

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Konsentrasi Kadmium pada Media Air

Rata-rata konsentrasi Cd dalam air yang tertinggi setelah 10 HST pada perlakuan A0 yaitu sebesar 0,192 ppm sedangkan rata-rata konsentrasi Cd dalam air yang terendah pada perlakuan A3 yaitu 0,006 ppm (Tabel 3). Pada perlakuan A0 terjadi penurunan paling sedikit karena pada perlakuan ini tidak ditanami tanaman. Penurunan Cd pada perlakuan A0 kemungkinan karena Cd terikat di dalam bak percobaan. Cd yang hilang di dalam sistem dapat disebabkan oleh beberapa hal yaitu tumbuhnya *chlorella* pada semua bak percobaan juga dalam bak kontrol yang kemungkinan besar menyerap Cd, dan sebagian Cd terikat di dalam bak percobaan (PVC) sehingga mengurangi konsentrasi Cd yang keluar dari outlet (Suryati, 2003).

Pada perlakuan A3 mempunyai konsentrasi Cd paling rendah dibandingkan dengan perlakuan A1 dan A2 (Tabel 3). Hal ini karena pertumbuhan tanaman kiambang masih relatif normal dibandingkan dengan tanaman eceng gondok dan kayu apu yang pertumbuhannya terhambat yaitu daun tanaman menguning sampai mencoklat serta tanaman menjadi layu.

Semua perlakuan pada hari ke 10 menunjukkan konsentrasi Cd yang lebih kecil dibandingkan pada perlakuan A0 yang tidak ditanami tanaman, diperkirakan bahwa tanaman telah menyerap sebagian Cd dari media air. Hasil analisis ragam menggunakan uji F taraf 5% (Lampiran 10) menunjukkan bahwa konsentrasi Cd dalam bak kontrol berbeda nyata dengan bak berisi tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman telah nyata berpengaruh dalam menurunkan Cd dalam air.

Tabel 1. Rata-rata Konsentrasi Kadmium dalam Air

Perlakuan	Rata-rata Konsentrasi Cd dalam Air (ppm) pada Hari Setelah Tanaman (HST)				
	2	4	6	8	10
Tanpa tanaman (A0)	0,198 c	0,196 d	0,195 c	0,194 d	0,192 d
Tanaman Eceng Gondok (A1)	0,099 b	0,057 c	0,030 b	0,015 b	0,010 b
Tanaman Kayu Apu (A2)	0,054 a	0,047 b	0,034 b	0,025 c	0,019 c
Tanaman Kiambang (A3)	0,056 a	0,031 a	0,019 a	0,010 a	0,006 a

Keterangan: Rata-rata nilai yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada uji Duncan taraf 5%

Data yang disajikan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa kandungan Cd pada semua perlakuan menunjukkan adanya penurunan. Pada 2 HST terlihat bahwa konsentrasi Cd yang tertinggi terdapat pada perlakuan A1 sebesar 0,099 ppm (50,33%) sedangkan konsentrasi Cd terendah terdapat pada perlakuan A2 sebesar 0,054 ppm (73,00%). Penurunan konsentrasi pada perlakuan A1 rendah, karena pada tanaman eceng gondok setelah 2 HST ujung daun mulai mengering.

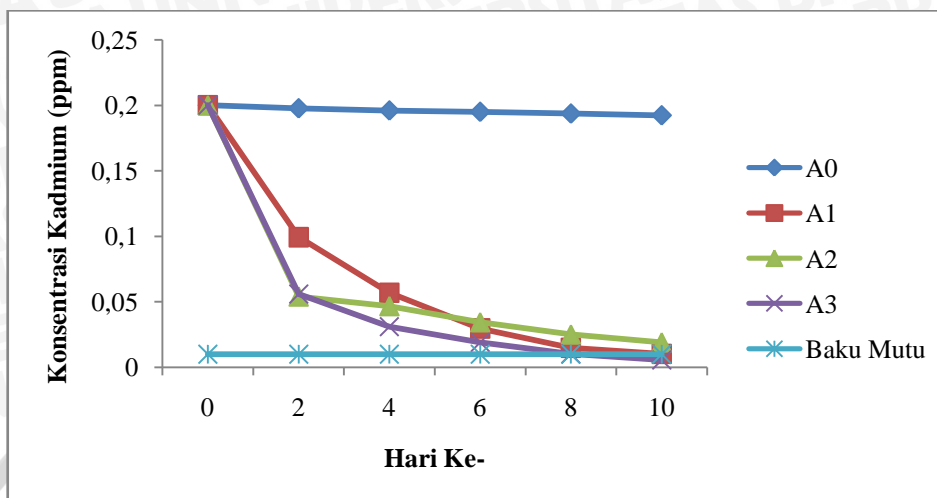
Perlakuan A1 memiliki konsentrasi tertinggi sebesar 0,057 ppm (71,50%) sedangkan perlakuan A3 memiliki konsentrasi terendah sebesar 0,031 ppm (84,50%) pada 4 HST. Perlakuan A3 mengalami penurunan konsentrasi yang tinggi, karena tanaman kiambang pada 4 HST belum mengalami gejala toksisitas kadmium dibandingkan dengan tanaman yang lain.

Pada 6 HST sampai 10 HST, perlakuan A2 memiliki konsentrasi Cd tertinggi sedangkan perlakuan A3 memiliki konsentrasi Cd terendah. Perlakuan A2 mengalami penurunan konsentrasi yang rendah, karena kayu apu mulai dari 4 HST mulai menunjukkan bahwa pertumbuhannya terhambat. Hal ini ditandai dengan mulai mengeringnya ujung daun dan pada 6 HST daun mulai menguning serta pada 8 HST tanaman ini semuanya mengering dan menguning sehingga penyerapan kadmium oleh tanaman kayu apu tidak dapat maksimal. Perlakuan A1 meskipun tanaman mengalami pertumbuhan yang terhambat tetapi kemampuannya dalam menyerap Cd lebih tinggi daripada perlakuan A2.

Berdasarkan PP No. 82 Tahun 2001, ambang baku mutu konsentrasi Cd dalam air sungai sebesar 0,01 ppm. Perlakuan A1 dapat menurunkan konsentrasi dari 0,200 ppm menjadi 0,010 ppm sedangkan perlakuan A2 dapat menurunkan konsentrasi menjadi 0,019 ppm pada 10 HST tetapi konsentrasi tersebut masih berada di atas ambang baku mutu air sungai. Pada perlakuan A1 persentase penurunan konsentrasi kadmium dalam media air sebesar 94,83 % sedangkan pada perlakuan A2 sebesar 90,50 %.

Perlakuan A3 dapat menyerap logam Cd paling tinggi karena tanaman kiambang cukup toleran dengan kondisi media air tercemar lumpur Lapindo pada 8 HST sebagian daun pada ujung daunnya mulai mengering. Perlakuan A3 dapat menurunkan konsentrasi Cd dari 0,200 ppm menjadi 0,006 ppm atau dengan persentase penurunan sebesar 97,17 % pada 10 HST, nilai tersebut sudah di

bawah ambang baku mutu air sungai sehingga bisa dimanfaatkan untuk keperluan masyarakat.



Gambar 1. Grafik Rata-rata Penurunan Konsentrasi Kadmium dalam Media Air

4.2. Akumulasi Logam Kadmium pada Tanaman

Hasil analisis Cd dalam jaringan tanaman sebelum percobaan menunjukkan bahwa tidak terdapat logam Cd baik dalam daun maupun akar tanaman eceng gondok, kayu apu dan kiambang. Setelah digunakan sebagai fitoremediator terdapat logam Cd pada jaringan tanaman. Data yang disajikan pada Tabel 4 menunjukkan bahwa konsentrasi Cd tertinggi terdapat dalam akar dibanding tajuk baik pada eceng gondok maupun kayu apu. Tanaman kiambang tidak dapat dibedakan antara akar dan tajuk karena tanaman terlalu kecil, konsentrasi Cd dalam kiambang sebesar 405,333 mg/Kg. Rasio nilai kandungan Cd dalam tajuk/akar pada tanaman eceng gondok yaitu sebesar 0,089 lebih kecil dibanding tanaman kayu apu yang nilainya sebesar 0,272 karena nilainya kurang dari 1 maka dapat diketahui bahwa logam kadmium paling banyak terakumulasi di dalam akar daripada ditranslokasikan ke daun.

Tabel 2. Akumulasi Kadmium oleh Tanaman

Perlakuan	Rata-rata		Rasio Kandungan Tajuk/Akar	Rata-rata		Total Rata-rata Akumulasi Cd (mg)	Efisiensi Akumulasi (%)
	Konsentrasi Cd (mg/Kg)			Akumulasi Cd (mg)			
	Tajuk	Akar	Tajuk	Akar			
Tanaman Eceng Gondok (A1)	92	1036	0,089	0,133	0,987	1,121 b	93,40
Tanaman Kayu Apu (A2)	247	907	0,272	0,211	0,819	1,030 a	85,82
Tanaman Kiambang (A3)*	405			1,151		1,151 c	95,96

Keterangan: * Tanaman terlalu kecil sehingga tidak dibedakan antara tajuk dan akarnya.

Hal ini menunjukkan bahwa eceng gondok lebih banyak mengakumulasi Cd dalam jaringan akarnya sedangkan kayu apu lebih mampu untuk mentranslokasikan Cd dari akar ke tajuk. Menurut Sekara *et al.* (2005), Cd merupakan logam berat non esensial yang bersifat mobil sehingga mudah diserap oleh tanaman dan ditransfer ke pucuk, umumnya terdistribusi dengan pola yang sama pada tanaman, serapan di akar>pucuk>daun>buah>biji.

Perlakuan A3 dapat mengakumulasi Cd sebesar 95,96% dan lebih besar dibanding perlakuan yang lain yaitu A1 sebesar 93,40% dan A2 sebesar 85,82% (Tabel 4). Pada tanaman eceng gondok, kandungan logam Cd pada bagian akar lebih tinggi dibandingkan yang terdapat pada bagian tajuk. Hal ini sesuai dengan penelitian Syahputra (2005), kandungan terbesar penyerapan logam Cu dan Zn terdapat pada akar tanaman eceng gondok, kemudian disusul berturut-turut pada bagian daun dan tangkai untuk logam Zn, hal yang sebaliknya terjadi pada penyerapan logam Cu. Hal ini disebabkan karena tanaman melakukan lokalisasi unsur logam dengan menimbun pada bagian organ akar sebagai langkah antisipasi peracunan oleh unsur logam terhadap sel tumbuhan, mekanisme detoksifikasi ini bertujuan agar tidak menghambat proses metabolisme tubuh, tanaman eceng gondok termasuk dalam golongan tumbuhan rizofiltrasi, yaitu tanaman yang menggunakan akar untuk menyerap, mendegradasi dan mengakumulasi bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik, sehingga logam yang diserap oleh tanaman cenderung terakumulasi di akar.

4.3. Bobot Basah dan Bobot Kering Tanaman

Bobot basah tanaman yang digunakan dalam proses fitoremediasi air sungai yang tercemar lumpur Lapindo mengalami penurunan. Hal ini karena pertumbuhan tanaman terhambat setelah ditanam di media air tercemar Cd dari lumpur Lapindo. Cd dapat terakumulasi dalam berbagai bagian tanaman sehingga dapat menurunkan pertumbuhan, menghambat fotosintesis, dan karena itu sangat mempengaruhi produksi biomassa.

Data yang disajikan pada Tabel 5 menunjukkan bahwa rata-rata nilai berat basah tanaman tertinggi adalah pada perlakuan A3 yaitu sebesar 55,00 g, sedangkan rata-rata nilai berat basah tanaman terendah adalah pada perlakuan A2

yaitu sebesar 39,67 g. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa pada perlakuan berbagai tanaman fitoremediator terhadap rata-rata nilai berat basah tanaman berpengaruh sangat nyata. Perlakuan A2 menunjukkan adanya perbedaan yang nyata dengan perlakuan A1 dan A3. Bobot basah tanaman pada awal penelitian adalah 60,00 g, tetapi setelah fitoremediasi selama 10 hari mengalami penurunan menjadi 39,67-55,00 g. Penurunan berat basah tanaman terjadi karena kandungan bahan pencemar dalam media air tinggi sehingga menyebabkan tanaman tidak mampu tumbuh bahkan bagian batang dan daun menjadi layu dan kering serta mengalami klorosis sehingga didapatkan berat basah yang lebih kecil. Menurut Sandy *et al.* (2012), pencemaran logam berat pada tanaman menunjukkan gejala seperti klorosis, nekrosis pada ujung dan sisi daun serta busuk daun yang lebih awal. Berdasarkan dari pengamatan morfologi terhadap ketiga tanaman tersebut memperlihatkan warna daun menjadi menguning dan pada hari terakhir menjadi coklat, hal ini sangat nampak terlihat pada tanaman kayu apu dan eceng gondok sedangkan pada tanaman kiambang hanya terlihat pada tepi daunnya. Dari pengamatan tersebut dapat diketahui bahwa tanaman kiambang lebih toleran terhadap kondisi media. Berdasarkan penelitian Hidayati *et al.* (2009), diketahui bahwa penanaman *Salvinia molesta* selama satu minggu pada media air lumpur Sidoarjo menunjukkan belum adanya tanda-tanda kelayuan daun.

Tabel 3. Rata-rata Bobot Basah dan Bobot Kering Tanaman Fitoremediator pada 10 HST

Perlakuan	0 HST		10 HST	
	Bobot Basah (g)	Bobot Basah (g)	Bobot Basah (g)	Bobot Kering (g)
Tanaman Eceng Gondok (A1)	60,0	52,00 b	39,67 a	2,48 b
Tanaman Kayu Apu (A2)	60,0	39,67 a	55,00 b	1,76 a
Tanaman Kiambang (A3)	60,0	55,00 b	39,67 a	2,84 b

Keterangan: Rata-rata nilai yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada uji Duncan taraf 5%.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa pada perlakuan berbagai tanaman fitoremediator terhadap rata-rata berat kering tanaman berpengaruh sangat nyata. Bobot kering perlakuan A2 menunjukkan perbedaan yang nyata dengan perlakuan

A1 dan A3 sedangkan perlakuan A1 tidak berbeda nyata dengan perlakuan A3 (Tabel 5). Berat kering tertinggi didapatkan pada perlakuan A3 yaitu sebesar 2,84 g sedangkan berat kering terendah pada perlakuan A2 yaitu sebesar 1,76 g. Perlakuan A2 memiliki berat kering terendah karena tanaman tidak mampu tumbuh dengan baik sampai 10 HST. Tanaman kayu apu tidak mampu tumbuh dengan baik pada media air yang tercemar lumpur Lapindo (kondisi kandungan BOD, COD tinggi dan DO rendah di perairan) sehingga dapat menghambat pertumbuhan tanaman dan menimbulkan kematian pada tanaman kayu apu. Tanaman kayu apu pada 6 HST mengalami penurunan pertumbuhan tanaman begitu juga dengan tanaman eceng gondok pada 6 HST mengalami penurunan pertumbuhan tanaman, berbeda dengan tanaman kiambang yang mampu tumbuh sampai 10 HST hanya pada tepi daunnya mulai berwarna kecoklatan.

4.4. Pengaruh Fitoremediasi terhadap Kualitas Air Sungai

Penanaman eceng gondok, kayu apu dan kiambang pada air sungai tercemar lumpur Lapindo secara umum menyebabkan perubahan BOD, COD, DO, pH dan suhu air sungai (Tabel 6).

4.4.1. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Rata-rata nilai BOD pada setiap perlakuan dari 3,54 mg/L di awal penelitian menjadi 1,09 – 3,26 mg/L. Perlakuan A0 dapat menurunkan nilai BOD dari 3,54 mg/L di awal penelitian menjadi 3,26 mg/L pada 10 HST menunjukkan nilai BOD tertinggi diantara perlakuan yang lain. Pada perlakuan A1, A2, dan A3 juga mengalami penurunan menjadi 1,09 – 1,90 mg/L pada 10 HST. Persentase penurunan nilai BOD yaitu pada perlakuan A0 sebesar 7,73%, A1 sebesar 69,27%, A2 sebesar 61,55% dan A3 sebesar 46,18%. Penurunan nilai BOD pada perlakuan A0 paling sedikit dibanding perlakuan A1, A2, dan A3 (Tabel 6). Perlakuan A0, A1, A2, dan A3 dan A0 menunjukkan tidak ada perbedaan nyata pada Uji F taraf 5%.

Tabel 4. Pengaruh Tanaman Fitoremediator terhadap Nilai BOD, COD, DO, pH, dan Suhu Air Sungai Terkontaminasi Lumpur Lapindo pada 10 HST

Perlakuan	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	DO (mg/L)	pH	Suhu (°C)
Tanpa Tanaman (A0)	3,26	77,33 a	4,07	8,18	26,95 b
Tanaman Eceng Gondok (A1)	1,09	98,67 a	5,52	8,22	25,08 a
Tanaman Kayu Apu (A2)	1,36	109,33 a	5,15	7,71	25,11 a
Tanaman Kiambang (A3)	1,90	354,67 b	3,69	8,10	25,14 a

Keterangan: Rata-rata nilai yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada uji Duncan taraf 5%

Penurunan konsentrasi BOD karena adanya aktivitas mikroorganisme dan adanya tanaman yang membantu dalam menurunkan konsentrasi BOD dalam media air tercemar lumpur Lapindo. Menurut Schnoor (2002), tanaman dalam melakukan proses fitoremediasi mampu memanfaatkan unsur hara, yaitu mengambil air dan unsur hara melalui akar, transpirasi air melalui daun, dan metabolisme bahan organik serta merubahnya menjadi bahan yang tidak berbahaya.

4.4.2. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Penanaman eceng gondok, kayu apu dan kiambang meningkatkan nilai COD. Rata-rata nilai COD pada berbagai perlakuan mengalami peningkatan dari 64,00 mg/L diawal penelitian menjadi 77,33 – 354,67 mg/L (Tabel 6). Nilai rata-rata COD pada berbagai perlakuan setelah fitoremediasi masih melebihi nilai baku mutu air. Hasil analisis ragam dengan Uji F Taraf 5% pada perlakuan berbagai tanaman fitoremediator terhadap rata-rata nilai COD berpengaruh sangat nyata. Perlakuan A3 menunjukkan adanya perbedaan yang nyata dengan perlakuan A0, A1 dan A2. Menurut Effendi (2003), COD menggambarkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan-bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis maupun yang sukar didegradasi secara biologis menjadi CO₂ dan H₂O. Peningkatan nilai COD dikarenakan adanya peningkatan peran mikroorganisme dalam merombak bahan organik sedangkan pertumbuhan tanaman terhambat sehingga tanaman dalam melakukan proses fotosintesis terganggu dan menyebabkan kandungan oksigen dalam air tersebut tidak dapat memenuhi kebutuhan oksigen yang diperlukan mikroorganisme.

4.4.3. DO (*Dissolved Oxygen*)

Pengolahan air sungai Porong yang tercemar lumpur Lapindo dengan menggunakan tanaman eceng gondok, kayu apu dan kiambang menurunkan nilai DO air sungai. Penurunan rata-rata nilai DO pada berbagai perlakuan dari 6,73 mg/L diawal penelitian menjadi 3,69-5,52 mg/L pada 10 HST (Tabel 6). Persentase penurunan rata-rata nilai DO yaitu pada perlakuan A0 sebesar 39,52%, A1 sebesar 17,98%, A2 sebesar 23,48% dan A3 sebesar 45,17%. Hasil analisis ragam dengan uji F taraf 5% pada berbagai perlakuan tanaman fitoremediator terhadap rata-rata nilai DO tidak berpengaruh nyata pada 10 HST. Perlakuan A0, A1, A2 dan A3 tidak berbeda nyata. Terjadinya penurunan ini dikarenakan proses fotosintesis semakin berkurang dan kandungan oksigen yang ada banyak digunakan untuk penguraian bahan-bahan organik. Proses fotosintesis berkurang dikarenakan pada tanaman terjadi penurunan pertumbuhan tanaman yang ditandai dengan daun mulai menguning dan mengering sehingga proses fotosintesis terganggu. Menurut Happy *et al.* (2012), nilai DO yang rendah disebabkan banyaknya limbah yang masuk ke dalam perairan sungai. Dengan adanya pencemaran maka akan menyulitkan biota perairan hidup pada perairan tersebut karena telah melebihi toleransi kadar DO organisme perairan, walaupun masih ada beberapa organisme yang dapat hidup didalamnya.

4.4.4. pH

Nilai pH pada media air tercemar lumpur Lapindo umumnya meningkat setelah ditanami dengan tanaman eceng gondok, kayu apu dan kiambang. Rata-rata nilai pH pada perlakuan berbagai tanaman fitoremediator mengalami peningkatan dari 6,17 diawal penelitian menjadi 7,17-8,22 diakhir penelitian (Tabel 6). Perlakuan A2 dapat meningkatkan nilai pH dari 6,17 pada 0 HST menjadi 7,71 pada 10 HST menunjukkan rata-rata nilai pH terendah dibandingkan dengan perlakuan yang lain, sedangkan rata-rata nilai pH tertinggi ditunjukkan perlakuan A1 yang meningkatkan nilai pH dari 6,17 pada 0 HST menjadi 8,22 pada 10 HST. Peningkatan rata-rata nilai pH juga terjadi pada perlakuan A0 dan A3. Hasil analisis ragam dengan uji F taraf 5% pada berbagai perlakuan tanaman fitoremediator terhadap rata-rata nilai pH tidak berpengaruh nyata pada 10 HST. Perlakuan A0, A1, A2, dan A3 tidak berbeda nyata. Peningkatan pH karena

aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik limbah juga terkait dengan aktivitas fotosintesis tanaman yang mengambil CO_2 terlarut dalam bentuk H_2CO_3 yang dapat menyebabkan terjadinya peningkatan pH. Walaupun demikian untuk peningkatan nilai pH pada berbagai perlakuan tanaman fitoremediator menggunakan tanaman eceng gondok, kayu apu dan kiambang pada air sungai Porong yang tercemar lumpur Lapindo masih pada level baku mutu air sungai yaitu 6,5-8,5. Persentase peningkatan rata-rata nilai pH pada berbagai tanaman fitoremediator adalah pada perlakuan A0 sebesar 32,58%, A1 sebesar 33,23%, A2 sebesar 24,96%, dan A3 sebesar 31,28%.

4.4.5. Suhu

Penanaman eceng gondok, kayu apu dan kiambang selama 10 hari menurunkan suhu air sungai dari semula $29,15^\circ\text{C}$ menjadi $25,08$ - $26,95^\circ\text{C}$ (Tabel 6). Persentase penurunan rata-rata nilai suhu pada berbagai tanaman fitoremediator adalah pada perlakuan A0 sebesar 7,55%, A1 sebesar 13,96%, A2 sebesar 13,86%, dan A3 sebesar 13,76%. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa suhu pada media air masih memenuhi baku mutu air kelas III.

Proses metabolisme biota perairan dipengaruhi oleh suhu air. Kenaikan suhu menyebabkan terjadinya peningkatan konsumsi oksigen, namun di lain pihak juga terjadi penurunan kelarutan oksigen dalam air. Oleh karena itu, organisme akuatik seringkali tidak mampu memenuhi kadar oksigen terlarut untuk keperluan proses metabolisme dan respirasi pada kondisi tersebut. Tanaman meremediasi polutan organik melalui tiga cara, yaitu menyerap bahan kontaminan secara langsung, sel-sel tanaman mengakumulasi metabolisme non fitotoksik, dan melepaskan eksudat dan enzim yang dapat menstimulasi aktivitas mikroba, serta menyerap mineral pada daerah rizosfer. Tanaman juga dapat menguapkan sejumlah uap air. Penguapan ini dapat mengakibatkan migrasi bahan kimia (Schnoor, 2002).