

Pengaruh Kepadatan *Lemna minor* L. Dalam Proses Penyerapan Total Cr dan Cd²⁺ dari Limbah Industri Tekstil

The Effect of Duckweed (*Lemna minor* L.) Densities on the Absorption Total Cr and Cd²⁺ From Textile Waste Water Industry

Meilani^{*}, A. Ign. Kristijanto^{**}, dan Sri Hartini^{**}

^{*}Mahasiswa Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Matematika

^{**}Dosen Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Matematika

Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga

Jln. Diponegoro no 52-60 Salatiga 50711 Jawa Tengah – Indonesia

davsanz_kid@yahoo.com

ABSTRACT

The objectives of this study are: Firstly to determine the absorption effectiveness of Cr Total and Cd from waste water by various duckweed population densities. Secondly, to determine the optimum of duckweed population densities in the absorption of Cr total and Cd from textile waste water. The study was carried out in 6 days and the observation had been carried out every 2 days. Data were analyzed by Randomized Complete Block Design (RCBD), 6 treatments and 4 replications. As the treatments are various duckweed (*L. minor*) population densities which are 0% (control); 12,5%; 25%; 37,5%; 50%; and 62,5%, respectively. To test the differences between the treatment means, the Honestly Significant Differences (HSD) at 5% level of significant were used. The results of this study show that 37,5% of *Lemna minor* densities are the most effective population density in the absorption of Cr total up to 50% (57,14% - 58,82%). On contrary, there is no absorption of Cd within 6 days in any population.

Keywords : *Lemna minor*, Cd²⁺, Total Cr, RGR (*Relative Growth Rate*)

PENDAHULUAN

Permasalahan pencemaran lingkungan yang paling sulit untuk diatasi adalah pencemaran logam berat. Pencemaran logam berat dapat melalui tanah maupun air. Kadmium dan kromium merupakan logam berat yang berbahaya bagi kehidupan karena tidak dapat didegradasi. Salah satu sumber pencemaran air dengan logam kadmium dan kromium adalah limbah cair industri tekstil. Kadmium pada umumnya digunakan pada industri sebagai agen pewarna atau juga sebagai stabiliser (Lamai *et al.*, 2004). Dalam proses produksi industri tekstil juga menggunakan sejumlah bahan aditif yang mengandung beberapa logam berat seperti Kadmium dan Kromium. Kedua logam tersebut sangat berbahaya jika masuk ke dalam organ tubuh. Kromium sangat berbahaya terutama dalam bentuk teroksidasi Cr (VI) yang dapat menyebabkan

penyakit pernapasan, penyakit kulit, penyakit saraf bahkan kematian (Ray and Ray, 2009). Logam Kadmium dapat menyebabkan kerusakan hati dan ginjal (Gaurav *et al.*, 2010).

Menurut Suthersan (1990), fitoremediasi adalah suatu teknik penyerapan logam berat menggunakan tumbuhan untuk memperbaiki tanah atau air tanah yang tercemar. Lebih lanjut dikatakan bahwa ada 3 mekanisme fitoremediasi logam berat yaitu fitostabilisasi, fitoekstraksi dan fitoabsorpsi - fitofiltrasi. Mekanisme yang terjadi dalam fitoremediasi dengan tumbuhan air adalah fitoabsorpsi dan fitofiltrasi. Akar tumbuhan yang tumbuh di perairan yang mengandung logam berat akan menyerap kandungan logam berat kemudian mengakumulasi dalam bagian tumbuhan lainnya yaitu daun atau batang tumbuhan.

Fitoremediasi atau yang biasa disebut juga *green remediation* (Pivetz, 2001) merupakan metode yang ramah lingkungan untuk mengabsorpsi kandungan logam berat karena tidak menggunakan bahan kimiawi. Hasil penelitian Ater *et al.* (2006 dalam Mkandawire and Gert, 2007) menunjukkan bahwa jenis-jenis tumbuhan *Lemna* mampu berperan sebagai bioakumulator, contoh: bioakumulasi *L. gibba* terhadap Cr sebesar 900 – 1.710 (mg/ kg bobot kering), bioakumulasi *L. minor* terhadap Cd sebesar 14.200 (mg/ kg bobot kering) dan Cr sebesar 13,48 (mg/ kg bobot kering), sedangkan bioakumulasi *L. trisulca* terhadap Cd sebesar 130-1.200 (mg/kg bobot kering) dan Cr sebesar 1.555,30 (mg/kg bobot kering). Dalam penelitian ini digunakan tumbuhan *L. minor* sebagai bioakumulator Cd^{2+} dan Cr dan berdasarkan hal-hal tersebut di atas maka penelitian ini bertujuan:

1. Menentukan efektivitas daya serap antar berbagai padat populasi *L. minor* terhadap logam total Cr dan Cd^{2+}
2. Menentukan kepadatan populasi *L. minor* yang optimal dalam penyerapan logam total Cr dan Cd^{2+} dari air limbah tekstil

METODOLOGI

Bahan dan Piranti

Tumbuhan mata ikan (*L. minor*) diperoleh dari persawahan di tepian jalan raya Banyubiru. Tumbuhan kemudian diadaptasikan dalam ember menggunakan air sumur selama seminggu. Sedangkan, limbah industri tekstil yang digunakan berasal dari pabrik tekstil di Salatiga dan merupakan limbah yang belum diolah.

Bahan kimiawi yang digunakan antara lain akuades, $K_2Cr_2O_7$ (PA, E-Merck, Germany), Ag_2SO_4 (PA E-Merck, Germany), H_2SO_4 (PA, E-Merck, Germany), $HgSO_4$ (PA, E-Merck, Germany), FAS (Ferrous Amonium Sulfat) (PA- E-Merck, Germany), dan indikator ferroin.

Piranti yang digunakan antara lain Spektrofotometer HACH DR/EL 2000, pHmeter HANNA Instrument 9812, Neraca Analitis (Mettler H80), dan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) Perkin Elmer AAS 3110.

Metode

Pemberian Perlakuan

Limbah dikarakterisasi terlebih dahulu untuk mengetahui kandungan logam berat dan parameter fisiko - kimiawi. Perlakuan yang dilakukan berupa perbedaan nisbah luas area permukaan yang ditutupi oleh tumbuhan (kepadatan) dan dalam hal ini kepadatannya adalah 0%; 12,5%; 25%; 37,5%; 50% dan 62,5%. Perlakuan dilakukan selama 6 hari, dengan periode pengamatan setiap 2 hari untuk mengetahui penurunan logam Cd dan total Cr dalam media tumbuh. Pada hari pertama dan hari ke 6, dihitung bobot basah dan bobot kering tumbuhan untuk perhitungan Rataan Laju Pertumbuhan Relatif (\overline{RGR} – *Mean Relative Growth Rates*) menggunakan persamaan Hunt (Leblebici *et al.*, 2009):

$$R = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{T_2 - T_1}$$

Keterangan:

R	= Rataan <i>Relative Growth Rates</i>
W_2	= Massa akhir tumbuhan
W_1	= Massa awal tumbuhan
$T_2 - T_1$	= Lama waktu perlakuan

Penentuan Kadar Air (Sudarmadji dkk., 1997) dan Penentuan Bobot Kering (APHA (1998) dalam Leblelici *et al.* 2009)

1 gram tumbuhan *L. minor* ditimbang dalam cawan petri yang sudah diketahui bobotnya. Masing-masing cawan dioven pada suhu 105⁰C selama 5 jam kemudian didinginkan dalam desikator lalu ditimbang. Setelah itu dipanaskan kembali dalam oven selama 1 jam, didinginkan kembali dalam desikator kemudian ditimbang. Perlakuan ini diulangi sampai tercapai bobot konstan.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{(w_1 - w_2)}{w_1}$$

$$\text{Bobot kering (gram)} = w_1 - w_2$$

Keterangan:

w_1 : bobot sampel awal

w_2 : bobot sampel akhir

Analisis COD (Alaerts dan Santika, 1987)

20 ml sampel air ditambah dengan 10 ml larutan K₂Cr₂O₇ 0,25 N dan 30 ml Ag-H₂SO₄ serta 0,1 gram HgSO₄ untuk menghilangkan kandungan klorin dalam sampel. Larutan direfluks selama 60 menit kemudian kondensor dibilas dengan akuades dan sampel didinginkan sampai mencapai suhu ruang. Sampel digenapkan sampai volumenya 100 ml kemudian ditambahkan 2 tetes indikator ferroin dan dititrasi dengan larutan FAS (Ferrous Amonium Sulfat) 0,1 N.

$$COD \text{ (ppm)} = \frac{(\text{blanko} - \text{sampel}) \times 0,1 \times 8000}{V.\text{sampel}}$$

Analisis Logam Berat dan Parameter Fisiko-Kimiawi Air Limbah

Analisis logam berat dalam tumbuhan *L. minor* dan air limbah dilakukan dengan Perkin Elmer AAS 3110 Sedangkan pengukuran parameter fisiko-kimiawi dengan metoda dan pirantinya disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Parameter Pendukung dan Piranti

Parameter	Piranti / Metoda
Fisikawi	
DHL (Daya Hantar Listrik) ($\mu\text{S/cm}$)	Conductivity meter (HANNA Instrument 9812)
TDS (<i>Total Dissolved Solids</i>) (ppm)	TDS meter (HANNA Instrument 9812)
Warna (PtCo)	Spektrofometer HACH DR/EL 2000 (Iowa, USA)
Kekeruhan (FTU)	Spektrofometer HACH DR/EL 2000 (Iowa, USA)
Kimiawi	
pH	pHmeter (HANNA Instrument 9812)

Analisis Data (Steel dan Torie, 1989)

Data dianalisis menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 6 perlakuan dan 4 kali ulangan. Sebagai perlakuan adalah persen penutupan permukaan oleh tumbuhan Lemna yaitu 0%; 12,5%; 25%; 37,5%; 50% ; dan 62,5%, sedangkan sebagai kelompok adalah waktu analisis. Pengujian purata antar perlakuan digunakan uji Beda Nyata Jujur (BNJ) dengan tingkat kebermaknaan 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN**Karakterisasi Awal Limbah dan Tumbuhan *L. minor***

Karakteristik fisiko-kimiawi awal limbah yang digunakan sebagai media tanam *L. minor* disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Karakterisasi Awal Limbah Media Tanam

Parameter	Kadar
Fisikawi	
TDS (ppm)	735
DHL ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1382,5
Kekeruhan (FTU)	139,5
Warna (PtCo)	748,5
Kimiawi	
pH	6,9
COD (ppm)	3820
Cd (mg/l)	0,03
Total Cr (mg/l)	0,035
Pb (mg/l)	0,88
Zn (mg/l)	0,26

Dari **Tabel 2** terlihat bahwa air limbah yang digunakan untuk media tanam mengandung beberapa logam berat selain Cd^{2+} dan total Cr. Sedangkan kandungan logam berat dalam tumbuhan *L. minor* yang diperoleh dari persawahan di tepian jalan Banyubiru disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Karakterisasi Awal Kandungan Logam Berat dalam *L. minor* (Kadar air 96,53%)

Parameter	Kadar
Pb (mg/kg)	10,86
Cd (mg/kg)	24,08
Zn (mg/kg)	172,47
Total Cr (mg/kg)	-

Keterangan : - = tidak terdeteksi oleh AAS

Dari **Tabel 3** terlihat bahwa *L. minor* yang digunakan mengandung tiga jenis logam berat dengan kadar yang bervariasi, sedangkan total Cr tidak diketemukan.

Penyerapan Total Cr Antar Berbagai Prosentase Kepadatan *L. minor* Dalam Waktu 2-6 Hari

Rataan serapan total Cr ($\text{mg/l} \pm \text{SE}$) yang dilakukan oleh berbagai persentase kepadatan *L. minor* dalam waktu 2 - 6 hari berkisar antara $0,013 \text{ mg/l} \pm 0,008$ sampai $0,035 \text{ mg/l} \pm 0,012$ (Tabel 4).

Tabel 4. Rataan Serapan Total Cr ($\text{mg/l} \pm \text{SE}$) Antar Berbagai Persentase Kepadatan *L.minor* Dalam Waktu 2 - 6 Hari

Hari	Kepadatan (%)					
	50%	37,5%	25%	62,5%	12,5%	0%
2	0,013	0,015	0,02	0,022	0,033	0,035
	$\pm 0,008$	$\pm 0,009$	$\pm 0,013$	$\pm 0,03$	$\pm 0,008$	$\pm 0,012$
	W = 0.015 (a)	(a)	(ab)	(ab)	(b)	(b)
4	0,026	0,014	0,02	0,033	0,029	0,034
	$\pm 0,029$	$\pm 0,008$	$\pm 0,022$	$\pm 0,007$	$\pm 0,012$	$\pm 0,008$
	W = 0.019 (ab)	(a)	(ab)	(ab)	(ab)	(b)
6	0,023	0,015	0,018	0,032	0,023	0,035
	$\pm 0,02$	$\pm 0,016$	$\pm 0,015$	$\pm 0,03$	$\pm 0,008$	$\pm 0,009$
	W = 0.016 (abc)	(a)	(ab)	(bc)	(abc)	(c)

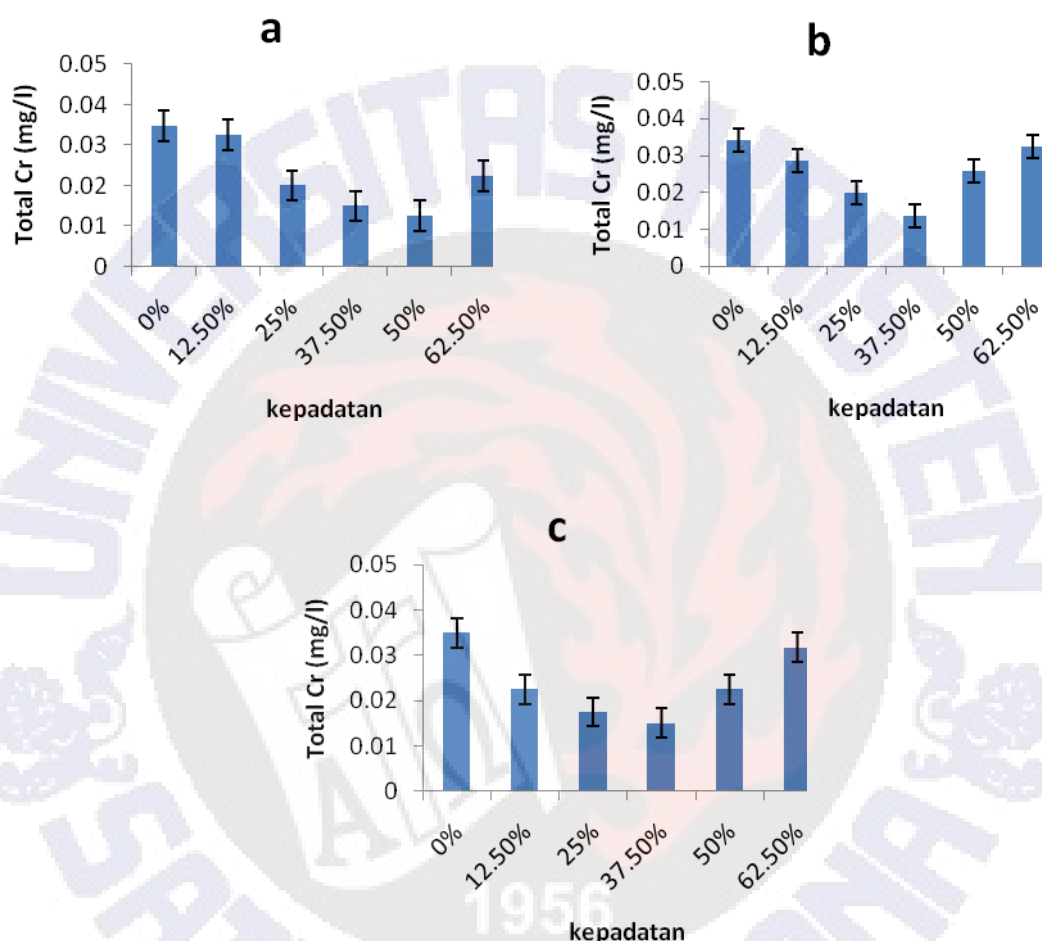
Keterangan= • W = BNJ 5%

- Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan antar perlakuan tidak berbeda secara bermakna, sedangkan angka-angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan antar perlakuan berbeda bermakna. Keterangan ini juga berlaku untuk **Tabel 5**.

Dari **Tabel 4** terlihat bahwa penyerapan total Cr yang optimum dalam terjadi waktu 2 – 6 hari pada kepadatan *L. minor* 37,5%. Padatan populasi *L. minor* berperan terhadap aktivitas penyerapan total Cr terutama mulai hari ke 2. Hasil dari analisis korelasi berganda menunjukkan adanya korelasi negatif antara total Cr dan padatan populasi *L. minor* ($r = -0,525$). Hal ini menunjukkan absorpsi total Cr terjadi pada padat populasi *L. minor* yang rendah (37,5%).

Cr akan lebih mudah diserap oleh *L.minor* karena keberadaan Cr di alam dalam bentuk kromit (FeCr_2O_4) sedangkan Fe merupakan hara mikro bagi tumbuhan sehingga secara tidak langsung tumbuhan menyerap Fe maka Cr ikut terserap ke dalam tumbuhan (Shanker *et al.*, 2005). Lebih lanjut, menurut Zayed (1998 dalam El Kheir *et al.*, 2007) efek toksisitas logam mengikuti urutan $\text{Cu} > \text{Se} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{Ni} > \text{Cr}$. *L.minor* akan lebih selektif untuk menyerap Cr yang efek toksisnya lebih rendah.

Lebih lanjut, dari Tabel 4 terlihat bahwa pada padat populasi *L. minor* yang lebih tinggi (50% dan 62,5%) konsentrasi total Cr dalam air limbah (media tanam) meningkat mencapai 0,033 mg/l (hari ke 4) dan 0,032 mg/l (hari ke 6) (Gambar 1).



Gambar 1. Pola Penyerapan Logam Total Cr Oleh *L. minor* Dalam Berbagai Kepadatan Pada Berbagai Waktu Pengamatan (a) 2 hari, (b) 4 hari, dan (c) 6 hari

Adanya peningkatan konsentrasi total Cr dalam air limbah pada padatan populasi yang lebih tinggi (50% dan 62,5%) terkait dengan proses degradasi total Cr dalam tumbuhan *L. minor* yang mati. Padat populasi Lemna yang lebih tinggi menyebabkan beberapa tumbuhan *L. minor* mati karena keterbatasan ruang tumbuh, ketersediaan cahaya dan unsur hara (Anonim, 2008). Tumbuhan *L. minor* yang mati akan terdegradasi dan akan melepaskan kembali total Cr yang telah terserap ke dalam air limbah.

Hasil analisis korelasi berganda menunjukkan bahwa pada hari ke 4 dan ke 6 korelasi antara total Cr dan TDS bernilai negatif ($r = -0,429$ dan $-0,412$). Hal ini menunjukkan bahwa penyerapan total Cr terjadi pada kondisi TDS rendah yaitu pada padat populasi rendah. Efektivitas penyerapan total Cr oleh *L. minor* dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Efektifitas Daya Serap Total Cr Oleh *L. minor* Pada Padatan Populasi 37,5% Dari Air Limbah Tekstil

Waktu (Hari)	Kepadatan		Daya Serap
	0 % (mg/l)	37,5% (mg/l)	
2	0,035	0,015	0,020 mg/l (57,14%)
4	0,034	0,014	0,020 mg/l (58,82%)
6	0,035	0,015	0,020 mg/l (57,14)

Dari **Tabel 5** terlihat bahwa pada kepadatan tumbuhan *L. minor* 37,5% dapat menyerap total Cr lebih dari 50% (57,14% - 58,82%)

Penyerapan Cd^{2+} Antar Berbagai Persentase Kepadatan *L. minor* Dalam Waktu 2-6 Hari

Rataan penyerapan Cd^{2+} berkisar antara $0,030 \text{ mg/l} \pm 0,037$ sampai $0,063 \text{ mg/l} \pm 0,084$ (**Tabel 6**).

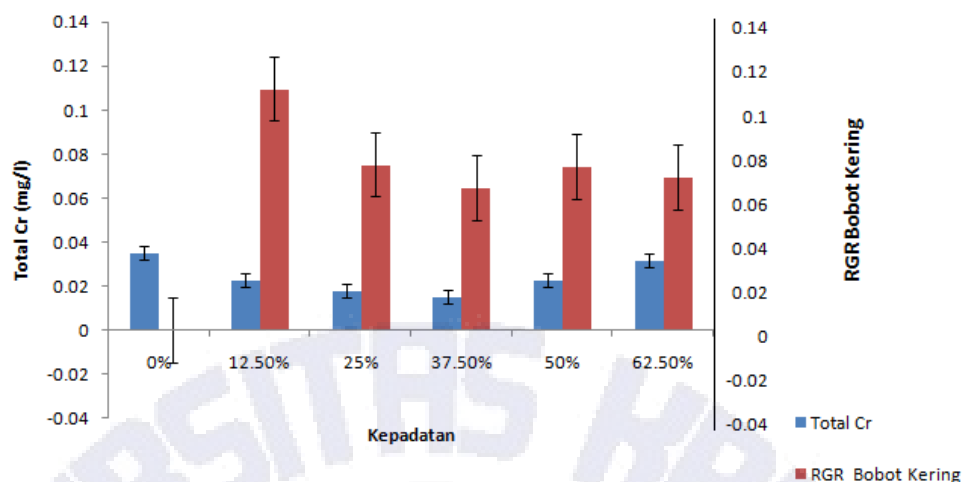
Tabel 6. Rataan Serapan Cd²⁺ (mg/l) Dari Limbah Tekstil Antar Berbagai Persentase Kepadatan *L. minor* Dalam Waktu 2 - 6 Hari

Hari	Kepadatan (%)					
	0%	12,5%	25%	37,5%	50%	62,5%
2	0,03	0,035	0,038	0,028	0,035	0,018
	± 0,037	± 0,01	± 0,016	± 0,027	± 0,059	± 0,016
W = 0,044	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
4	0,03	0,05	0,043	0,05	0,02	0,023
	± 0,037	± 0,027	± 0,035	± 0,075	± 0,022	± 0,015
W = 0,056	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
6	0,03	0,063	0,038	0,058	0,013	0,018
	± 0,037	± 0,084	± 0,033	± 0,105	± 0,008	± 0,029
W = 0,083	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)

Dari **Tabel 6** terlihat bahwa dalam waktu 2 - 6 hari antar berbagai kepadatan *L. minor* tidak terjadi penyerapan logam Cd. Tidak terjadinya penyerapan Cd oleh *L. minor* dalam waktu 2-6 hari terkait dengan proses penyerapan total Cr oleh *L. minor*. Hasil analisis korelasi berganda menunjukkan bahwa mulai pada hari ke 4 sampai hari ke 6, Cd berkorelasi negatif dengan total Cr yaitu, $r = -0,423$ dan $r = -0,416$. Hasil ini menunjukkan bahwa selama terjadi penyerapan total Cr oleh *L. minor* maka penyerapan Cd akan dihambat karena Cd lebih toksik dibandingkan dengan Cr (Zayed, 1998 dalam El-Kheir *et al.*, 2007). Selain itu adanya logam berat lain seperti Zn yang merupakan unsur hara mikro penting bagi *L. minor*.

Pola Serapan Total Cr dan Cd²⁺ Dalam Hubungannya Dengan RGR Bobot Kering Antar Berbagai Kepadatan Pada Hari Ke 6

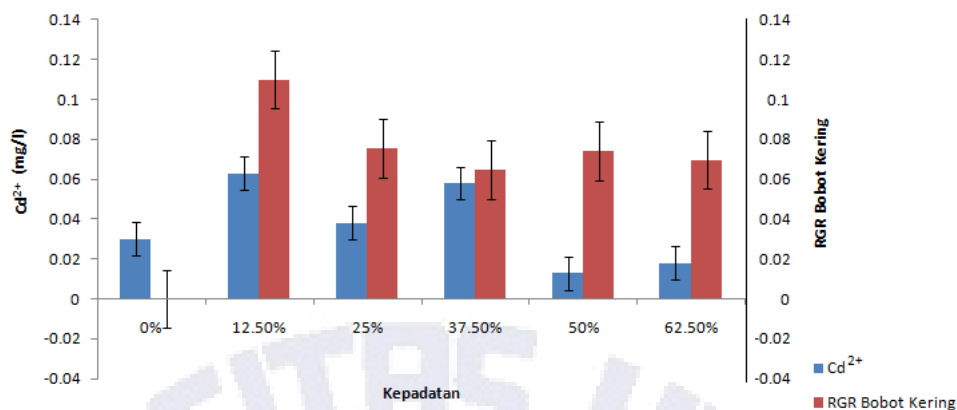
Pola serapan total Cr dalam hubungannya dengan RGR Bobot Kering antar berbagai persentase kepadatan pada hari ke 6 disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Fluktuasi Pola Serapan Total Cr dan Pertumbuhan *L. minor* Berdasarkan RGR Bobot Kering Antar Berbagai Kepadatan pada Hari Ke 6

Dari **Gambar 2** terlihat nilai rata-rata RGR bobot kering pada hari ke 6 pada populasi *L. minor* 37,5% turun kemudian secara gradasi meningkat pada kepadatan populasi Lemna yang lebih tinggi (50% dan 62,5%). Pada kepadatan populasi *L. minor* 37,5% penyerapan total Cr paling maksimal sedangkan pada kepadatan populasi 37,5% RGR bobot kering *L. minor* berada pada titik paling rendah di antara kepadatan yang lain.

Sedangkan untuk pola serapan Cd^{2+} dalam kaitannya dengan rata-rata RGR bobot kering antar berbagai persentase kepadatan pada hari ke 6 disajikan dalam **Gambar 3**.



Gambar 3. Fluktuasi Pola Serapan Cd dan Pertumbuhan *L. minor* Berdasar RGR Bobot Kering Antar Berbagai Kepadatan Pada Hari Ke 6

Dari **Gambar 3** tampak bahwa penyerapan Cd²⁺ dalam waktu 2 - 6 hari tidak terjadi sehingga RGR Bobot Kering tidak terpengaruh oleh Cd²⁺. Keberadaan logam berat lain dalam air limbah seperti total Cr, Zn²⁺, Pb²⁺ akan berpengaruh terhadap selektivitas *L. minor* dalam menyerap logam berat. Nampaknya Cd²⁺ akan diserap setelah semua logam berat lainnya terserap oleh *L. minor*.

KESIMPULAN

1. Padat populasi *L. minor* yang optimal dalam penyerapan total Cr adalah 37,5% dengan efektivitas penyerapan sebesar 50% lebih (57,15% - 58,82%).
2. Penyerapan Cd oleh *L. minor* pada berbagai kepadatan tidak terjadi selama 2 -6 hari disebabkan karena adanya selektivitas penyerapan logam. Nampaknya Cd akan mulai terserap setelah semua logam terserap secara tuntas.

SARAN

1. Penggunaan larutan yang hanya mengandung logam Cd sebagai media tanam untuk menentukan efektivitas penyerapan Cd.
2. Penggunaan kombinasi populasi *L. minor* dengan jenis Lemna yang lain dalam proses fitoremediasi logam berat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Drs. Soenarto Ns., MSc yang telah membantu dalam identifikasi spesies *Lemna* dan bapak Leopoldus Ricky Sasongko S.Si yang telah membantu dalam analisis data.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G dan S.S Santika. 1987. *Metode Penelitian Air*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Anonim. 2008. *Population Growth In Lemna minor*. Carolina Biological Supply Company.
- El-Kheir, W.A., G. Ismail, F.A. El- Nour, T. Tawfik, and D. Hammad. 2007. Assessment The Efficiency of Duckweed (*Lemna gibba*) in Wastewater Treatment. *International Journal Of Agriculture And Biology* Vol. 9 No. 5.
- Gaurav, D., S. Preet, and K.K Dua. 2010. Chronic Cadmium Toxicity in Rats: Treatment With Combined Administration Of Vitamins, Amino Acid, Antioxidants and Essential Metals. *Journal of Food and Drug Analysis* Vol. 18, 464-470.
- Lamai, C., M. Kruatrachue, P. Pokethitiyook, E.S. Upatham, and V. Soonthornsarathool. 2004. Toxicity and Accumulation of Lead and Cadmium in The Filamentous Green Alga *Cladophora fracta* (O.F. Muller ex Vahl) Kutzing : A Laboratory Study. *ScienceAsia* 31 (2005), 121-127.
- Leblelici, Z., A. Aksoy, and F. Duman. 2009. Influence of Salinity On The Growth and Heavy Metal Accumulation Capacity Of *Spirodela polyrrhiza* (Lemnaceae). *Turk J Biol* 35, 215-220.
- Mkandawire, M., and E.G. Dudel. 2007. Are *Lemna spp.* Effective Phytoremediation Agents?. *Journal of Global Science*, 56-57.
- Pivetz, B.E. 2001. Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites. EPA.
- Ray, Suranjana and M.K Ray. 2009. Bioremediation of Heavy Metal Toxicity – with Special Reference to Chromium. *Al Ameen J Med Sci* Vol. 2, 57-63.
- Shanker, A.K., C. Cervantes., H. Loza-Tavera., and S. Avudainayagam. 2005. Chromium Toxicity in Plants. *Environment International* 31, 739-753.
- Steel, R.G.D dan J.H. Torie. 1989. *Prinsip dan Prosedur Statiska*. PT. Gramedia, Jakarta.
- Sudarmadji, S., B. Haryono, dan Suhardi. 1997. *Prosedur Analisa untuk Bahan Makanan dan Pertanian*. Yogyakarta : Liberty.
- Suthersan, S.S. 1999. Phytoremediation. Boca Raton : CRC Press LLC.