

**FITOREMEDIASI AIR TERCEMAR TEMBAGA (Cu)
MENGGUAKAN *Salvinia molesta* DAN *Pistia stratiotes*
SERTA PENGARUHNYA TERHADAP PERTUMBUHAN
TANAMAN *Brassica rapa***

**Phytoremediation of Copper (Cu) Contaminated Water Using
Salvinia molesta and *Pistia stratiotes* and Its Effect on
Growth of *Brassica rapa***

Fatihah Baroroh¹, Eko Handayanto^{1*}, Rony Irawanto²

¹Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl.Veteran No 1 Malang 65145, ²Balai
Konservasi Tumbuhan Kebun Raya Purwodadi – LIPI

*penulis korespondensi: handayanto@ub.ac.id

Abstract

Electroplating industry is one of the industries that produces liquid waste containing Cu. The discharge of the liquid waste directly dumped into the river can cause negative effects. This study was aimed to elucidate the effectiveness of aquatic plants of (*Salvinia molesta*) and (*Pistia stratiotes*) in lowering the content of Cu in water containing 2 ppm and 5 ppm Cu. The remediated water was then used to water *Brassica rapa*. Results showed that *Pistia stratiotes* was able to decrease Cu heavy metal at concentrations of 2 ppm by 94% and 5 ppm by 90%, but *Pistia stratiotes* plant was damaged in the form of chlorosis and necrosis in both concentrations. *Salvinia molesta* was able to reduce Cu heavy metal by 96% at concentrations of 2 ppm and 95% at 5 ppm with no plant damage. In addition, the phytoremediation treatment could affect water and soil pH values. Post-phytoremediation water application had no significant effect on the growth and yield of *Brassica rapa* plant. *Brassica rapa* plant was also able to accumulate Cu heavy metal in its root and canopy. The value of Cu heavy metal content in the root and canopy of *Brassica rapa* plant was above the Cu metal threshold in the vegetables. *Brassica rapa* was damaged in the leave of chlorosis and necrosis due to toxicity of Cu heavy metal.

Keywords: *Brassica rapa*, heavy metal of copper, phytoremediation, *Pistia stratiotes*, *Salvinia molesta*

Pendahuluan

Industri elektroplating merupakan salah satu industri yang menghasilkan limbah cair yang berbahaya karena mengandung senyawa logam berat. Logam berat dapat mengakibatkan keracunan apabila terakumulasi dalam tubuh makhluk hidup dan dalam jangka waktu panjang dapat menyebabkan kematian apabila telah melebihi ambang batas (Putranto, 2011). Kotagede merupakan salah satu daerah yang merupakan sentra kerajinan perak dan pengolahannya menggunakan proses elektroplating. Industri elektroplating di Kotagede menghasilkan limbah cair yang mengandung logam berat tembaga (Cu) dan

pengolahan limbahnya masih sangat sederhana. Berdasarkan Sekarwati *et al* (2015) limbah elektroplating di Kotagede mengandung logam berat tembaga (Cu) sebesar 84,9350 mg L⁻¹ yang telah melebihi baku mutu limbah cair industri elektroplating untuk tembaga yaitu sebesar 0,6 mg L⁻¹. Salah satu upaya mengurangi konsentrasi bahan pencemar di dalam air sebelum dibuang ke lingkungan dengan memanfaatkan proses alami adalah fitoremediasi. Fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi (Rondonuwu, 2014). Teknik fitoremediasi dianggap teknologi yang inovatif, ekonomis,

dan relatif aman terhadap lingkungan (Sidauruk dan Patricius, 2015). Menurut Yuliani *et al.* (2013), tanaman Kiambang mampu menyerap logam berat dengan total persentase logam Cu pada air limbah sebesar 81,68% dari konsentrasi 20 ppm. Menurut Raras *et al.* (2005), menyebutkan bahwa tanaman Kayu apu mampu menyerap logam Cu pada air tercemar selama pengukuran 4 minggu yaitu sebesar 4,18 ppm, 4,48 ppm, 3,75 ppm dan 2,53 ppm. Untuk itu dalam upaya pemanfaatan tanaman dalam meremediasi air tercemar logam berat tembaga (Cu) maka dilakukan percobaan dengan menggunakan tumbuhan akuatik Kiambang (*Salvinia molesta*) dan Kayu apu (*Pistia stratiotes*). Kedua tanaman ini bukan termasuk tanaman pangan serta banyak ditemukan di alam dan tumbuh secara liar karena termasuk dalam kategori gulma air.

Kedua tumbuhan ini memiliki tingkat pertumbuhan yang tinggi serta memiliki kemampuan untuk menyerap hara langsung dari perairan disekitarnya. Pakcoy (*Brassica rapa*) merupakan tanaman hortikultura yang mampu mengakumulasi logam pada bagian tubuhnya. Sehingga tanaman pakcoy ini mampu digunakan sebagai indikator keberadaan logam berat pada tanah. Apabila tanaman Pakcoy tersebut mengandung logam berat Cu dan dikonsumsi oleh manusia maka dapat menyebabkan akumulasi logam berat Cu dalam tubuh manusia.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk (1) mengetahui efektifitas Kiambang (*Salvinia molesta*) dan Kayu apu (*Pistia stratiotes*) dalam menurunkan kandungan logam berat tembaga (Cu) pada 2 konsentrasi yang berbeda, dan (2) mengetahui pertumbuhan tanaman Pakcoy (*Brassica rapa*) yang disirami air tercemar Cu pascafitoremediasi dan potensi toksisitas air tercemar Cu pasca fitoremediasi terhadap tanah dan tanaman Pakcoy.

Metode Penelitian

Waktu dan lokasi penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret sampai Juli 2017 di Kebun Raya Purwodadi, Laboratorium Kimia Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya serta Laboratorium Kimia Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Brawijaya. Penelitian ini terdiri atas 2 tahap yaitu (1) percobaan fitoremediasi air tercemar tembaga (Cu) dengan menggunakan tumbuhan akuatik Kiambang (*Salvinia molesta*) dan Kayu apu (*Pistia stratiotes*) dan (2) penggunaan air pasca fitoremediasi untuk irigasi tanaman Pakcoy (*Brassica rapa*).

Penelitian 1: Fitoremediasi air tercemar Cu

Analisis awal

Hasil analisis awal pH pada tanah dan air menunjukkan bahwa pH awal tanah yang digunakan sebagai media tanam untuk tanaman budidaya Pakcoy adalah 5,2 dan pH air yang digunakan sebagai media tanam bagi tumbuhan akuatik adalah sebesar 6,7. Berdasarkan hasil analisis logam berat Cu didapatkan kandungan logam berat Cu pada air sebesar 0,0095 ppm, sedangkan pada tanah sebesar 0,218 ppm. Nilai logam berat Cu pada tanah dan nilai logam berat Cu pada air masih berada dibawah ambang batas logam berat pada tanah dan air.

Aklimatisasi tumbuhan akuatik

Sampel tumbuhan akuatik *Salvinia molesta* dan *Pistia stratiotes* yang berwarna hijau dan masih dalam keadaan segar diambil dari kolam akuatik Kebun Raya Purwodadi. Sampel tanaman diaklimatisasi pada media air selama 2 minggu agar tanaman mampu beradaptasi dengan lingkungan sekitar dan mampu meregenerasi bagian tubuh yang rusak.

Range Finding Test (RFT)

RFT diperlukan untuk mengetahui konsentrasi maksimal tanaman dapat tumbuh dan menyerap logam berat tembaga (Cu). RFT dilakukan selama 7 hari karena dalam waktu 7 hari tanaman sudah mampu menyerap logam dengan maksimal sesuai kemampuan fitoremediasi tanaman tersebut. RFT dilakukan pada konsentrasi 3, 5, 10, 15 ppm. RFT dilakukan menggunakan gelas plastik yang berisi 250 mL larutan logam dengan berat tanaman yang digunakan adalah 5 g. RFT dilakukan dengan 2 kali ulangan dengan 4 perlakuan konsentrasi.

Fitoremediasi

Pada perlakuan fitoremediasi sampel tumbuhan akuatik yang sudah diaklimatisasi selama 2 minggu digunakan adalah seberat 75 g untuk

tiap satuan percobaan. Masing-masing satuan percobaan berisi air tercemar Cu sebanyak 5 L. Konsentrasi yang digunakan pada perlakuan fitoremediasi adalah konsentrasasi rendah (2 ppm) dan konsentrasi tinggi (5 ppm) sedangkan untuk perlakuan tanaman ada 3 perlakuan yaitu tanpa tanaman, tumbuhan akuatik *Salvinia molesta* dan tumbuhan akuatik *Pistia stratiotes*. Rancangan Percobaan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Perlakuan ini dilakukan selama 14 hari dengan pengamatan selama 2 hari sekali setelah perlakuan yaitu 2, 4, 6, 8, 10, 12 dan 14 Hari Setelah Perlakuan (HSP).

Pengamatan

Pengamatan berupa morfologi tumbuhan seperti warna daun, klorosis, kering, layu atau yang lainnya dengan cara mengamati perubahan fisik tumbuhan akuatik. Setelah masa percobaan selesai dilakukan penimbangan berat basah akhir dan berat kering tanaman, dilakukan pada saat tanaman akuatik telah dipanen. Selain itu juga dilakukan uji laboratorium untuk mengetahui kandungan logam berat Cu pada air pasca fitoremediasi, akar dan tajuk tumbuhan akuatik. Sampel dari masing-masing perlakuan baik air maupun tumbuhan akuatik dilakukan uji kandungan logam berat Cu menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) dan untuk analisa pH air menggunakan alat pH meter.

Penelitian 2: Penggunaan air pasca fitoremediasi untuk irigasi tanaman Pakcoy

Persiapan media dan bahan tanam

Media tanam yang digunakan adalah tanah berasal dari Kebun Raya Purwodadi yang diambil secara komposit pada kedalaman 0-30 cm yang sebelumnya dilakukan analisis awal untuk mengetahui kandungan logam berat tembaga Cu dan pH awal. Tanah dikering anginkan selama 3 hari. Kemudian disiapkan polibag dan bibit tanaman Pakcoy sesuai dengan jumlah satuan percobaan. Untuk masing-masing satuan percobaan dilakukan penimbangan tanah sebanyak 2 kg tanah. Bahan tanam yang digunakan berasal dari benih Pakcoy yang telah disemai. Setelah media tanam dan bahan tanam telah siap kemudian dilakukan aklimatisasi Pakcoy pada polibag.

Tiap polibag diisi dengan 3 bibit tanaman Pakcoy.

Pemupukan

Pemupukan dilakukan menggunakan pupuk Urea dengan cara membuat lubang disamping tanaman dan kemudian langsung dimasukkan pupuk dalam lubang yang telah dibuat. Setelah itu lubang ditutup kembali dengan menggunakan tanah. Pemupukan disesuaikan dengan kebutuhan pupuk tanaman perpolibag.

Pemeliharaan

Pemeliharaan tanaman dilakukan setiap hari selama penelitian, pemeliharaan yang dilakukan ialah pengairan, penyiangan dan pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT). Pengairan tanaman dilakukan pada pagi hari atau sore hari selama masa percobaan. Air yang digunakan untuk irigasi tanaman Pakcoy adalah air pasca fitoremediasi yang diaplikasikan sesuai dengan perlakuan. Penyiangan dan pengendalian OPT dilakukan menggunakan cara langsung diambil apabila terdapat OPT yang mengganggu pertumbuhan tanaman.

Pengamatan

Pengamatan tanaman Pakcoy dilakukan selama 7 hari sekali yaitu 7, 14 dan 21 hari setelah perlakuan (HSP). Pengamatan tanaman berupa jumlah daun, tinggi tanaman serta pengamatan morfologi tanaman. Tinggi tanaman menggunakan alat ukur penggaris sedangkan untuk jumlah daun langsung dilakukan penghitungan secara manual. Setelah Pakcoy dipanen dilakukan pengamatan berat basah tanaman dan berat kering tanaman menggunakan timbangan. Selain itu juga dilakukan analisis kandungan logam berat Cu pada tanah serta akar dan tajuk tanaman Pakcoy dengan metode AAS, juga dilakukan analisis akhir pH tanah.

Hasil dan Pembahasan

Range Finding Test (RFT)

Konsentrasi logam Cu yang akan digunakan dalam fitoremediasi adalah ketika kerusakan tumbuhan di atas 80% pada saat RFT. Persentase tersebut didapatkan dari keadaan fisik tumbuhan akuatik. RFT dilakukan selama 7 hari dengan 2 kali pengamatan yaitu awal dan

akhir. Berdasarkan hasil RFT pada Tabel 1 diketahui bahwa *Salvinia molesta* mampu tumbuh dengan baik pada konsentrasi logam berat Cu sebesar 3 ppm, 5 ppm, 10 ppm dan 15 ppm. Hanya saja pada konsentrasi 15 ppm akar pada *Salvinia molesta* terlihat putus. Namun persentase hidup *Salvinia molesta* masih di atas

batas kerusakan yang diperbolehkan. Hasil penelitian Yuliani *et al.* (2013) menunjukkan bahwa *Salvinia molesta* mampu bertahan hidup pada konsentrasi logam berat Cu sebesar 20 ppm dengan persentase penyerapan logam berat Cu sebesar 90-94%.

Tabel 1. Hasil pengamatan RFT *Salvinia molesta*

Konsentrasi	Pengamatan awal	Pengamatan akhir	Keterangan	% hidup
3 ppm	Tanaman hijau segar akar tidak putus	Tanaman hijau segar akar tidak putus	Tanaman hidup	100
	Tanaman hijau segar akar tidak putus	Tanaman hijau segar akar tidak putus	Tanaman hidup	100
5 ppm	Daun hijau segar akar tidak putus	Daun hijau segar akar tidak putus	Tanaman hidup	100
	Daun hijau segar akar tidak putus	Daun hijau segar akar tidak putus	Tanaman hidup	100
10 ppm	Daun hijau segar akar tidak putus	Daun hijau segar akar tidak putus	Tanaman hidup	100
	Daun hijau segar akar tidak putus	Daun hijau segar akar tidak putus	Tanaman hidup	100
15 ppm	Daun hijau segar akar tidak putus	Daun hijau segar akar tidak putus	Tanaman hidup	100
	Daun hijau segar akar tidak putus	Daun hijau segar akar putus	Tanaman hidup	90

Pistia stratiotes mampu tumbuh dengan baik pada konsentrasi 3 ppm, sedangkan pada konsentrasi 5 ppm tumbuhan ini mulai terjadi kerusakan yaitu berupa daun menguning pada ujung daun dengan persentase kerusakan 90% (Tabel 2). Ketika logam berat Cu diaplikasikan pada konsentrasi 10 ppm terjadi kerusakan

yang lebih parah yaitu daun kering dan kuning dengan persentase kerusakan 70%. Pada aplikasi logam Cu sebesar 15 ppm *Pistia stratiotes* terlihat mengalami kerusakan yang sangat parah yaitu daun menguning dan membusuk dengan persentase kerusakan sebesar 60%.

Tabel 2. Hasil pengamatan RFT *Pistia stratiotes*

Konsentrasi	Pengamatan awal	Pengamatan akhir	Keterangan	% hidup
3 ppm	Tanaman hijau segar	Tanaman hijau segar	Tanaman hidup	100
	Tanaman hijau segar	Tanaman hijau segar	Tanaman hidup	100
5 ppm	Tanaman hijau segar	Sedikit kuning di tepi	Tanaman hidup	90
	Tanaman hijau segar	Sedikit kuning di tepi	Tanaman hidup	90
10 ppm	Tanaman hijau segar	Kuning dan kering tepi	Tanaman hidup	70
	Tanaman hijau segar	Kuning dan kering tepi	Tanaman hidup	70
15 ppm	Tanaman hijau segar	Kuning dan kering hampir keseluruhan daun	Tanaman hidup	60
	Tanaman hijau segar	Kuning dan kering hampir keseluruhan daun	Tanaman hidup	60

Hal ini tidak sesuai dengan sebuah penelitian yang menjelaskan bahwa *Pistia stratiotes* mampu tumbuh dan menyerap logam berat Cu dengan baik pada konsentrasi logam Cu sebesar 10

ppm (Raras *et al.*, 2015). Yuliani *et al.*, (2013) menyebutkan bahwa setiap tumbuhan memiliki kemampuan yang berbeda-beda untuk menyerap dan mentranslokasikan ion-ion

logam. Setiap tumbuhan dapat melakukan lokalisasi logam pada jaringan untuk mencegah peracunan logam terhadap sel. Jadi pada masing-masing tumbuhan memiliki batas maksimal penyerapan unsur-unsur hara yang berbeda, sehingga ketika daya serap tumbuhan terhadap unsur hara telah mencapai batas maksimal, seberapa banyak unsur hara (ion logam) yang ada didalam media tanam, maka tumbuhan tidak akan menyerap lagi unsur hara tersebut. Berdasarkan hasil RFT selama 7 hari pada *Salvinia molesta* dan *Pistia stratiotes*, maka didapatkan konsentrasi logam berat Cu yang akan digunakan pada penelitian fitoremediasi ini adalah konsentrasi rendah sebesar 2 ppm dan konsentrasi tinggi yaitu 5 ppm karena pada konsentrasi tersebut ke dua tumbuh tersebut mampu tumbuh dengan baik dengan persentase kerusakan yang terjadi lebih dari 80%.

Fitoremediasi air tercemar Cu

Morfologi tumbuhan akuatik

Perubahan fisik tumbuhan diamati untuk mengetahui dampak yang timbul setelah tumbuhan akuatik terpapar logam berat Cu selama 14 hari (Tabel 3). Perlakuan T1K1 dan T1K2 pada 7 HSP dan 14 HSP terlihat adanya daun baru yang tumbuh. Hal ini menunjukkan bahwa *Salvinia molesta* mampu tumbuh dengan baik walaupun pada kondisi yang tercemar logam Cu. Namun *Salvinia molesta* pada satuan percobaan T1K1 ulangan 3 dan T1K2 ulangan 1 baik pada 7 HSP maupun 14 HSP menunjukkan bahwa ada beberapa daun yang berwarna coklat.

Perubahan daun *Salvinia molesta* dari hijau menjadi coklat pada ujung tumbuhan menandakan daun tersebut mati dan tumbuh daun baru pada ujung yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa *Salvinia molesta* mampu tumbuh dan meregenerasi bagian tubuh yang telah mati walaupun pada kondisi air yang tercemar Cu. Rahmasyah (2009), mengemukakan bahwa *Salvinia molesta* memiliki tingkat survival yang tinggi pada media yang terkontaminasi. Hal tersebut ditunjukkan dengan kondisi pertumbuhan kiambang yang masih dapat tumbuh baik meskipun pada lingkungan yang tercemar. Perubahan yang terlihat yakni pada ukuran daun yang makin membesar, walaupun sebagian daun terlihat

menghitam, selain itu banyak tumbuh anakan. Hal tersebut dapat terjadi karena suhu dan lingkungan media tumbuh masih memungkinkan untuk berkembangbiak yaitu pada suhu rata-rata 26,75°C. *Pistia stratiotes* menunjukkan adanya daun kuning pada setiap satuan percobaan kecuali perlakuan T2K1 ulangan 3. Terdapat juga beberapa daun yang kering pada semua perlakuan baik pada 7 HST maupun 14 HST. Selain itu juga terlihat adanya daun mati yang telah terlepas dari tubuh tumbuhan yaitu pada perlakuan T2K2 ulangan 1. Pada perlakuan T2K2 pada ulangan 1 dan ulangan 3 juga terlihat bahwa akar-akar tanaman putus. Hal ini menunjukkan bahwa *Pistia stratiotes* tidak mampu tumbuh dan beradaptasi dengan baik dalam lingkungan yang tercemar. Semakin tinggi konsentrasi logam berat Cu dalam air maka *Pistia stratiotes* semakin tidak mampu bertahan hidup pada air tersebut ditunjukkan dengan adanya kerusakan berupa daun kuning, daun kering dan daun mati. Rosidah *et al.* (2014) menjelaskan bahwa pertumbuhan akar dan warna daun umumnya menjadi patokan respon fisiologis tumbuhan akibat cekaman logam karena berhubungan erat dengan terganggunya aktivitas dalam sel dan metabolisme tumbuhan. Cekaman mineral umumnya mengakibatkan daun mengalami klorosis ataupun nekrosis.

Perubahan biomassa tumbuhan akuatik

Terlihat adanya perbedaan penambahan berat basah dari awal hingga akhir perlakuan (Tabel 4). Hal ini karena terjadinya perbedaan reaksi yang ditunjukkan ketika menyerap logam berat. Perbedaan reaksi tumbuhan menunjukkan kemampuan adaptasi tumbuhan terhadap konsentrasi logam berat Cu yang ada pada air. *Salvinia molesta* pada konsentrasi logam Cu 2 ppm mengalami peningkatan berat biomassa sebesar 79 g. *Salvinia molesta* pada konsentrasi 5 ppm juga mengalami peningkatan berat biomassa sebesar 77,67 g. *Pistia stratiotes* pada konsentrasi Cu 2 ppm juga mengalami peningkatan biomassa sebesar 78,67 g. Menurut Supriyantini dan Soenardjo (2015), tumbuhan dapat melakukan alokasi dan menurunkan kadar toksisitas logam berat melalui pengenceran dengan menyimpan air dalam daun, sehingga biomassa semakin meningkat.

Tabel 3. Hasil pengamatan tumbuhan akuatik setelah perlakuan fitoremediasi

Perlakuan	7 HSP						14 HSP					
	Daun			Akar			Daun			Akar		
	Baru	Coklat	Kuning	Kering	Mati	Putus	Baru	Coklat	Kuning	Kering	Mati	Putus
T1K1 (1)	√						√					
T1K1 (2)	√						√					
T1K1 (3)	√						√					
T1K2 (1)	√	√					√	√				
T1K2 (2)	√	√					√	√				
T1K2 (3)	√						√					
T2K1 (1)			√	√					√			
T2K1 (2)			√	√					√			
T2K1 (3)				√						√		
T2K2 (1)			√	√	√	√			√	√	√	√
T2K2 (2)			√	√					√	√		
T2K2 (3)			√	√		√			√	√		√

Keterangan : T0K1: 2 ppm Cu Tanpa Tanaman (kontrol) T0K2: 5 ppm Cu Tanpa Tanaman (kontrol) T1K1: Tanaman *Salvinia molesta* 2 ppm Cu, T1K2: *Salvinia molesta* 5 ppm Cu, T2K1: *Pistia stratiotes* 2 ppm Cu dan T2K2: *Pistia stratiotes* 5 ppm Cu.

Pada *Pistia stratiotes* konsentrasi 5 ppm mengalami penurunan berat biomassa yang cukup banyak yaitu sebesar 58,67 g. Hal ini karena *Pistia stratiotes* pada konsentrasi 5 ppm daun tumbuhan mengalami klorosis dan nekrosis kemudian daun menjadi busuk dan mati serta akar *Pistia stratiotes* mengalami kerontokan dalam jumlah yang besar pada saat

akhir penelitian sehingga mengurangi berat biomassa tanaman tersebut. Penelitian yang telah dilakukan oleh Vasely *et al.*, (2011) bahwa ketika *Pistia stratiotes* terkena paparan logam berat maka akan mengakibatkan penurunan produksi biomassa pada bobot kering *Pistia stratiotes*.

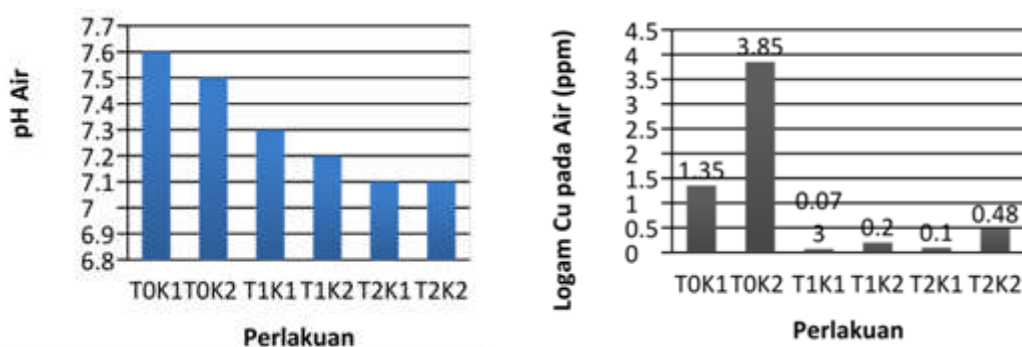
Tabel 4. Perubahan biomassa tumbuhan akuatik terhadap serapan Cu

Jenis Tumbuhan	Konsentrasi	Berat Basah Awal (g)	Berat Basah Akhir (g)	Berat Kering (g)
<i>Salvinia molesta</i>	2 ppm	75	79	4,28
	5 ppm	75	77,67	4,04
<i>Pistia stratiotes</i>	2 ppm	75	78,67	3,32
	5 ppm	75	58,67	2,99

pH air dan kandungan Cu pasca fitoremediasi

Nilai pH air awal yaitu sebesar 6,7. Namun setelah diberikan larutan logam berat Cu terlihat nilai pH mulai meningkat pada perlakuan kontrol (Gambar 1). Pada perlakuan dengan menggunakan tumbuhan akuatik, nilai pH menjadi semakin menurun. Pada perlakuan kontrol tanpa tanaman yaitu T0K1 dan T0K2 menunjukkan nilai pH air yang tinggi yaitu 7,6 dan 7,53. Pada perlakuan T1K1 nilai pH sebesar 7,3 dan pada perlakuan T1K2 sebesar 7,23. Pada perlakuan T2K1 mengalami penurunan nilai pH sebesar 7,1 dan pada

perlakuan T2K2 menjadi 7,16. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya perlakuan fitoremediasi dengan menggunakan tumbuhan akuatik mampu menurunkan nilai pH air menuju nilai yang netral. Hardiani (2009) menyatakan bahwa nilai pH media sangat penting untuk diketahui karena menentukan mudah tidaknya ion-ion unsur hara diserap oleh tanaman dan juga menunjukkan keberadaan unsur-unsur yang bersifat racun bagi tanaman. Media yang terlalu asam maupun terlalu basa akan mencegah tanaman menyerap nutrisi dalam media meskipun unsur hara tersedia.



Gambar 1. Nilai pH air dan kandungan Cu pada air setelah perlakuan fitoremediasi
Keterangan kode perlakuan sama dengan Tabel 3.

Persentase penurunan logam berat Cu pada air setelah dilakukan fitoremediasi dapat dilihat pada Gambar 2. Perlakuan kontrol yaitu T0K1

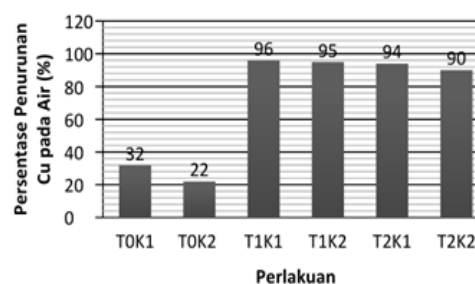
dan T0K2 menunjukkan nilai kandungan Cu pada air masing-masing sebesar 1,35 ppm dan 3,85 ppm. Konsentrasi 2 ppm pada perlakuan

T1K1 menunjukkan kandungan logam Cu sebesar 0,073 ppm sedangkan pada perlakuan T2K1 menunjukkan kandungan logam Cu sebesar 0,1 ppm. Perlakuan konsentrasi 5 ppm logam Cu pada perlakuan T1K2 menunjukkan kandungan logam sebesar 0,2 ppm sedangkan pada perlakuan T2K2 menunjukkan nilai kandungan logam sebesar 0,48 ppm. Dari uraian di atas diketahui bahwa kandungan logam pada air pasca fitoremediasi dengan perlakuan *Salvinia molesta* lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan *Pistia stratiotes*. Menurut Happy *et al.* (2012), menyebutkan bahwa kelarutan logam berat pada air akan lebih tinggi pada pH rendah, sehingga menyebabkan toksisitas logam berat semakin besar. Hasil analisis air di atas menunjukkan bahwa logam berat Cu pada perlakuan kontrol menunjukkan nilai yang cukup tinggi yang melebihi ambang batas baku mutu air sesuai Peraturan Menteri Kesehatan R.I NO 416/MENKES/IX/1990 tentang Pengolahan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air untuk tembaga yaitu sebesar 1 ppm, sedangkan pada air pasca fitoremediasi menunjukkan nilai logam Cu yang berada dibawah ambang batas baku mutu air.

Persentase penurunan Cu pada air pasca fitoremediasi

Persentase penurunan logam berat Cu paling tinggi yaitu pada perlakuan T1K1 yaitu sebesar 96% (Gambar 2), sedangkan dengan adanya perlakuan terlihat bahwa penurunan logam berat Cu terendah terdapat pada perlakuan T2K2, karena *Pistia stratiotes* mengalami kerusakan sehingga tidak mampu menyerap logam berat dengan kurang baik, walaupun begitu persentase penyerapan logam berat Cu juga cukup tinggi yaitu sebesar 90%. Hal ini menunjukkan bahwa *Salvinia molesta* lebih efektif menurunkan logam berat Cu dibandingkan dengan *Pistia stratiotes*. *Salvinia molesta* menyerap mineral baik itu logam berat maupun nutrisi disekitarnya bersamaan dengan air secara osmosis. Pengangkutan air dan garam-garam mineral dilakukan melalui penyerapan oleh sel-sel akar. Setelah melewati sel-sel akar, yang terlarut akan masuk ke *xylem* dan selanjutnya terjadi pengangkutan secara vertikal dari akar menuju batang sampai ke daun, kemudian dibawa keseluruh bagian

tumbuhan oleh jaringan tanaman yaitu floem (Yuliani *et al.*, 2013). Akibatnya berat basah tanaman meningkat, konsentrasi logam berat Cu pada air menurun dan konsentrasi logam berat Cu pada tanaman juga semakin meningkat.



Gambar 2. Persentase penurunan Cu pada air
Keterangan kode perlakuan sama dengan Tabel 3.

Akumulasi logam Cu pada tumbuhan akuatik

Salvinia molesta dan *Pistia stratiotes* mampu menyerap logam berat Cu pada tajuk dan akar tumbuhan (Tabel 5). Pada perlakuan T1K1 mampu menyerap logam berat Cu sebesar 0,97 pada tajuk dan 1,18 pada akar. Pada perlakuan T1K2 menunjukkan akumulasi logam berat tertinggi baik di akar maupun di daun yaitu sebesar 1,02 ppm dan 2,28 ppm. Hal ini karena pada perlakuan T1K2 memiliki konsentrasi Cu yang tinggi pada air dibanding perlakuan T1K1. Semakin tinggi konsentrasi logam berat pada air maka penyerapan logam berat oleh tanaman akan semakin tinggi juga. Menurut Indrasti *et al.* (2006), faktor-faktor yang mempengaruhi penyerapan logam berat salah satunya ialah konsentrasi logam berat, semakin tinggi konsentrasi logam, maka akan semakin banyak logam yang dapat diserap tanaman.

Pada perlakuan T2K1 mengakumulasi logam berat Cu pada tajuk dan akar sebesar 0,91 ppm dan 1,25 ppm dan pada perlakuan T2K2 sebesar 0,92 ppm dan 1,17 ppm. Akumulasi logam Cu di akar lebih tinggi pada perlakuan T2K2 sedangkan pada akar lebih besar pada perlakuan T2K1 hal ini karena pada perlakuan T2K1 terlihat akar-akar tanaman banyak yang putus sehingga mempengaruhi penyerapan logam berat Cu oleh akar. Apabila dijumlahkan akumulasi logam pada akar dan tajuk terlihat bahwa pada konsentrasi 2 ppm

tanaman yang paling banyak mengakumulasi logam berat Cu adalah *Pistia stratiotes*. Ketika logam berat Cu 5 ppm yang paling tinggi mengakumulasi logam berat Cu adalah *Salvinia molesta*. Hal ini karena pada konsentrasi 5 ppm

Pistia stratiotes mengalami kerusakan baik di akar maupun di tajuknya sehingga kemungkinan mempengaruhi penyerapan logam berat Cu pada air.

Tabel 5. Nilai kandungan logam berat Cu pada tumbuhan akuatik

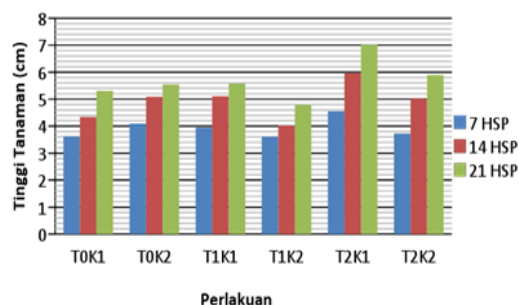
Perlakuan	Cu pada Tajuk (ppm)	Cu pada Akar (ppm)	Total Cu Tumbuhan (ppm)
T1K1	0.97	1.18	2.15
T1K2	1.02	1.26	2.28
T2K1	0.91	1.25	2.16
T2K2	0.92	1.17	2.09

Keterangan: kode perlakuan sama dengan Tabel 3.

Pertumbuhan dan produksi Pakcoy setelah aplikasi air pasca fitoremediasi

Tinggi tanaman Pakcoy

Tinggi tanaman Pakcoy dari semua perlakuan selama 3 kali pengamatan semakin meningkat (Gambar 3). Perlakuan T2K1 menunjukkan peningkatan rata-rata tinggi tanaman yang paling tinggi yaitu sebesar 7,01 cm sedangkan tinggi tanaman terendah pada perlakuan T1K2 yaitu 4,39 cm. Namun apabila dilihat dari petambahan tinggi tanaman Pakcoy terlihat bahwa tanaman Pakcoy yang digunakan sebagai indikator ini kurang mampu tumbuh dengan baik karena kurang cocok dengan media tanam serta kandungan Cu yang berada pada media tanam. Menurut Hardiani (2009) menyatakan bahwa kadar Cu yang berlebihan pada media tanam menghambat pertumbuhan tanaman sehingga tanaman tidak mampu tumbuh besar padahal sudah berumur lebih dari 60 hari.



Gambar 3. Perubahan tinggi tanaman Pakcoy setelah 21 hari perlakuan

Keterangan kode perlakuan sama dengan Tabel 3.

Jumlah daun

Penambahan jumlah daun yang paling cepat terlihat pada tanaman Pakcoy yang disiram air pasca fitoremediasi tanaman *Pistia stratiotes* dengan konsentrasi 2 ppm (T2K1) (Tabel 6). Tanaman pakcoy yang disiram air pasca fitoremediasi tanaman *Pistia stratiotes* dengan konsentrasi 5 ppm (T2K2) menunjukkan pertambahan jumlah daun yang paling lambat. Tanaman budidaya Pakcoy dapat tumbuh namun kurang optimal hal ini kemungkinan karena lingkungan yang kurang cocok serta adanya logam berat Cu pada tanah yang mempengaruhi pertumbuhan maupun hasil tanaman Pakcoy. Terlihat bahwa tanaman Pakcoy pada umur 20 HST jumlah daun mampu menjangkau 11 helai dengan berat 60,58 g (Sarido dan Junia, 2017).

Tabel 6. Perubahan jumlah daun tanaman Pakcoy setelah 21 hari perlakuan

Perlakuan	Jumlah daun		
	7 HSP	14 HSP	21 HSP
T0K1	5	5	6
T0K2	5	5	6
T1K1	5	5	6
T1K2	5	5	6
T2K1	5	6	7
T2K2	4	4	6

Keterangan: kode perlakuan sama dengan Tabel 3.

Morfologi tanaman Pakcoy

Daun tanaman Pakcoy yang paling banyak mengalami kerusakan berupa daun kering seperti terbakar (nekrosis) (Tabel 7). Terlihat pada T0K2 persentase daun kering sebesar 31%. Kemudian disusul dengan perlakuan T0K1 dan perlakuan T1K2 dengan persentase daun kering sebesar 30%. Persentase daun kuning tertinggi terlihat pada perlakuan T2K1 dengan persentase daun kuning sebesar 23%. Kerusakan daun menggulung terlihat pada perlakuan T0K2 dan T1K2 dengan persentase 5 %. Kerusakan berupa daun kering, kuning

maupun menggulung kemungkinan karena adanya toksisitas oleh logam berat Cu sehingga menjadikan tanaman menjadi rusak. Menurut Lahudin (2007) mengatakan bahwa kelebihan kadar Cu dalam media yang melewati ambang batas akan menjadi pemicu terjadinya keracunan khususnya pada tanaman seperti daun klorosis dan nekrosis. Persentase daun berlubang paling tinggi terlihat pada perlakuan *Pistia stratiotes* pada konsentrasi 5 ppm sebesar 27%. Adanya daun yang berlubang karena adanya serangan hama berupa ulat kubis.

Tabel 7. Morfologi tanaman Pakcoy setelah aplikasi air pasca fitoremediasi selama 21 HSP

Perlakuan	Daun Kering (%)	Daun Kuning (%)	Daun Menggulung (%)	Daun Berlubang (%)
T0K1	30	0	0	0
T0K2	31	5	5	10
T1K1	22	5	0	22
T1K2	30	0	5	0
T2K1	23	23	0	0
T2K2	22	0	0	27

Keterangan: kode perlakuan sama dengan Tabel 3.

Produksi biomassa tanaman Pakcoy

Produksi biomassa tanaman berupa berat basah, berat kering tanaman dan laju penyerapan logam berat tanaman Pakcoy dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Produksi biomassa Pakcoy dan laju penyerapan logam berat Cu

Perlakuan	Berat Basah (g)	Berat Kering (g)
T0K1	4,72	0,75
T0K2	5,61	0,89
T1K1	6,29	0,97
T1K2	4,12	0,86
T2K1	5,05	0,6
T2K2	6,1	0,95

Keterangan: kode perlakuan sama dengan Tabel 3.

Berat basah tanaman didapatkan dari hasil penimbangan tanaman Pakcoy pada saat setelah panen. Berat kering tanaman didapatkan setelah tanaman Pakcoy di oven selama 2x24 jam. Berdasarkan hasil

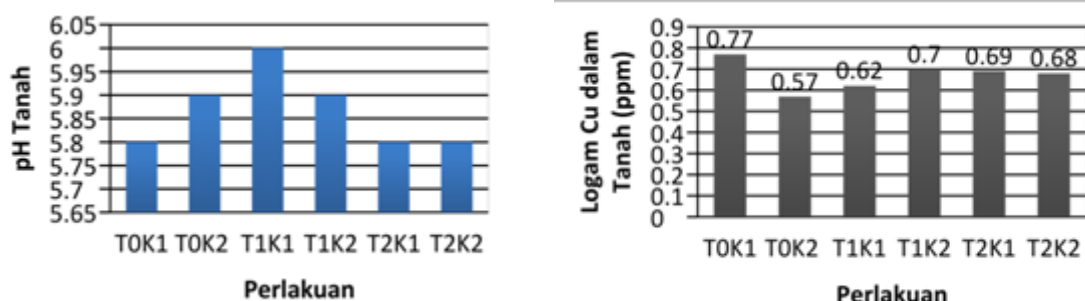
penimbangan berat basah tanaman pada Tabel 8 didapatkan bahwa berat basah tanaman paling tinggi yaitu pada perlakuan tanaman Pakcoy yang disiram dengan air dengan perlakuan T1K1. Paling rendah terdapat pada perlakuan T1K2. Berat kering tanaman tertinggi juga terdapat pada perlakuan T1K1. Berat kering terendah terdapat pada perlakuan T2K1.

pH tanah dan kandungan Cu tanah setelah aplikasi air pasca fitoremediasi

Nilai pH tanah sebelum aplikasi air pasca fitoremediasi adalah sebesar 5,2. Setelah aplikasi air pasca fitoremediasi menjadi semakin meningkat (Gambar 4). Perlakuan kontrol yaitu air tercemar logam Cu 2 ppm (T0K1) dan 5 ppm (T0K2) pH tanah masing-masing sebesar 5,8 dan 5,9. Pada tanah yang disiram air dengan perlakuan *Salvinia molesta* pada konsentrasi 2 ppm (T1K1) menunjukkan kenaikan pH yang paling tinggi mencapai pH 6. Pada perlakuan tanah yang disiram air dengan perlakuan *Salvinia molesta* pada konsentrasi logam Cu 5 ppm (T1K2) menunjukkan kenaikan pH

sebesar 5,9. Tanah yang disiram air pasca fitoremediasi dengan perlakuan tanaman *Pistia stratiotes* dengan konsentrasi 2 ppm (T2K1) dan

5 ppm (T2K2) menunjukkan nilai pH tanah yang sama yaitu 5,8.



Gambar 4. pH tanah setelah perlakuan air pasca fitoremediasi
Keterangan: kode perlakuan sama dengan Tabel 3.

Kandungan Cu dalam tanah awal sebesar 0,218 ppm setelah dilakukan aplikasi air pasca fitoremediasi kandungan logam pada tanah semakin meningkat. Berdasarkan hasil analisis laboratorium pada Gambar 8., bahwa kandungan logam berat Cu pada tanah tertinggi terdapat pada tanah yang disirami air tanpa perlakuan fitoremediasi pada konsentrasi 2 ppm (T0K1) yaitu sebesar 0,77 ppm. Terendah pada tanah yang disiram air tanpa fitoremediasi pada konsentrasi 5 ppm yaitu sebesar 0,57 ppm. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut terlihat bahwa nilai kandungan logam berat pada tanah telah berada pada konsentrasi normal logam tembaga di tanah yaitu berkisar 2 mg/kg dengan tingkat mobilitas yang sangat lambat karena ikatan yang sangat kuat dengan material organik dan mineral tanah liat. (Widyastuti, 2006).

Kandungan Cu pada tanaman Pakcoy

Nilai akumulasi logam berat Cu pada akar tajuk dan akar tanaman Pakcoy paling tinggi terdapat pada perlakuan kontrol 5 ppm (T0K2) yaitu masing-masing sebesar 0,33 ppm dan 0,49 ppm (Tabel 9). Akumulasi logam berat Cu terendah terdapat pada perlakuan tanaman Pakcoy yang disiram air pasca fitoremediasi oleh tanaman *Salvinia molesta* pada konsentrasi 5 ppm (T1K2). Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan dengan fitoremediasi dengan tanaman *Salvinia molesta* pada konsentrasi logam berat Cu sebesar 5 ppm menunjukkan perlakuan yang paling baik. Namun dari semua perlakuan yang telah dilakukan menunjukkan hasil yang tidak nyata

serta kandungan logam berat Cu dalam sayuran masih dibawah ambang batas kandungan Cu pada makanan sesuai Dirjen Pengawasan Obat dan Makanan (POM) RI telah menetapkan batas maksimum cemaran logam berat tembaga pada sayur dan buah segar yaitu 0,05 ppm (Widaningrum dan Suismono, 2007).

Tabel 9. Kandungan Cu pada tanaman Pakcoy setelah perlakuan

Perlakuan	Cu pada Tajuk (ppm)	Cu pada Akar (ppm)	Total Cu Tanaman (ppm)
T0K1	0.22	0.30	0.53
T0K2	0.33	0.49	0.82
T1K1	0.22	0.35	0.58
T1K2	0.19	0.28	0.48
T2K1	0.22	0.42	0.65
T2K2	0.26	0.41	0.68

Keterangan: kode perlakuan sama dengan Tabel 3.

Kesimpulan

Tumbuhan akuatik *Pistia stratiotes* mampu menurunkan logam berat Cu pada konsentrasi 2 ppm sebesar 94% dan 5 ppm sebesar 90% namun tanaman *Pistia stratiotes* mengalami kerusakan berupa klorosis dan nekrosis pada kedua konsentrasi, sedangkan pada tumbuhan akuatik *Salvinia molesta* mampu menurunkan logam berat Cu sebesar 96% pada konsentrasi 2 ppm dan 95% pada 5 ppm tanpa terjadi kerusakan. Aplikasi air pasca fitoremediasi tidak memberikan pengaruh yang nyata

terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman Pakcoy. Tanaman Pakcoy juga mampu mengakumulasi logam berat Cu dalam akar maupun tajuk tanaman. Nilai kandungan logam berat Cu dalam akar dan tajuk tanaman Pakcoy berada di atas ambang batas logam Cu dalam sayuran.

Daftar Pustaka

- Happy, A., Masyamsir, dan Yayat D. 2012. Distribusi kandungan logam berat pb dan cd pada kolom air dan sedimen Daerah Aliran Sungai Citarum Hulu. *Jurnal Perikanan dan Kelautan* 3 (3): 175-182.
- Hardiani, H. 2009. Potensi tanaman dalam mengakumulasi logam Cu pada media tanah terkontaminasi limbah padat industri kertas. *Jurnal Selulosa* 44 (1): 27-40.
- Indrasti, N.S., Suprihatin, B. dan Novita, A. 2006. Penyerapan logam Pb dan Cd oleh eceng gondok : pengaruh konsentrasi logam dan lama waktu kontak. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 16 (1): 44-50.
- Lahudin. 2007. Aspek Unsur Makro dalam Kesuburan Media. Universitas Sumatera Utara.
- Putranto, T.T. 2011. Pencemaran logam berat merkuri (Hg) pada air tanah. *Jurnal Teknik* 32 (1): 62-71.
- Rahmansyah M. 2009. Tumbuhan Akumulator untuk Fitoremediasi Lingkungan Tercemar Merkuri dan Sianida Penambangan Emas. Jakarta (ID): LIPI Press.
- Raras, D.P., Yusuf, B. dan Alimuddin. 2015. Analisis Kandungan Ion Logam Berat (Fe, Cd, Cu dan Pb) pada Tanaman Apu-Apu (*Pistia stratiotes*) dengan Menggunakan Variasi Waktu. *Prosiding Seminar Tugas Akhir FMIPA UNMUL* ISBN:978-602-72658-0-6.
- Rondonuwu, S.B. 2014. Fitoremediasi limbah merkuri menggunakan tanaman dan sistem reaktor. *Jurnal Ilmiah Sains* 14 (1): 52-59.
- Rosidah, S., Anggraito, Y.U. dan Pukan, K.K. 2014. Uji Toleransi tanaman tembakau (*Nicotiana tabacum* L.) terhadap cekaman kadmium (Cd), timbal (Pb) dan tembaga (Cu) pada kultur cair. *Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam* 37 (1): 7-15.
- Sarido, L. dan Junia. 2017. Uji pertumbuhan dan hasil tanaman Pakcoy (*Brassica rapa* L.) dengan pemberian pupuk organik cair pada system hidroponik. *Jurnal AGRIFOR* 16 (1): 65-74.
- Sekarwati, N., Murachman, B. dan Sunarto. 2015. Dampak logam berat Cu (tembaga) dan Ag (perak) pada limbah cair industri perak terhadap kualitas air sumur dan kesehatan masyarakat serta upaya pengendaliannya di Kota Gede Yogyakarta. *Jurnal EKOSAINS* 7 (1): 64-76.
- Sidauruk, L. dan Sipayung, P. 2015. Fitoremediasi lahan tercemar di kawasan industri Medan dengan tanaman hias. *Jurnal Pertanian Tropik* 2 (2): 178-186.
- Supriyantini, E dan N. Soenardjo. 2015. Kandungan logam berat timbal (Pb) dan tembaga (Cu) pada akar dan buah mangrove *Avicennia marina* di perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis* 18 (2): 98-106.
- Vesely, T., Marek, N., Lukas, T., Jirina, S. and Pavel, T. 2011. Water lettuce *Pistia stratiotes* L. response to lead toxicity. Springer Science and Business Media B.V. Department of Agroenvironmental Chemistry and Plant Nutrition Faculty of Agrobiolology.
- Widaningrum, M. dan Suismono. 2007. Bahaya kontaminasi logam berat dalam sayuran dan alternatif pencegahan cemarannya. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian* 3: 16-27.
- Widyastuti, P. 2006. Bahaya Bahan Kimia Pada Kesehatan Manusia dan Lingkungan. https://books.google.co.id/books?id=GryOg5GbgogC&pg=PR4&dq=palupi+widyastuti&hl=id&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=palupi%20widyastuti&f=false (diakses 26 Maret 2017).
- Yuliani, D.E., Sitorus, S. dan T. Wirawan, T. 2013. Analisis kemampuan kiambang (*Salvinia molesta*) untuk menurunkan konsentrasi ion logam Cu (II) pada media tumbuh air. *Jurnal Kimia Mulawarman* 10 (2): 68-73.