

PENGARUH LOGAM BERAT *Cd*, *Pb* TERHADAP PERUBAHAN WARNA BATANG DAN DAUN SAYURAN

Hening Widowati

Abstract

Cd, *Pb* heavy metal absorption in aquatic vegetables: Genjer (*Limnocharis flava*), Kangkung air (*Ipomoea aquatica* Forsk) dan Selada air (*Nasturtium officinale* R. Br), studied to see the relationship with green figure scale. The research objective was to identify the accumulated *Cd*, *Pb* in the consumed organ vegetable, and their impacts to the levels of green figure scale. The research was undertaken by planting three kinds of the aquatic vegetables to the contaminated pure *Cd*, pure *Pb* media, mixture of *Cd* and *Pb* with factorial randomized block design. Data were analyzed by factorial One-Way Anova and further test of Duncan and HSD to see the difference of *Cd*, *Pb* and green figure scale, regression and correlation to know the contribution of *Cd*, *Pb* in influencing the green figure scale. Variety of vegetables, media, organ, and the interaction influences the accumulation of *Cd*, *Pb* and level of green figure scale. There is a relationship between *Cd*, *Pb* metal accumulation to the level of green figure scale of the aquatic vegetables, with negative correlation that *Cd*, *Pb* decreased the vegetable green figure scale.

Keywords: the influence of *Cd*, *Pb*; aquatic vegetables; green figure scale

PENDAHULUAN

Logam berat adalah unsur logam dengan berat molekul tinggi, berat jenisnya lebih dari 5 g/cm³ (Connel & Miller, 2006). Logam berat dalam kadar rendah umumnya sudah beracun bagi tumbuhan, hewan dan manusia. Beberapa logam berat yang sering mencemari habitat adalah *Hg*, *Cr*, *As*, *Cd* dan *Pb* (Notohadiprawiro, 1993). Pantauan kualitas air Daerah Aliran Sungai Brantas oleh Jasa Tirta I dari tahun 2002-2009, diketahui ada beberapa jenis logam berat yang selalu ditemukan sebagai pencemar yaitu *Zn*, *Cu*, *Cr*, *Cd*, *As*, dan *Pb*. Penelitian Dahlia pada tahun 2004, menunjukkan air sungai Brantas mengandung *Zn* sekitar 4 g/L, *Pb* 0,2 g/L, *Cu* 0,5 g/L, *Cd* 0,05 g/L, *Cr* 0,2 g/L; telah melebihi ambang batas yang diijinkan PP No. 82/2001 (maksimal *Cu* 0,20, *Zn* 2,00, *Pb* 1,0, *Cd* 0,01, *Cr* 1,00 mg/L) (Dahlia, 2006).

Pencemaran logam berat yang tidak terkendali, memberi peluang terakumulasinya logam tersebut dalam lingkungan. Akumulasi dapat terjadi pada habitat tanaman pertanian termasuk sayuran air yang diketahui mudah sekali tumbuh dalam lingkungan tercemar. Logam berat dapat terserap ke dalam jaringan tanaman melalui akar dan stomata daun, selanjutnya akan masuk ke dalam siklus rantai makanan (Alloway, 1990). Logam berat yang terakumulasi pada jaringan tubuh apabila melebihi batas toleransi, dapat menimbulkan keracunan bagi tumbuhan, hewan maupun manusia.

Hasil penelitian Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pertanian tahun 2008 berupa analisis contoh sayuran kubis, tomat, dan wortel yang diperoleh dari sentra produksi di Jawa Barat dan Jawa Timur menunjukkan secara umum cemaran logam besi (*Fe*) dan timbal (*Pb*) di atas batas maksimum residu (BMR). Sementara cemaran logam *As*, *Cd* dan *Zn* masih pada tingkat aman, walaupun juga perlu diwaspadai, khususnya pada padi tercatat sekitar 0,05-0,59 ppm, telah melebihi ambang batas. Keracunan *Cd* dapat menyebabkan tekanan darah tinggi, kerusakan jaringan testicular, kerusakan ginjal dan sel-sel darah merah (Moshman, 1997). Itai-itai merupakan salah satu kerapuhan tulang karena *Cd*. Selain itu *Cd* dapat menyebabkan gangguan pertumbuhan, reproduksi, hipertensi, teratogenesis bahkan kanker (Linder, 1992). Keracunan *Pb* dapat menyebabkan gangguan pada kecerdasan anak, akumulasi pada tulang, anemia, darah, jaringan lunak (ginjal, sumsum tulang, liver, otak), jaringan dengan mineral (tulang, gigi), syaraf perifer dan sentral, metabolisme vitamin D dan calcium unsur penting pembentukan tulang; menembus plasenta pertumbuhan janin terganggu, dapat keluar bersama ASI; syaraf, ginjal, reproduksi, endokrin, jantung (Linder, 1992).

Adanya pigmen klorofil akan memberi ciri warna hijau pada daun dan atau batang tanaman. Pigmen ini terdapat di dalam kloroplas, yang akan menyebabkan sel-sel memiliki kemampuan menyerap energi cahaya

sehingga terjadi proses fotosintesis yang menghasilkan gula atau karbohidrat (Abidin, 1984, Lakitan, 2001). Sebagaimana diungkapkan oleh Winarno (2004), sayuran hijau banyak

mengandung karoten sumber vitamin A. Ada hubungan langsung antara derajat kehijauan sayuran dengan kadar karoten. Semakin hijau semakin tinggi kadar karotennya, daun-daun yang pucat diketahui miskin karoten.

Ada beberapa jenis pigmen pada tanaman, meliputi klorofil a yang memberi warna hijau tua, klorofil b yang memberi warna hijau muda/ kekuningan, karotenoid yang menampakkan gejala warna merah, oranye, kuning atau coklat. Karotenoid terdiri atas dua jenis, yakni (a) karoten (murni hidrokarbon) dengan warna kuning cerah, yang melindungi kerusakan klorofil karena adanya photooxidation; dan (b) xanthofil (mengandung oksigen) dengan warna kuning atau oranye berperan dalam mengabsorpsi cahaya untuk proses fotosintesis (Abidin, 1984).

Salisbury & Ross (1995) menyatakan bahwa sintesis klorofil sangat dipengaruhi oleh faktor keturunan, cahaya, dan ketersediaan mineral tertentu. Defisiensi unsur *Fe*, *Mn*, *K*, *Zn*, *N*, *Mg* memperlihatkan gejala klorosis/*yellowing*, sehingga daunnya tampak pucat.

Tatanan suatu lingkungan dapat rusak, utamanya tercemar oleh limbah-limbah yang sangat berbahaya dalam arti memiliki daya racun (toksisitas) tinggi. Limbah-limbah yang sangat beracun umumnya merupakan limbah kimia, baik berupa persenyawaan, unsur, ion, maupun gas. Polutan yang masuk ke dalam sel mesofil, akan memberi pengaruh pada tingkat molekuler atau ultra struktural, yang menyebabkan perubahan dalam respon stomata, struktur kloroplas, fiksasi CO₂, dan sistem transpor elektron fotosintetik (Anggarwulan & Solichatun, 2007). Tanaman bioindikator atau biomonitor dalam suatu ekosistem akan berinteraksi dengan lingkungannya dengan menunjukkan perubahan pada morfologi, anatomi, biokimia, maupun fisiologi. Perubahan yang terlihat dapat berupa nekrosis, perubahan bentuk dan warna daun, atau dengan kata lain dapat secara cepat terlihat dan terukur tanpa mendeteksi keberadaan polutan di dalam jaringan tanaman. Sehingga dari tanggapan yang diperlihatkan, tanaman bioindikator dapat digunakan untuk memastikan adanya bahan

pencemar di lingkungan tersebut termasuk yang terakumulasi dalam jaringan/organ tubuhnya.

Sejumlah tanaman peneduh di Pakistan di antaranya *Alstonia scholaris*, *Mimusops elengi*, dan *Ficus religiosa* yang dihadapkan pada paparan polutan gas buang kendaraan bermotor dalam jangka waktu yang lama; mengalami perubahan fenologi, perubahan pada ukuran daun, dan senesense (Khan *et al.*, 1975 dalam Innes & Haron, 2000). Pengukuran kadar klorofil a dan b berkorelasi positif dengan laju pertumbuhan tajuk, sehingga klorofil dapat digunakan dalam sistem monitoring (Agrawal, 2002 dalam Anggarwulan & Solichatun, 2007; Sampson *et al.*, 2003).

Dalam berbagai penelitian diketahui adanya kecenderungan terjadinya penurunan kadar klorofil seiring dengan naiknya logam berat. Ada kaitan antara konsentrasi logam berat dengan perubahan kandungan klorofil total pada daun, dimana kandungan klorofil total akan mengalami penurunan sejalan dengan meningkatnya logam berat (Olivares, 2003). Perubahan kandungan klorofil akibat meningkatnya konsentrasi logam berat terkait dengan rusaknya struktur kloroplas. Pembentukan struktur kloroplas sangat dipengaruhi oleh nutrisi mineral seperti *Mg* dan *Fe*. Masuknya logam berat secara berlebihan pada tumbuhan, misalnya *Pb* akan mengurangi asupan *Mg* dan *Fe*, sehingga menyebabkan perubahan pada volume dan jumlah kloroplas (Kovacs, 1992). *Mg* termasuk unsur hara makro esensial, merupakan penyusun molekul klorofil. Unsur *Mg* termasuk paling kalah bersaing dengan kation lainnya (Jones, *et al.*, 1991), sehingga *Mg* klorofil mudah tersingkir oleh polutan logam berat.

Semua logam berat berpotensi mencemari tumbuhan, dengan gejala klorosis, nekrosis pada ujung dan sisi daun, serta busuk daun lebih awal. Oleh karena itu, pendekatan pengamatan perubahan warna batang dan daun dapat digunakan sebagai petunjuk/indikator telah terjadi akumulasi logam berat pada batang dan daun.

METODE, ALAT, DAN BAHAN

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) Faktorial, dengan 3 faktor. Faktor pertama adalah 3 jenis sayuran air, yaitu genjer, kangkung air, dan selada air. Faktor kedua adalah jenis media tumbuh, medium *Hoagland* yang mengandung logam berat *Cd*, *Pb*, dan

campurannya. Faktor ketiga adalah organ sayuran, yaitu batang dan daun. Data diambil dalam tiga waktu pemanenan sayuran, yaitu minus ½ kebiasaan, tepat kebiasaan, dan plus ½ kebiasaan memanen. Dengan demikian variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi jenis sayuran, variasi logam berat dan variasi organ sayuran. Sedangkan variabel terikatnya adalah kandungan logam berat terserap yang dianalisis dengan *spectrophotometer uv-vis*, angka skala warna hijau yang diukur

dengan *leaf colour charta*, jumlah klorofil dengan spektrofotometer, jumlah Mg

dengan Vogel Method. Data yang terkumpul, disusun, dan dianalisis untuk mengetahui pengaruh serapan logam terhadap penurunan warna hijau batang dan daun sayuran dianalisis dengan Analisis Varian Faktorial, Duncan, *HSD*, Korelasi, dan Regresi Linier Berganda.

HASIL DAN DISKUSI

A. Akumulasi Logam Berat dan Angka Skala Warna Hijau Sayuran Air

Ilustrasi perbedaan akumulasi *Cd*, *Pb* dan angka skala warna hijau sayuran air dapat dilihat pada Tabel 1 - Tabel 6.

Tabel 1. Kesimpulan Hasil Anava *Cd* dan *Pb* pada Variasi Pemanenan

SUMBER KERAGAMA N	SIGNIFIKANSI VARIASI WAKTU PEMANENAN (W)							
	Logam berat <i>Cd</i>				Logam berat <i>Pb</i>			
	W0	W1	W2	W3	W0	W1	W2	W3
Kelompok	ns	Sig *	ns	ns	ns	ns	Sig *	ns
Perlakuan	ns	Sig **	Sig **	Sig **	ns	Sig **	Sig **	Sig **
S (Jenis Sayuran)	ns	Sig **	Sig **	Sig **	ns	Sig **	Sig **	Sig **
M (Medium Percobaan)	ns	Sig **	Sig **	Sig **	ns	Sig **	Sig **	Sig **
O (Organ dalam Sayuran)	ns	Sig **	Sig **	Sig **	ns	Sig **	Sig **	Sig **
S/M	ns	Sig **	Sig **	Sig **	ns	Sig **	Sig **	Sig **
S/O	ns	Sig **	Sig **	ns	ns	ns	ns	Sig **
M/O	ns	Sig **	Sig **	Sig **	ns	Sig **	Sig **	Sig **
S/MO	ns	Sig **	Sig **	ns	ns	ns	Sig **	Sig **

Keterangan:

- ns : non signifikan/tidak berbeda nyata
- sig * : signifikan/berbeda nyata dalam taraf kepercayaan 95%
- sig ** : signifikan/berbeda sangat nyata dalam taraf kepercayaan 99%

Tabel 2. Kesimpulan Hasil Anava Uji F Skala Warna Hijau Sayuran air pada Variasi Pemanenan

SUMBER KERAGAMAN	SIGNIFIKANSI VARIASI WAKTU PEMANENAN (W)				KETERANGAN
	W0	W1	W2	W3	
Kelompok	ns	ns	ns	ns	Homogenitas ulangan
Perlakuan	ns	Sig **	Sig **	Sig **	Ada beda skala warna hijau karena variasi perlakuan
S (Jenis Sayuran)	ns	Sig **	Sig **	Sig **	Ada beda skala warna hijau karena variasi S
M (Medium Percobaan)	ns	Sig **	Sig **	Sig **	Ada beda skala warna hijau karena variasi M
O (Organ dalam Sayuran)	ns	Sig **	Sig **	Sig **	Ada beda skala warna hijau karena variasi O
S/M	ns	Sig **	Sig **	Sig **	Ada skala warna hijau beda karena interaksi S/M
S/O	ns	ns	Sig **	Sig **	Ada skala warna hijau beda karena interaksi S/O
M/O	ns	ns	Sig **	Sig **	Ada skala warna hijau beda karena

S/MO	ns	ns	Sig **	Sig **	interaksi M/O Ada skala warna hijau beda karena Interaksi S/MO
------	----	----	--------	--------	--

Keterangan:

- ns : non signifikan/tidak berbeda nyata
- sig * : signifikan/berbeda nyata dalam taraf kepercayaan 95%
- sig ** : signifikan/berbeda sangat nyata dalam taraf kepercayaan 99%

Anova uji F menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan (sig.*) pada taraf kepercayaan 95% dan (sig.***) pada taraf kepercayaan 99% pada hampir semua perlakuan. $F_{hitung} > F_{tabel}$, berarti pernyataan hipotesis ada perbedaan serapan Cd, serapan Pb, dan warna hijau pada batang dan daun sayuran air pada berbagai media dalam variasi waktu pemanenan, diterima; yang menunjukkan bahwa ada perbedaan yang nyata/sangat nyata serapan Cd, serapan Pb, dan warna hijau pada batang dan daun sayuran air pada berbagai

media dalam variasi waktu pemanenan. Hasil uji Anakova antara waktu pemanenan hampir seluruhnya juga menunjukkan adanya perbedaannya yang nyata/sangat nyata. Ini membuktikan bahwa hipotesis juga diterima, bahwa antara waktu pemanenan menunjukkan adanya perbedaannya yang nyata/sangat nyata. Untuk melihat bagaimana perbedaan serta seberapa besar perbedaannya, dianalisis dengan uji beda lanjut Duncan dan HSD 1%.

Tabel 3. Hasil Uji Beda dan Notasi Duncan Antara Variasi Jenis Sayuran

Jenis Sayuran	Kadar Cd mg/L		Kadar Pb mg/L		Angka Skala Warna Hijau	
	Rerata	Notasi Duncan	Rerata	Notasi Duncan	Rerata	Notasi Duncan
Genjer	.00491	a	.00341	a	5.57812	a
Kangkung air	00928	c	.00553	b	5.89062	b
Selada air	.00591	b	.00701	c	5.93750	b

Keterangan: Huruf yang sama berarti berbeda tidak nyata

Tabel 4. Hasil Uji Beda Duncan Antara Variasi Jenis Media

Jenis Media	Kadar Cd mg/L		Kadar Pb mg/L		Angka Skala Warna Hijau	
	Rerata	Notasi Duncan	Rerata	Notasi Duncan	Rerata	Notasi Duncan
Media Cd	.01429	c	.00000	a	5.47917	b
Media Pb	.00000	a	.01152	c	5.36458	a
Media Campuran	01251	b	.00976	b	5.73958	c
Media Kontrol	.00000	a	.00000	a	6.62500	d

Keterangan:

- Huruf yang sama berarti berbeda tidak nyata

Tabel 5. Hasil Uji Beda Duncan Antara Variasi Waktu Pemanenan

Variasi Waktu Pemanenan	Kadar Cd mg/L		Kadar Pb mg/L		Angka Skala Warna Hijau	
	Rerata	Notasi Duncan	Rerata	Notasi Duncan	Rerata	Notasi Duncan
W0	.00000	a	.00000	a	6.50000	c
W1	.00160	b	.00125	b	6.84375	d
W2	.00429	c	.00232	c	5.94792	b
W3	.02092	d	.01771	d	3.91667	a

Keterangan:

- Huruf yang sama berarti berbeda tidak nyata

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Uji Beda Nyata Jujur Interaksi antara S (jenis sayuran), M (media), dan O (macam Organ) antar Waktu Pemanenan

Perlakuan	Parameter yang Diukur								
	Kadar Cd			Kadar Pb			Skala Warna		
	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
S1M1O1	g	cde	a	a	a	a	a	de	c
S1M1O2	b	bc	a	a	a	a	a	c	b
S1M2O1	a	a	a	a	f	de	a	de	c
S1M2O2	a	a	a	a	d	bc	a	b	b
S1M3O1	de	bcd	a	a	e	cd	a	de	c
S1M3O2	b	ab	a	a	d	b	a	bc	b
S1M4O1	a	a	a	a	a	a	a	fg	e
S1M4O2	a	a	a	a	a	a	a	de	d
S2M1O1	fg	h	a	a	a	a	a	a	a
S2M1O2	c	g	a	a	a	a	a	fg	b
S2M2O1	a	a	a	a	e	h	a	a	a
S2M2O2	a	a	a	a	c	e	a	fg	c
S2M3O1	cde	h	a	a	d	fgh	a	fg	a
S2M3O2	b	fg	a	a	b	cd	a	fg	c
S2M4O1	a	a	a	a	a	a	a	h	e
S2M4O2	a	a	a	a	a	a	a	fg	e
S3M1O1	fg	ef	a	a	a	a	a	fg	d
S3M1O2	cd	de	a	a	a	a	a	de	c
S3M2O1	a	a	a	a	i	gh	a	fg	d
S3M2O2	a	a	a	a	g	fg	a	de	c
S3M3O1	ef	de	a	a	h	fg	a	fg	d
S3M3O2	b	de	a	a	fg	f	a	ef	e
S3M4O1	a	a	a	a	a	a	a	h	f
S3M4O2	a	a	a	a	a	a	a	gh	e

- Keterangan: Huruf yang sama berarti berbeda tidak nyata

B. Hubungan antara Akumulasi Logam Berat dengan Warna Hijau pada Batang dan Daun Sayuran Air dalam Variasi Waktu Pemanenan

Ilustrasi hubungan antara akumulasi logam berat dengan warna hijau pada sayuran air dapat dilihat pada tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Rekapitulasi Anava Regresi Logam Berat Cd, Pb terhadap Warna Sayuran Air

Jenis sayuran	F _{hitung}	Sig.	R ²	Keterangan
Genjer	31,688	0.000	0,51	Ada hubungan antara logam Cd, Pb dengan skala warna hijau Genjer
Kangkung air	36,882	0.000	0,547	Ada hubungan antara logam Cd, Pb dengan skala warna hijau kangkung air
Selada air	6,03	0.000	0,165	Ada hubungan antara logam Cd, Pb dengan skala warna hijau selada air

Tabel 8. Hasil Analisis Regresi dan Korelasi Logam Berat *Cd*, *Pb* terhadap Warna Batang dan Daun Sayuran Air

Persamaan Regresi, Besar Pengaruh dan Bentuk Korelasi Logam <i>Cd</i> , <i>Pb</i> terhadap Skala Warna Hijau Jenis Sayuran		
Genjer	Kangkung Air	Selada Air
$Y = 6,120 - 62,892X_1 - 73,769X_2$ $R^2 = 51,10\%$ Korelasi Negatif: <i>Cd</i> , <i>Pb</i> menurunkan warna hijau genjer	$Y = 7,062 - 94,005 X_1 - 71,776 X_2$ $R^2 = 54,70\%$ Korelasi Negatif: <i>Cd</i> , <i>Pb</i> menurunkan warna hijau kangkung air	$Y = 6,289 - 27,501 X_1 - 26,993X_2$ $R^2 = 16,5\%$ Korelasi Negatif: <i>Cd</i> , <i>Pb</i> menurunkan warna hijau selada air

Keterangan:

- X_1 logam berat *Cd*, X_2 logam berat *Pb*.

Ada perbedaan akumulasi logam berat antar jenis sayuran, karena masing-masing memiliki daya transpirasi, struktur morfologi daun, dan jenis akar yang berbeda. Posisi batang yang lebih dekat akar memungkinkan akumulasi logam berat dan penurunan warna batang dan daun sayuran lebih besar (Darmono, 1995).

Hasil analisis Regresi dan Korelasi logam terhadap warna hijau batang dan daun sayuran air pada ketiga jenis sayuran, diketahui logam *Pb*, *Cd* secara bersama-sama berpengaruh menurunkan warna hijau pada batang dan daun genjer, kangkung air, dan selada air, dengan besar pengaruh antar sayuran berbeda-beda. Terhadap penurunan warna hijau batang dan daun sayuran, logam berat *Cd* lebih besar mempengaruhi penurunan warna kangkung air; sedangkan terhadap genjer, logam berat *Pb* lebih berpengaruh. Logam berat campuran kurang memberikan efek kepada akumulasi logam dan penurunan warna hijau sayuran, karena adanya efek antagonis logam bila berada bersama-sama (Mangkoedihardjo & Samudro, 2010; Palar, 2004).

Hasil Analisis Regresi menunjukkan penurunan skala warna terbesar pada kangkung air, selanjutnya genjer, dan terakhir selada air. Kangkung paling besar mengakumulasi logam *Cd*, *Pb*, sehingga lebih cepat mengalami perubahan penurunan warna hijau, karena logam dapat menggantikan unsur *Mg* dalam klorofil, suatu senyawa yang menyebabkan batang dan daun berwarna hijau. Sebagaimana diketahui, selama ditanam dalam medium tercemar logam, secara berkala terjadi penurunan kadar *Mg* dan klorofil, sehingga sampai pengamatan W3 (setelah kebiasaan memanen), batang dan daun mengalami klorosis, menguning, kehilangan hijau daun. Keadaan ini dipertegas dengan pendapat

Olivares (2003), bahwa adanya kecenderungan terjadinya penurunan kadar klorofil seiring dengan kenaikan *Pb*. Ada kaitan antara konsentrasi *Pb* dengan perubahan kandungan klorofil total pada daun, dimana kandungan klorofil total akan mengalami penurunan sejalan dengan meningkatnya *Pb*. Perubahan kandungan klorofil akibat meningkatnya konsentrasi *Pb*, terkait dengan rusaknya struktur kloroplas. Pembentukan struktur kloroplas sangat dipengaruhi oleh nutrisi mineral seperti *Mg* dan *Fe*. Masuknya logam berat secara berlebihan pada tumbuhan akan mengurangi asupan *Mg* dan *Fe* sehingga menyebabkan perubahan pada volume dan jumlah kloroplas (Kovacs, 1992).

Unsur *Mg* termasuk unsur hara makro, merupakan penyusun molekul klorofil. Di sisi lain, unsur *Mg* ini termasuk paling kalah bersaing dengan kation lainnya (Jones 1991 dalam Yuwono dkk, 2002). Oleh karena itu dengan serapan logam berat dalam jumlah kecil-pun sudah dapat menggantikan *Mg* dalam klorofil yang selanjutnya merusak struktur kloroplas sebagai bahan warna hijau pada batang dan daun, sehingga berakibat menurunnya warna hijau, akhirnya menguning mengalami klorosis. Terhadap penurunan skala warna hijau, pengaruh logam *Cd*, *Pb* pada kangkung air paling besar, selanjutnya genjer, dan terakhir selada air. Hal ini karena kangkung air relatif paling besar dalam mengakumulasi logam berat, sehingga kemampuan dalam menggantikan unsur *Mg* dalam klorofil lebih besar, akibatnya penurunan skala warna hijau menjadi lebih besar.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan:
 1) Variasi jenis sayuran, media, organ, dan

interaksinya mempengaruhi akumulasi *Cd, Pb* dan kadar vitamin sayuran; 2) Bagian batang lebih banyak mengakumulasi logam berat; 3) Akumulasi logam berat lebih banyak terjadi pada medium logam berat tunggal *Cd* atau *Pb* saja dibandingkan campuran *Cd, Pb*; 4) Kangkung air paling banyak mengakumulasi *Cd*, Selada air paling banyak mengakumulasi *Pb*; 5) Semakin lama dipanen, akumulasi logam berat semakin besar, sebaliknya warna hijau sayuran semakin menurun; 6) Ada hubungan antara akumulasi logam *Cd, Pb* dengan warna hijau sayuran air, dengan korelasi negatif yaitu *Cd, Pb* menurunkan warna hijau batang dan daun sayuran

KEPUSTAKAAN

- Abidin, Z. 1984. *Dasar Pengetahuan Ilmu Tanaman*. Bandung: Penerbit Angkasa Bandung.
- Alloway, B.J, 1990. *Heavy Metals in Soil*. Jhon Willey and Sons Inc, New York.
- Anggarwulan, E. & Solichatun. 2007. Kajian Klorofil dan Karotenoid *Plantago major L.* dan *Phaseolus vulgaris L.* sebagai Bioindikator Kualitas Udara. *BIODIVERSITAS*, Vol. 8 (4):279-282. Oktober 2007.
- Connell, Des. W. & Miller, Gregory J. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Terjemahan oleh Yanti Koestoer. 2006. Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press).
- Dahlia. 2006. *Efektivitas Bioakumulasi Tanaman Sayuran Pengikat Logam Berat dan Upaya Pemberdayaan Masyarakat*. Disertasi. Tidak dipublikasikan. Jurusan Pendidikan Biologi. Pascasarjana. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Kovacs, M. 1992. *Biological Indicators in Environmental Protection*. Market Cross House. England.
- Lakitan, B. 2001. *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*. Edisi I. Cetakan I. Jakarta: PT Rajawali Grafindo Persada.
- Linder, M. C. 1992. *Biokimia; Nutrisi dan Metabolisme*. Department of Chemistry, California State University. Fullerton, CA 92634.
- Mangkoedihardjo, S. & Samudro, G. 2010. *Fitoteknologi Terapan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Notohadiprawiro, Tejoyuwono. 1993. Logam Berat dalam Pertanian. Artikel: *Ceramah di Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, Medan 28 Agustus 1993.
- Olivares, E. 2003. The Effect of Lead on Phytochemistry of *Tithonia diversifolia*: Exposed to Roadside Automotive Pollution or Grown in Pots of Pb Supplemented Soil. *Brazilian Journal Plant Physiology* 15(3): 149-158.
- Palar, H. 2004. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Panda, S.K. & Choudhury, S. 2005. Chromium Stress in Plants. *Braz. J. Plant. Physiol.* 17: 95-102.
- Salisbury, F.B. & C.W. Ross. 1995. *Plant Physiology*. Third Edition. Wadsworth Publising Co. Belmont. California.
- Sampson, P.H., Zarco-Tejada, P., Muhammed, G.H., Miller, J.R., Noland, T. 2003. Hyperspectral Remote Sensing of Forest Condition: Estimating Chlorophyll Content in Tolerant Hardwoods. *Forest Science* 49(3):381-391.
- Winarno, F.G. 2004. *Kimia Pangan dan Gizi*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.