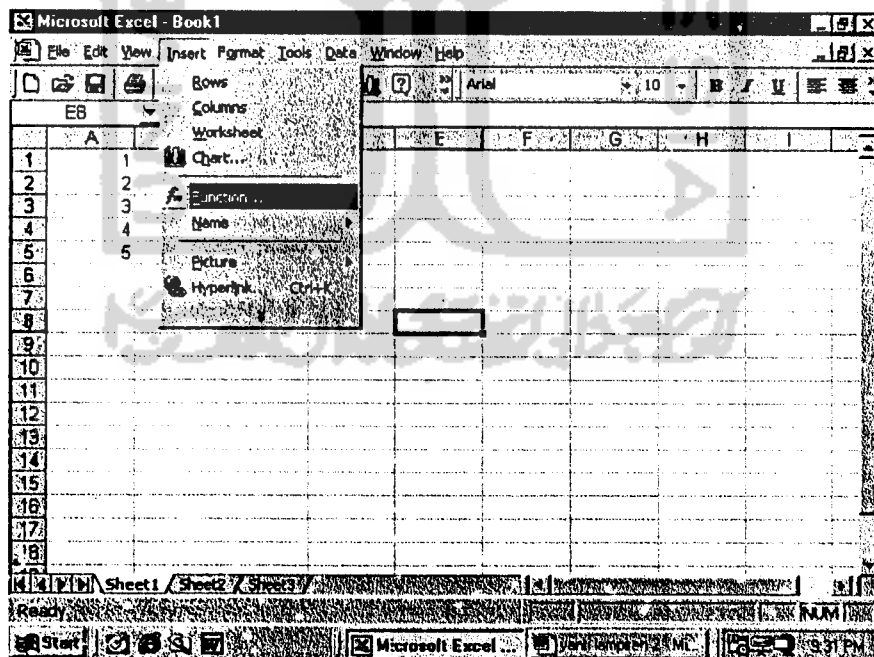
$$V_1 = 2,5 \text{ ml}$$

Lampiran 2. Langkah-langkah penentuan slope, intersep, dan koefisien korelasi dengan menggunakan program Microsoft Excel

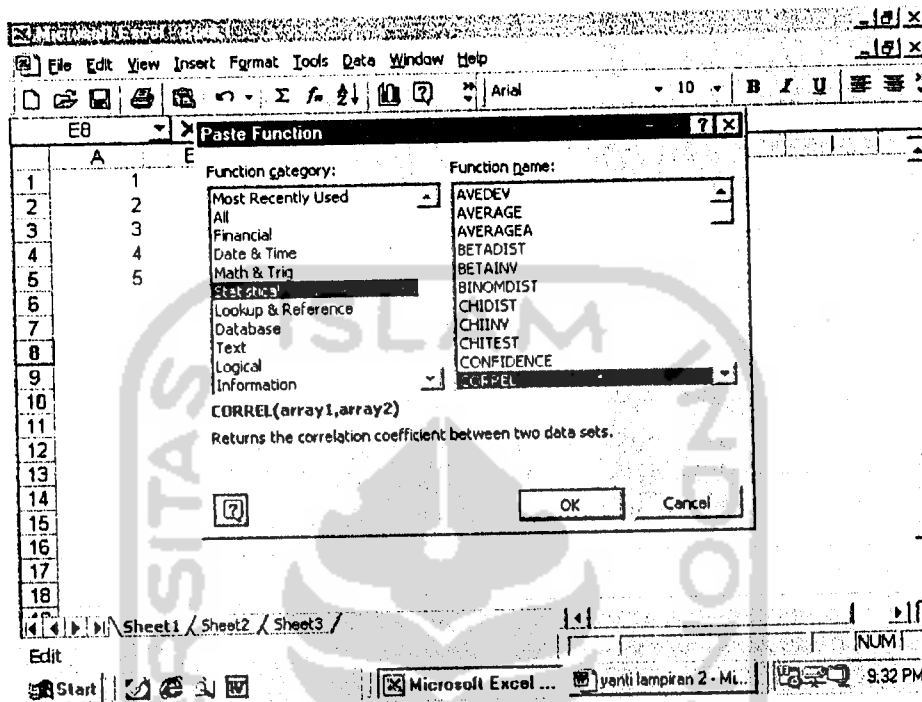
1. Klik start, lalu pilih menu program Microsoft excel.



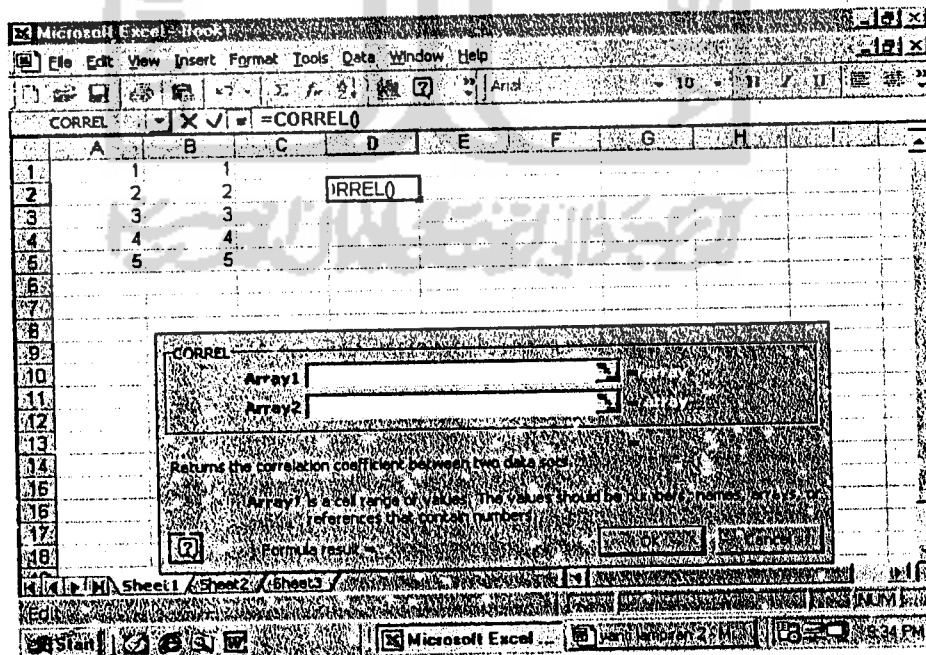
2. Klik insert, pilih menu function



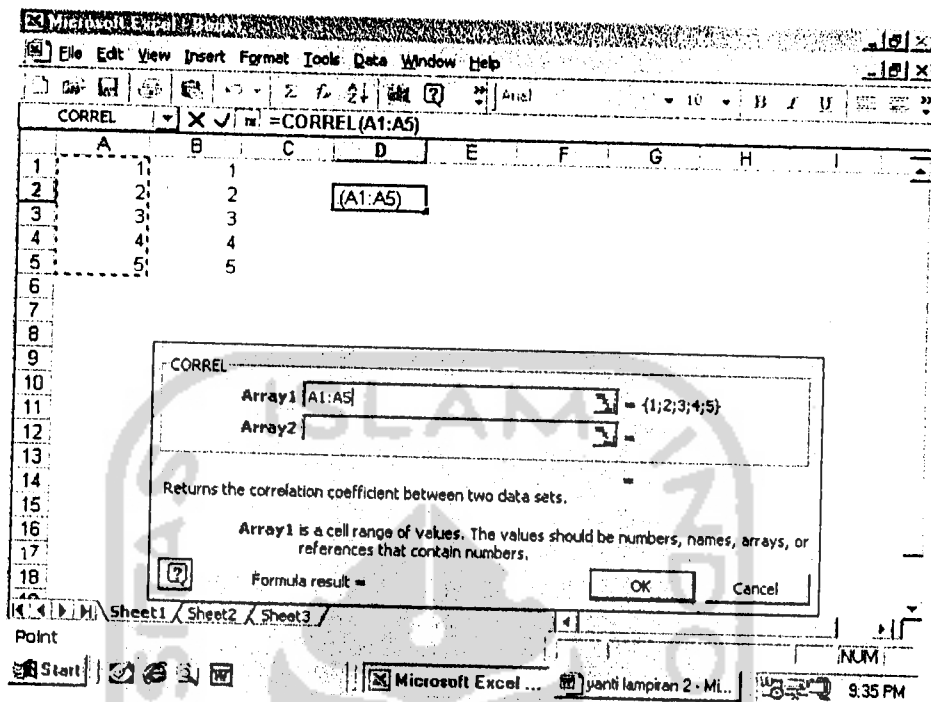
3. Pilih kategori statistik dan klik **correl** pada kolom kanan untuk menentukan korelasi, lalu klik **OK**.



4. Setelah layar di bawah ini muncul, isi data A dan B pada kolom array 1 dan array 2



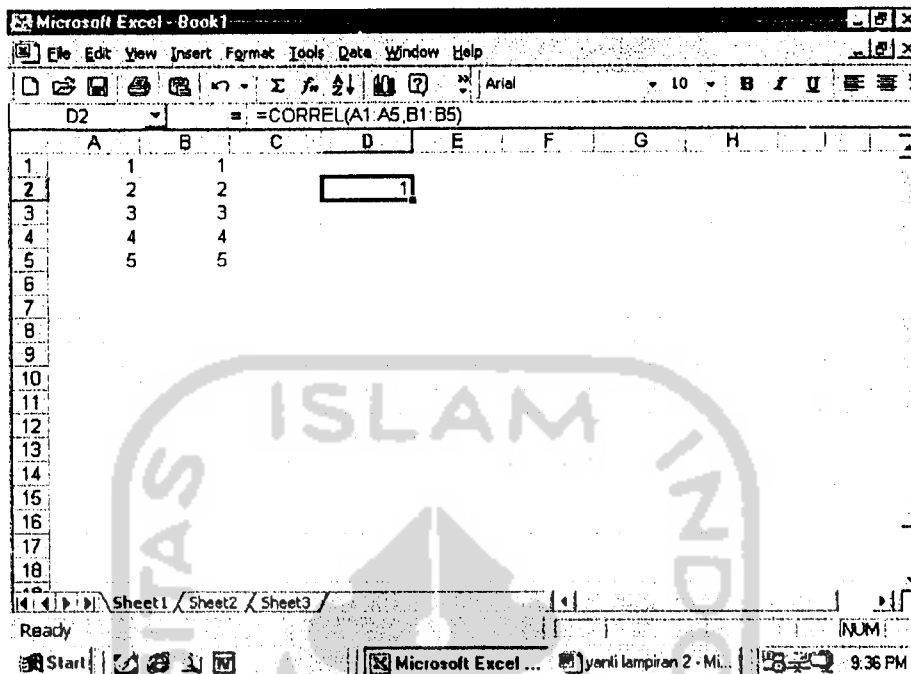
5. Isi data pada kolom array 1 dengan memblok data pada kolom A



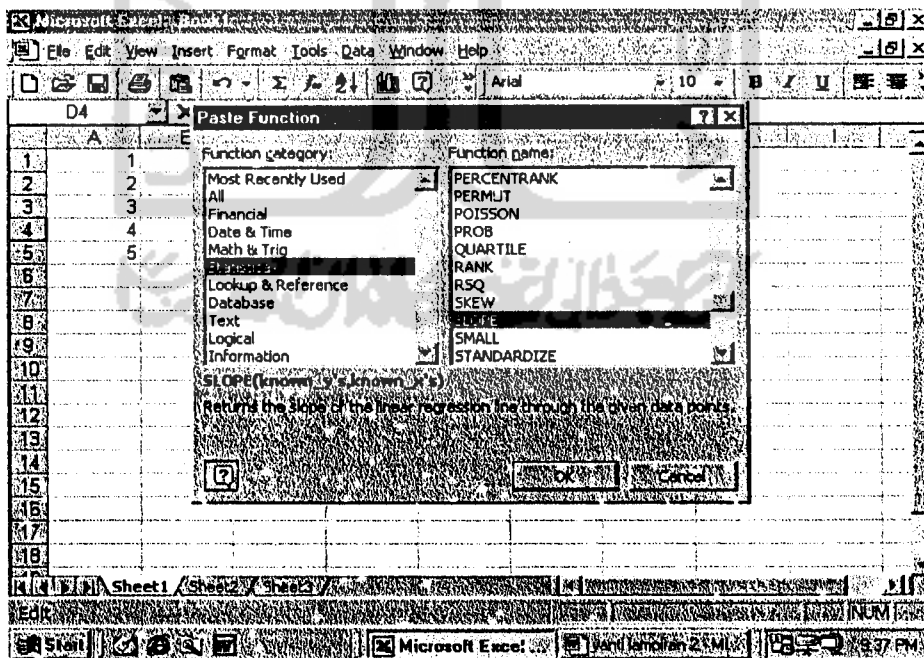
6. Isi data pada kolom array 2 dengan memblok data pada kolom B, lalu klik OK



7. Hasil dari langkah 1 sampai 6 adalah gambar di bawah ini ;



8. Untuk menentukan nilai slop, langkah yang digunakan sama dengan pada penentuan korelasi. Tetapi pada kategori statistik, yang di pilih adalah slope pada kolom kanan.



Lampiran 3. Rumus perhitungan kadar logam Cu untuk tiap-tiap variabel

Kadar unsur dalam cuplikan dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Kadar unsur} = \frac{\text{C regresi} \times V}{g}$$

Keterangan :

C regresi = konsentrasi rata-rata unsur yang diperoleh dari kurva kalibrasi standar

V = Volume larutan sampel (ml)

g = berat sampel (g)

$$\% \text{ kadar unsur dalam bagian tanaman} = \frac{\text{kadar unsur}}{\text{konsentrasi } (\mu\text{g})} \times 100\%$$

Konsentrasi 15 ppm = 15 $\mu\text{g/ml}$ (dalam 2 L media)

$$= 15 \mu\text{g/ml} \times 2000 \text{ ml}$$

$$= 30000 \mu\text{g}$$

Konsentrasi 5 ppm = 5 $\mu\text{g/ml}$ (dalam 2 L media)

$$= 5 \mu\text{g/ml} \times 2000 \text{ ml}$$

$$= 10000 \mu\text{g}$$

Lampiran 4. Perhitungan kadar logam Cu untuk variabel akumulasi logam Cu pada morfologi tanaman

4.1. Pembuatan kurva standar logam Cu

Tabel 3. Absorbansi larutan standar Cu pada berbagai konsentrasi untuk variabel akumulasi logam Cu pada morfologi tanaman

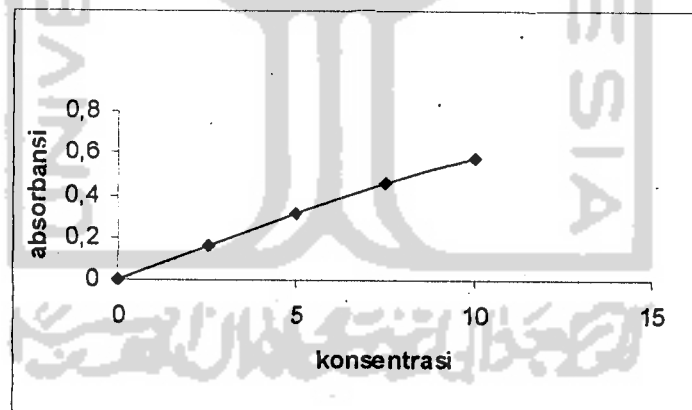
Konsentrasi logam Cu (ppm)	Absorbansi
0	0,000
2,5	0,163
5,0	0,317
7,5	0,459
10,0	0,577

Dengan program regresi linear menggunakan Microsoft excel, diperoleh :

$$\text{Korelasi} = r = 0,99818$$

$$\text{Slop} = b = 0,058$$

$$\text{Intersep} = a = 0,0132$$



Gambar 5. Kurva standar Cu untuk variabel akumulasi logam pada morfologi tanaman

Sehingga diperoleh persamaan kurva standar sebagai berikut :

$$Y = bX + a$$

$$Y = 0,058X + 0,0132 \dots \dots \dots (1)$$

4.2. Kadar logam Cu 5 ppm pada akar, batang dan daun dengan waktu kontak 21 hari

Tabel 4. Hasil pengukuran logam Cu pada morfologi tanaman menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom

Morfologi tanaman	Hasil pengukuran ($\mu\text{g/ml}$)		
	I	II	III
Akar	47,03	47,89	47,21
Batang	0,74	0,76	0,72
Daun	0,07	0,07	0,07

a. Kadar logam Cu dalam akar

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi rata-rata} &= \frac{47,03 + 47,89 + 47,21}{3} \\ &= 47,38 \pm 1,16 \mu\text{g/ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cu dalam akar} &= \frac{47,38 \mu\text{g/ml} \times 60\text{ml}}{10 \text{ g}} \\ &= 284,27 \mu\text{g/g berat basah} \end{aligned}$$

$$\% \text{ Kadar logam Cu dalam akar} = \frac{284,27 \mu\text{g/g}}{10000 \mu\text{g}} \times 100\% = 2,84\%$$

b. Kadar logam Cu dalam batang

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi rata-rata} &= \frac{0,74 + 0,76 + 0,72}{3} \\ &= 0,74 \pm 0,04 \mu\text{g/ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cu dalam batang} &= \frac{0,74 \mu\text{g/ml} \times 60 \text{ ml}}{12,23 \text{ g}} \\ &= 3,62 \mu\text{g/g berat basah} \end{aligned}$$

$$\% \text{ Kadar logam Cu dalam batang} = \frac{3,62 \mu\text{g/g}}{10000 \mu\text{g}} \times 100\% = 0,04\%$$

c. Kadar logam Cu dalam daun

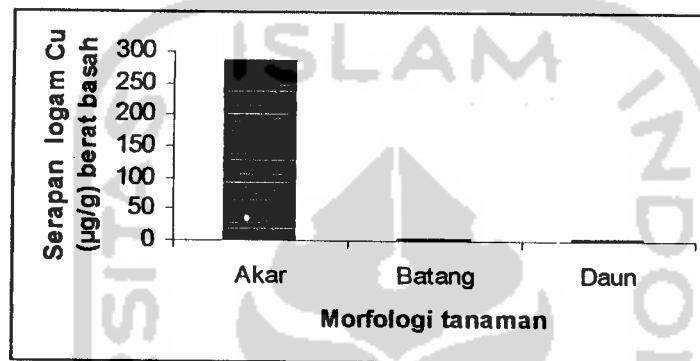
$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi rata-rata} &= \frac{0,07 + 0,07 + 0,07}{3} \\ &= 0,07 \mu\text{g/ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cu dalam daun} &= \frac{0,07 \mu\text{g/ml} \times 60 \text{ ml}}{2,28 \text{ g}} \\ &= 1,74 \mu\text{g/g berat basah} \end{aligned}$$

$$\% \text{ Kadar logam Cu dalam daun} = \frac{1,74 \mu\text{g/g}}{10000 \mu\text{g}} \times 100\% = 0,02\%$$

Tabel 5. Hasil analisis konsentrasi logam Cu pada akar, batang dan daun

Pemberian logam Cu (ppm)	Serapan logam Cu ($\mu\text{g/g}$) berat basah		
	Akar	Batang	Daun
5	284,27	3,62	1,74



Gambar 6. Serapan logam Cu pada morfologi tanaman

Lampiran 5. Perhitungan kadar logam Cu untuk variabel konsentrasi awal logam

5.1. Pembuatan Kurva Standar Logam Cu

Tabel 6. Absorbansi larutan standar Cu pada berbagai konsentrasi untuk variabel konsentrasi awal logam Cu

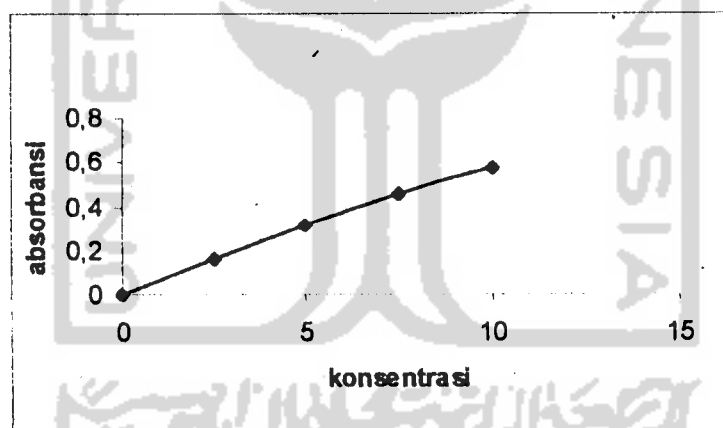
Konsentrasi logam Cu (ppm)	Absorbansi
0	0,000
2,5	0,163
5,0	0,317
7,5	0,459
10,0	0,577

Dengan program regresi linear menggunakan Microsoft excel, diperoleh :

$$\text{Korelasi} = r = 0,99818$$

$$\text{Slop} = b = 0,058$$

$$\text{Intersep} = a = 0,0132$$



Gambar 7. Kurva standar Logam Cu untuk variabel konsentrasi awal

Sehingga diperoleh persamaan kurva standar sebagai berikut :

$$Y = bX + a$$

$$Y = 0,058X + 0,0132 \dots \dots \dots (2)$$

5.2. Kadar logam Cu konsentrasi 5 ppm dan 15 ppm pada variasi waktu kontak 7, 14 dan 21 hari

Tabel 7. Hasil pengukuran logam Cu untuk variabel konsentrasi awal logam Cu menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom

No	Konsentrasi sampel dan waktu kontak	Hasil pengukuran		
		I	II	III
1	Blanko	0,01	0,01	0,03
2	5 ppm, 7 hari	37,03	36,17	35,83
3	5 ppm, 14 hari	48,76	49,28	48,41
4	5 ppm, 21 hari	47,03	47,89	47,21
5	15 ppm, 7 hari	35,83	36,35	35,48
6	15 ppm, 14 hari	96,86	96,17	97,72
7	15 ppm, 21 hari	49,97	50,66	49,62

a. Blanko

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi rata-rata} &= \frac{0,01 + 0,01 + 0,03}{3} \\ &= 0,02 \pm 0,09 \mu\text{g/ml} \\ \text{Kadar logam Cu dalam akar} &= \frac{0,02 \mu\text{g/ml} \times 60 \text{ ml}}{10 \text{ g}} \\ &= 0,11 \mu\text{g/g berat basah} \end{aligned}$$

b. Kadar logam Cu konsentrasi 5 ppm, waktu kontak 7 hari

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi rata-rata} &= \frac{37,03 + 36,17 + 35,83}{3} \\ &= 36,35 \pm 1,57 \mu\text{g/ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cu dalam akar} &= \frac{36,35 \mu\text{g/ml} \times 60\text{ml}}{10 \text{ g}} \\ &= 218,07 \mu\text{g/g berat basah} \end{aligned}$$

$$\% \text{ Kadar logam Cu dalam akar} = \frac{218,07 \mu\text{g/g}}{10000 \mu\text{g}} \times 100\% = 2,18\%$$

c. Kadar logam Cu konsentrasi 5 ppm, waktu kontak 14 hari

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi rata-rata} &= \frac{48,76 + 49,28 + 48,41}{3} \\ &= 48,82 \pm 1,09 \mu\text{g/ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cu dalam akar} &= \frac{48,82 \mu\text{g/ml} \times 60\text{ml}}{10 \text{ g}} \\ &= 292,89 \mu\text{g/g berat basah} \end{aligned}$$

$$\% \text{ Kadar logam Cu dalam akar} = \frac{292,89 \mu\text{g/g}}{10000 \mu\text{g}} \times 100\% = 2,92\%$$

d. Kadar logam Cu konsentrasi 5 ppm, waktu kontak 21 hari

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi rata-rata} &= \frac{47,03 + 47,89 + 47,21}{3} \\ &= 47,38 \pm 1,16 \mu\text{g/ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cu dalam akar} &= \frac{47,38 \mu\text{g/ml} \times 60\text{ml}}{10 \text{ g}} \\ &= 284,27 \mu\text{g/g berat basah} \end{aligned}$$

$$\% \text{ Kadar logam Cu dalam akar} = \frac{284,27 \mu\text{g/g}}{10000 \mu\text{g}} \times 100\% = 2,84\%$$

e. Kadar logam Cu konsentrasi 15 ppm, waktu kontak 7 hari

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi rata-rata} &= \frac{35,83 + 36,35 + 35,48}{3} \\ &= 35,89 \pm 1,09 \mu\text{g/ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cu dalam akar} &= \frac{35,89 \mu\text{g/ml} \times 60\text{ml}}{10 \text{ g}} \\ &= 215,31 \mu\text{g/g berat basah} \end{aligned}$$

$$\% \text{ Kadar logam Cu dalam akar} = \frac{215,31 \mu\text{g/g}}{30000 \mu\text{g}} \times 100\% = 0,71\%$$

f. Kadar logam Cu konsentrasi 15 ppm, waktu kontak 14 hari

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi rata-rata} &= \frac{96,86 + 96,17 + 97,72}{3} \\ &= 96,92 \pm 1,97 \mu\text{g/ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cu dalam akar} &= \frac{96,92 \mu\text{g/ml} \times 60\text{ml}}{10 \text{ g}} \\ &= 581,51 \mu\text{g/g berat basah} \end{aligned}$$

$$\% \text{ Kadar logam Cu dalam akar} = \frac{581,51 \mu\text{g/g}}{30000 \mu\text{g}} \times 100\% = 1,94\%$$

g. Kadar logam Cu konsentrasi 15 ppm, waktu kontak 21 hari

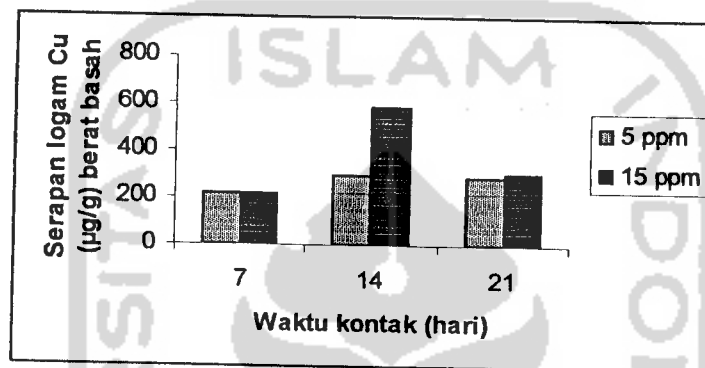
$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi rata-rata} &= \frac{49,97 + 50,66 + 49,62}{3} \\ &= 50,08 \pm 1,33 \mu\text{g/ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cu dalam akar} &= \frac{50,08 \mu\text{g/ml} \times 60\text{ml}}{10 \text{ g}} \\ &= 300,48 \mu\text{g/g berat basah} \end{aligned}$$

$$\% \text{ Kadar logam Cu dalam akar} = \frac{300,48 \mu\text{g/g}}{30000 \mu\text{g}} \times 100\% = 1,0\%$$

Tabel 8. Hasil analisis logam Cu pada waktu kontak 7, 14, 21 hari untuk variabel konsentrasi awal logamCu

Konsentrasi (ppm)	Serapan Logam Cu ($\mu\text{g/g}$) berat basah		
	7	14	21
5	218,07	292,89	284,27
15	215,31	581,51	300,48



Gambar 8. Pengaruh waktu kontak terhadap serapan logam Cu pada tanaman

Lampiran 6. Perhitungan kadar logam Cu untuk variabel pH larutan

6.1. Pembuatan kurva standar logam Cu

Tabel 9. Absorbansi larutan standar Cu pada berbagai konsentrasi untuk variabel pH larutan

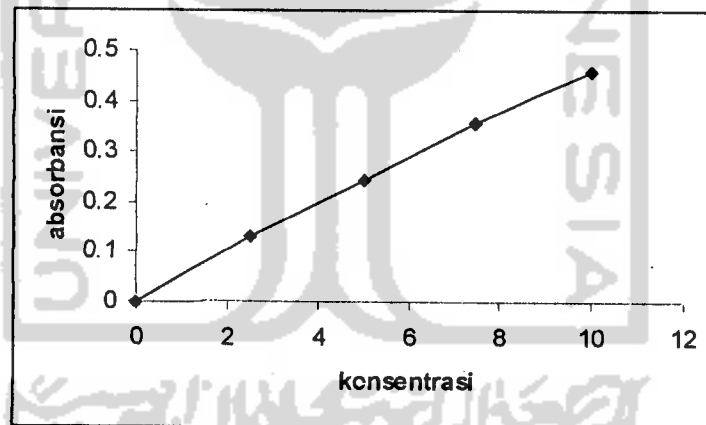
Konsentrasi logam Cu (ppm)	Absorbansi
0	0,000
2,5	0,132
5,0	0,245
7,5	0,359
10,0	0,460

Dengan program regresi linear menggunakan Microsoft excel, diperoleh :

$$\text{Korelasi} = r = 0,99892$$

$$\text{Slop} = b = 0,04588$$

$$\text{Intersep} = a = 0,0098$$



Gambar 9. Kurva standar Cu untuk variabel pH larutan

Sehingga diperoleh persamaan kurva standar sebagai berikut :

$$Y = bX + a$$

$$Y = 0,04588X + 0,0098 \dots \dots \dots (3)$$



6.2 Kadar logam Cu dengan konsentras 15 ppm pada waktu kontak 14 hari dan variasi pH 6, 7 dan 8

Tabel 10. Hasil pengukuran logam Cu untuk varabel pH larutan menggunakan spektrofotometri serapan atom

pH larutan	Hasil Pengukuran ($\mu\text{g/ml}$)		
	I	II	III
6	82,91	80,73	82,91
7	90,76	87,71	87,27
8	71,14	68,53	68,53

a. Kadar logam Cu untuk pH 6

$$\text{Konsentrasi rata-rata} = \frac{82,91 + 80,73 + 82,91}{3}$$

$$= 82,19 \pm 3,19 \mu\text{g/ml}$$

$$\text{Kadar logam Cu dalam akar} = \frac{82,19 \mu\text{g/ml} \times 50\text{ml}}{10 \text{ g}}$$

$$= 410,93 \mu\text{g/g} \text{ berat basah}$$

$$\% \text{ Kadar logam Cu dalam akar} = \frac{410,93 \mu\text{g/g}}{30000 \mu\text{g}} \times 100\% = 1,37\%$$

b. Kadar logam Cu untuk pH 7

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi rata-rata} &= \frac{90,76 + 87,71 + 87,27}{3} \\ &= 88,58 \pm 4,81 \mu\text{g/ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cu dalam akar} &= \frac{88,58 \mu\text{g/ml} \times 50\text{ml}}{10 \text{ g}} \\ &= 442,89 \mu\text{g/g berat basah} \end{aligned}$$

$$\% \text{ Kadar logam Cu dalam akar} = \frac{442,89 \mu\text{g/g}}{30000 \mu\text{g}} \times 100\% = 1,48\%$$

c. Kadar logam Cu untuk pH 8

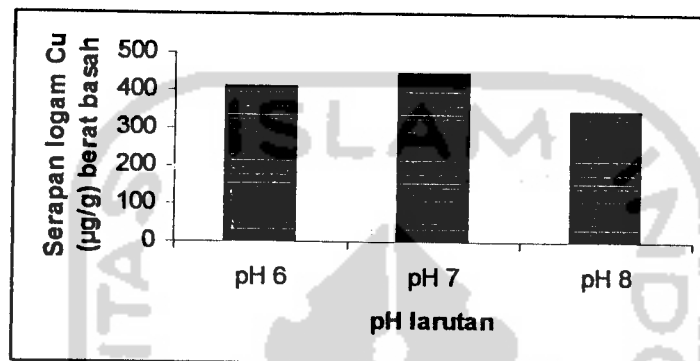
$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi rata-rata} &= \frac{71,14 + 68,53 + 68,53}{3} \\ &= 69,39 \pm 3,82 \mu\text{g/ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cu dalam akar} &= \frac{69,39 \mu\text{g/ml} \times 50\text{ml}}{10 \text{ g}} \\ &= 346,99 \mu\text{g/g berat basah} \end{aligned}$$

$$\% \text{ Kadar logam Cu dalam akar} = \frac{346,99 \mu\text{g/g}}{30000 \mu\text{g}} \times 100\% = 1,15\%$$

Tabel 11. Serapan logam Cu pada pH 6, 7 dan 8

pH Larutan	Serapan logam Cu ($\mu\text{g/g}$) berat basah
6	410,93
7	442,89
8	346,99



Gambar 10. Hubungan daya serap logam Cu dengan pH larutan

Lampiran 7. Perhitungan kadar logam Cu dan logam Zn untuk variabel pengaruh antar logam Cu dan Zn

7.1. Pembuatan Kurva Standar Logam Cu

Tabel 12. Absorbansi larutan standar Cu pada berbagai konsentrasi untuk variabel pengaruh antar logam Cu dan Zn

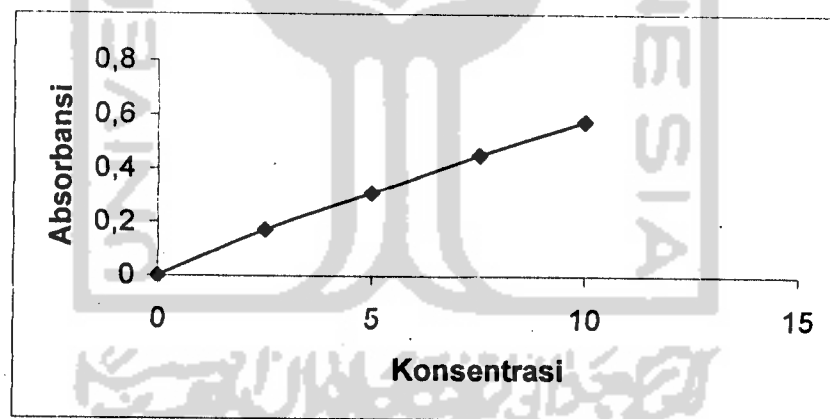
Logam Cu (ppm)	Absorbansi
0	0,000
2,5	0,169
5,0	0,308
7,5	0,451
10,0	0,576

Dengan program regresi linear Microsoft excel, diperoleh :

Korelasi = $r = 0,99863$

Slop = $b = 0,05736$

Intersep = $a = 0,014$



Gambar 11. Kurva standar Cu untuk variabel pengaruh antar logam

Sehingga diperoleh persamaan persamaan kurva standar untuk logam Cu :

$$Y = bX + a$$

$$Y = 0,05736X + 0,014 \dots \dots \dots (4)$$

7.2. Pembuatan Kurva Standar Logam Zn

Tabel 13. Absorbansi larutan standar Zn pada berbagai konsentrasi untuk variabel pengaruh logam Cu dan Zn

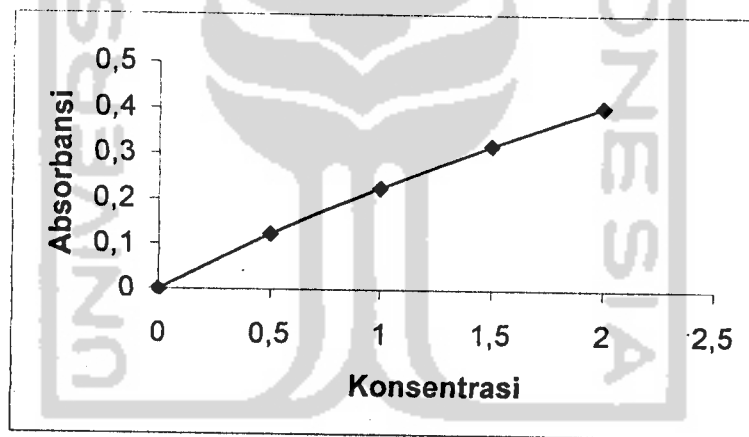
Logam Zn (ppm)	Absorbansi
0	0,000
0,5	0,123
1,0	0,225
1,5	0,318
2,0	0,403

Dengan program regresi linear Microsoft excel, diperoleh :

Korelasi = $r = 0,99734$

Slop = $b = 0,2002$

Intersep = $a = 0,0136$



Gambar 12. Kurva standar Zn untuk variabel pengaruh antar logam

Sehingga diperoleh persamaan persamaan kurva standar untuk logam Zn :

$$Y = bX + a$$

$$Y = 0,2002X + 0,0136 \dots \dots \dots (5)$$

7.3. Kadar logam Cu dan logam Zn dengan konsentrasi 15 ppm pada waktu kontak 14 hari dan pH 7

Tabel 14. Hasil pengukuran logam Cu dan Zn untuk variabel pengaruh logam Cu dan Zn dengan menggunakan Spektrofotometri Serapam Atom

Jenis logam	Hasil pengukuran ($\mu\text{g/ml}$)		
	I	II	III
Cu	67,43	67,43	69,61
Zn	83,47	83,22	83,97

a. Kadar logam Cu dalam akar

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi rata-rata} &= \frac{67,43 + 67,43 + 69,61}{3} \\ &= 68,16 \pm 3,19 \mu\text{g/ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam Cu dalam akar} &= \frac{68,16 \mu\text{g/g} \times 50 \text{ ml}}{10\text{g}} \\ &= 340,78 \mu\text{g/g} \text{ berat basah} \end{aligned}$$

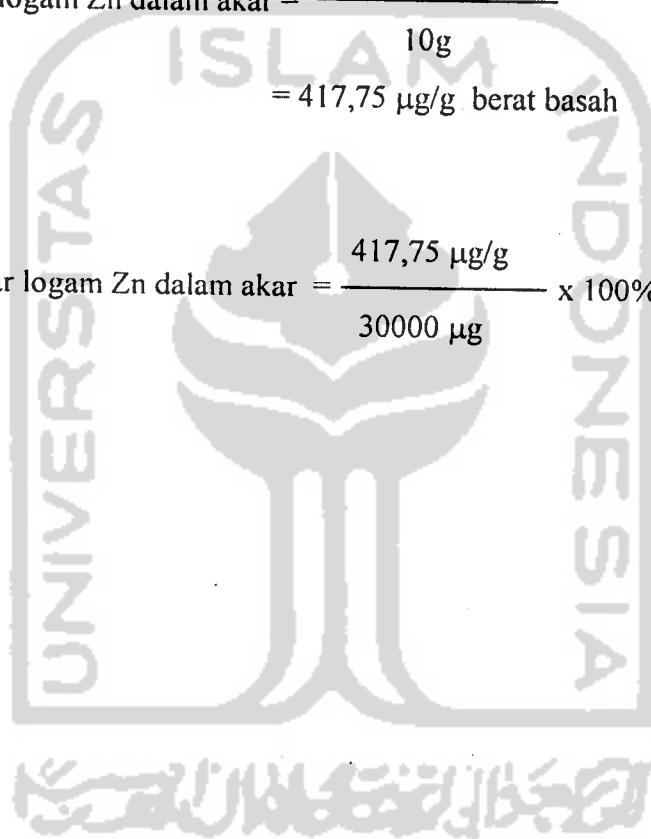
$$\begin{aligned} \% \text{ kadar logam Cu dalam akar} &= \frac{340,76 \mu\text{g/g}}{30000 \mu\text{g}} \times 100\% = 1,14\% \end{aligned}$$

b. Kadar logam Zn dalam akar

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi rata-rata} &= \frac{83,47 + 83,22 + 83,97}{3} \\ &= 83,55 \pm 0,96 \mu\text{g/ml}\end{aligned}$$

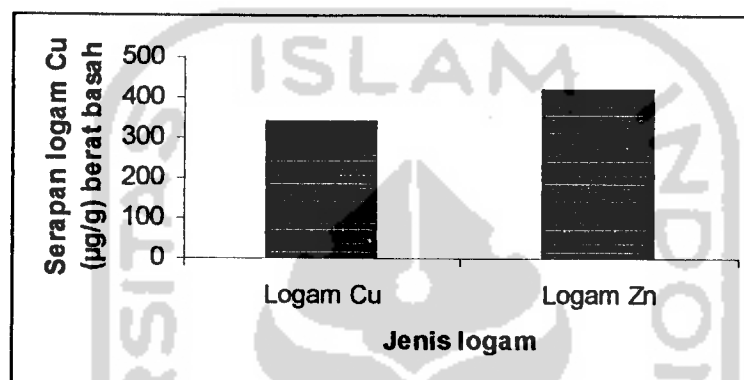
$$\begin{aligned}\text{Kadar logam Zn dalam akar} &= \frac{83,55 \mu\text{g/g} \times 50 \text{ ml}}{10 \text{ g}} \\ &= 417,75 \mu\text{g/g berat basah}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ kadar logam Zn dalam akar} &= \frac{417,75 \mu\text{g/g}}{30000 \mu\text{g}} \times 100\% = 1,39\%\end{aligned}$$



Tabel 15. Serapan logam Cu dan Zn untuk variabel efek kompetitif

Jenis logam	Serapan logam Cu ($\mu\text{g/g}$) berat basah
Cu	340,78
Zn	417,75



Gambar 13. Pengaruh efek kompetitif terhadap daya serap tanaman