

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Penurunan Jumlah Kadmium dalam Media Air

Hasil analisis jumlah kadmium dalam media air menunjukkan adanya penurunan jumlah kadmium selama proses fitoremediasi dengan interval waktu pengamatan 2 hari (Tabel 2). Data menunjukkan bahwa semua sampel air dari bak yang berisi tanaman kayu apu, pada 2 HST hingga 10 HST menunjukkan adanya penurunan jumlah kadmium dibandingkan dengan air pada perlakuan kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman kayu apu telah menyerap kadmium sehingga berpengaruh nyata dalam menurunkan jumlah kadmium dalam media air.

Tabel 1. Rerata Jumlah Kadmium pada Media Air selama Proses Fitoremediasi

Perlakuan	Rerata Jumlah Kadmium dalam Media Air (mg dalam 6 liter)					
	Sebelum Remediasi	2 HST	4 HST	6 HST	8 HST	10 HST
K	1,20	1,20 d	1,19 d	1,18 c	1,18 c	1,17 c
A1	1,20	0,45 c	0,34 c	0,31 b	0,27 b	0,26 b
A2	1,20	0,34 b	0,25 ab	0,18 a	0,12 a	0,08 a
A3	1,20	0,42 bc	0,33 bc	0,26 b	0,24 b	0,19 b
A4	1,20	0,25 a	0,20 a	0,16 a	0,11 a	0,04 a

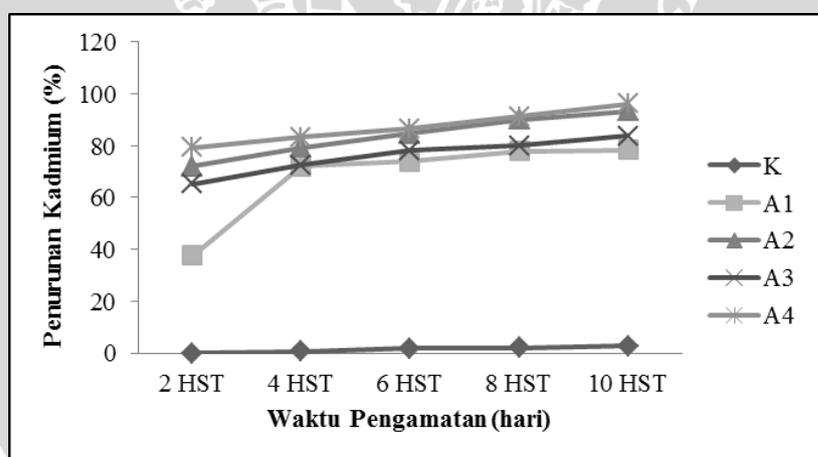
Keterangan : Angka rerata yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama berarti tidak berbeda nyata menurut Duncan ($p = 5\%$)

Penurunan kadmium optimal terjadi pada 2 HST hingga 4 HST. Jumlah kadmium di media yakni sebesar 1,2 mg, setelah 2 HST hingga 4 HST kadmium turun hingga 0,75 mg atau sebesar 37,6% pada perlakuan A1 dan 0,95 mg atau penurunan sebesar 79,3% pada perlakuan A4 (Lampiran 3 dan 4). Penurunan yang relatif tinggi ini karena kondisi tanaman kayu apu yang masih segar, sehingga daya serap akar masih optimal. Disamping itu, terserapnya kadmium ke dalam akar tanaman disebabkan oleh perbedaan konsentrasi kadmium yang ada dalam media air dan akar tanaman. Jika konsentrasi kadmium di luar akar lebih tinggi, maka semakin besar pula kecenderungan kadmium yang terserap ke dalam akar. Hasil analisis ragam pengaruh perlakuan terhadap rerata penurunan kadmium pada 10 HST dalam media air menunjukkan adanya perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) (Tabel 2).

Penurunan tertinggi terjadi pada perlakuan A4, dimana jumlah kadmium turun hingga 1,0 mg atau sebesar 83,3% pada 4 HST. Penurunan terendah terjadi

pada perlakuan A1, dengan penurunan hingga 72% atau penurunan sebesar 0,87 mg (Lampiran 3). Terlihat bahwa penurunan kadmium yang tinggi terjadi pada 2 hingga 4 HST. Pada 6 hingga 8 HST penyerapan kadmium menurun, disebabkan karena tanaman mengalami kejenuhan karena telah menyerap kadmium. Ditandai dengan gejala toksistas pada daun yang menguning hingga penyerapan kadmium menurun.

Pada 10 HST, konsentrasi terendah kadmium dalam media air terlihat pada perlakuan A4 yang tersisa hingga rerata 0,044 mg. Penurunan mencapai 1,16 mg atau sebesar 96,3% dan berbeda nyata dengan perlakuan A1, A3 serta perlakuan kontrol. Jumlah kadmium tertinggi selain pada perlakuan kontrol, terjadi pada perlakuan A1 yang tersisa hingga rerata 0,24 mg. Namun konsentrasi ini masih diatas standar baku mutu dimana menurut Men.Kes standar baku mutu kadmium di dalam perairan yakni 0,003 ppm. Pada perlakuan kontrol juga menunjukkan penurunan kadmium dengan tingkat penurunan yang sangat rendah. Diindikasikan penurunan logam terjadi karena adanya penguapan, sehingga kadmium pada media berkurang. Pada akhir penelitian, jumlah kadmium pada perlakuan kontrol yaitu 1,17 mg.



Gambar 3. Rerata Penurunan Jumlah Kadmium dalam Media Air

4.2. Akumulasi Kadmium dalam Jaringan Tanaman

Hasil analisis membuktikan bahwa terdapat akumulasi kadmium dalam jaringan akar dan daun tanaman. Masuknya kadmium ke dalam jaringan tanaman kayu apu melalui mekanisme difusi air ke dalam sel akar. Kayu apu mengandung fitokelatin yang dapat memacu pengikatan logam oleh akar. Kadmium dalam air kemudian diangkut menuju bagian tajuk melalui jaringan xilem karena adanya

tarikan transpirasi. Akumulasi kadmium diperoleh dari total berat kering dan konsentrasi kadmium yang terdeteksi dalam sampel jaringan tanaman.

4.2.1. Bobot Kering Kayu apu

Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat perbedaan bobot kering pada masing-masing perlakuan. Pengamatan bobot kering dilakukan pada bagian akar dan daun tanaman. Bobot kering akar tertinggi terlihat pada perlakuan A2, yakni sebesar 0,76 g dan terendah pada perlakuan A3 yakni sebesar 0,61 g. Sedangkan bobot kering daun terendah pada perlakuan A1 yaitu sebesar 0,91 g dan tertinggi pada perlakuan A4 yakni sebesar 1,31 g. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan peningkatan jumlah tanaman dan penambahan pupuk NPK cair tidak berpengaruh nyata terhadap bobot kering akar, namun memberikan pengaruh yang nyata terhadap bobot kering daun tanaman kayu apu (Tabel 3).

Tabel 2. Rerata Bobot Kering Tanaman Kayu apu

Perlakuan	Rerata Bobot Kering Tanaman (g)		
	Akar	Daun	Total
A1	0,72 bc	0,91 a	1,63 a
A2	0,76 c	1,13 b	1,89 b
A3	0,61 a	1,12 b	1,73 a
A4	0,62 ab	1,31 c	1,93 b

Keterangan : Angka rerata yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama berarti tidak berbeda nyata menurut Duncan ($p = 5\%$)

Lambatnya pertumbuhan akan dapat disebabkan karena populasi tanaman kayu apu yang lebih tinggi pada luas permukaan bak percobaan yang kurang mendukung, sehingga menyebabkan tingginya kerapatan tanaman dalam bak percobaan dan berdampak pada pertumbuhan akar yang tidak optimal. Selain itu, perlakuan penambahan pupuk NPK cair merangsang pertumbuhan vegetatif tanaman terutama bagian daun sebagai bahan utama penyusun protein dan pembentukan klorofil pada daun untuk proses fotosintesis, sehingga bobot kering daun relatif lebih tinggi dibandingkan bobot kering akar. Lambatnya pertumbuhan akar daripada bagian daun, merupakan salah satu bentuk adaptasi yang dilakukan oleh akar pada lingkungan yang bersifat tidak menguntungkan seperti karena adanya zat kontaminan pada media tumbuh. Terjadinya hambatan media pertumbuhan tanaman akan diikuti oleh penurunan bobot kering.

Menurut Li *et al* (2003), berkurangnya berat kering dapat terjadi karena adanya penghambatan pertumbuhan oleh akumulasi kadmium. Didukung oleh penelitian yang dilakukan Jadia dan Fulekar (2008) yang melaporkan bahwa tingkat toksisitas kadmium lebih besar dari pada Cu, Ni, Pb dan Zn, sehingga efek dari toksistas ini menyebabkan berkurangnya bobot kering pada tanaman.

Data yang disajikan pada tabel 3 menunjukkan bahwa bobot kering daun lebih besar daripada akar. Rendahnya rasio bobot daun/akar pada tanaman yang tidak bercabang disebabkan asimilat hanya ditranslokasikan ke daun dan akar.

4.2.2. Akumulasi Total Kadmium dalam Jaringan Tanaman

Hasil analisis kimia pada sampel tanaman menunjukkan bahwa rerata konsentrasi kadmium dalam akar tertinggi pada perlakuan A4 yakni sebesar 1073 mg/kg, dan terendah pada perlakuan A1 yaitu 769 mg/kg. Konsentrasi pada daun diketahui tertinggi pada perlakuan A4 yaitu 367 mg/kg, sedangkan konsentrasi terendah terlihat pada perlakuan A1 yakni sebesar 310 mg/kg (Lampiran 6).

Hasil analisis sidik ragam akumulasi kadmium dalam jaringan tanaman menunjukkan perbedaan yang nyata akumulasi pada jaringan akar dan daun pada perlakuan ($P < 0,05$). Terlihat bahwa akumulasi kadmium dalam akar pada perlakuan A1 berbeda nyata dengan perlakuan A2 dan A4, begitu juga akumulasi kadmium dalam daun pada perlakuan A1 yang berbeda nyata dengan perlakuan A2, A3 dan A4. Namun perlakuan A2 tidak berbeda nyata dengan perlakuan A3 dan A4. Pada tabel 4, terlihat akumulasi kadmium pada semua perlakuan lebih tinggi terdapat pada akar daripada daun. Rerata akumulasi kadmium yang tinggi pada akar terlihat pada perlakuan A2 dan A4 dengan rerata akumulasi 0,69 mg dan 0,67 mg dan akumulasi terendah pada perlakuan A1 dengan rerata akumulasi 0,55 mg. Untuk akumulasi tertinggi pada daun yaitu pada perlakuan A4 yaitu 0,48 mg, sedangkan akumulasi terendah terjadi pada perlakuan A1 yaitu 0,28 mg.

Efisiensi penyerapan merupakan konsentrasi total logam berat dan bobot kering tanaman hingga didapatkan akumulasi logam dari media (Soleimani *et al.*, 2010). Efisiensi penyerapan kadmium tertinggi yaitu pada perlakuan A4 dengan akumulasi kadmium dalam akar dan daun sebesar 96,1%. Persentase terendah terjadi pada perlakuan A1 yakni sebesar 69,7% (Tabel 4).

Tabel 3. Rerata Akumulasi Kadmium dalam Jaringan Tanaman

Perlakuan	Rerata Akumulasi Kadmium dalam Jaringan Tanaman (mg)				
	Akar	Daun	Akumulasi total	Persentase akumulasi	Rasio konsentrasi akar/daun
A1	0,55 a	0,28 a	0,84 a	69,7	2,48
A2	0,69 b	0,40 bc	1,09 c	91,4	2,57
A3	0,56 a	0,39 b	0,95 b	78,5	2,56
A4	0,67 b	0,48 b	1,15 c	96,1	3,01

Keterangan : Angka rerata yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama berarti tidak berbeda nyata menurut Duncan ($p = 5\%$)

Penambahan pupuk NPK cair tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap akumulasi kadmium dalam akar tanaman. NPK merupakan unsur hara makro yang dibutuhkan oleh tanaman. Serapan NPK sangat tergantung pada kontak akar dalam media air. Jumlah akar dalam media sangat penting dalam meningkatkan bobot kering dan akumulasi logam dalam akar tanaman. Adanya akar yang rontok dalam media air pada 6 HST sebagai akibat gejala tokosis kadmium mengindikasikan tanaman tidak lagi dapat menyerap NPK secara optimal. Tanaman mungkin tidak mampu mengambil hara secara efisien karena pengaruh langsung zat-zat toksik pada fungsi akar sehingga menyebabkan tanaman jenuh (Fitter dan Hay, 2002). Disamping itu, lambatnya pertumbuhan akar dapat disebabkan karena ukuran media yang kurang mendukung. Namun, dalam penelitian ini perlakuan A4 menunjukkan hasil terbaik akumulasi kadmium dalam jaringan tanaman.

Hasil analisis yang disajikan pada tabel 4, diperoleh rasio nilai konsentrasi kadmium dalam akar/daun tanaman kayu apu pada semua perlakuan yaitu >1 . Dalam hal ini mengindikasikan bahwa logam lebih terkonsentrasi pada bagian akar (Petrisor *et al.*, 2004). Menurut Cluis (2004), tanaman ini dapat dikembangkan sebagai salah satu teknologi fitostabilisasi dalam meremediasi logam berat.

Tingginya tingkat akumulasi kadmium dalam organ akar dibandingkan daun merupakan salah satu mekanisme untuk menghadapi lingkungan toksik. Diduga bahwa tanaman kayu apu melakukan suatu mekanisme penanggulangan zat toksik dengan mekanisme lokalisasi, yaitu mengakumulasi zat toksik tersebut di bagian tertentu seperti akar dan daun (Fitter dan Hay, 2002). Data yang disajikan pada tabel 4 juga menunjukkan bahwa ada kadmium yang hilang dari sistem. Diindikasikan kadmium hilang dari sistem melalui proses pengendapan.

4.3. Parameter Pendukung Kualitas Air

4.3.1. Suhu

Pengukuran suhu pada media air di awal penelitian sebelum dilakukan remediasi menunjukkan reata suhu air yaitu 29,6°C. Tetapi setelah perlakuan fitoremediasi terjadi perubahan nilai suhu pada semua perlakuan yaitu perlakuan A1, A2, A3, dan A4 yang menunjukkan terjadinya penurunan nilai suhu termasuk pada perlakuan Kontrol. Dari hasil analisis ragam pengaruh perlakuan fitoremediasi terhadap nilai suhu menunjukkan adanya perbedaan yang nyata ($P < 0,05$).

Rerata nilai suhu tertinggi terjadi pada perlakuan kontrol dengan rerata nilai suhu 26,6°C, sedangkan rerata suhu pada perlakuan A1, A2, A3 dan A4 yaitu 25,1°C sampai 25,6°C (Tabel 5). Berdasarkan hasil penelitian, fitoremediasi menggunakan tanaman kayu apu dapat menurunkan suhu air. Sejalan dengan penelitian Brooks *et al.* (2001), sistem pengolahan limbah dengan fitoremediasi terjadi penurunan suhu sebesar 5 – 10%. Suhu optimal 22°C – 25°C adalah suhu normal perairan yang memungkinkan berlangsungnya kehidupan secara normal di dalamnya, baik kehidupan hewan maupun nabati.

4.3.2. pH

Pengukuran pH pada media air di awal penelitian sebelum dilakukan remediasi menunjukkan rerata pH air sebesar 5,96. Setelah dilakukan fitoremediasi ternyata terjadi perubahan nilai pH. Perlakuan pada bak kontrol (K), memiliki rerata nilai pH yakni 8,30. Untuk perlakuan A1 memiliki rerata nilai pH yang sama dengan perlakuan A3, yakni 8,15. Sedangkan pada perlakuan A2 memiliki rerata nilai pH sebesar 8,67, hal ini tidak jauh berbeda dengan perlakuan A4 dengan rerata nilai pH 8,65 (Tabel 5). Dari hasil analisis ragam pengaruh perlakuan terhadap rerata nilai pH menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata ($P > 0,05$) pada akhir penelitian.

Rerata nilai pH tertinggi terjadi pada perlakuan A2 dan A4, dimana rata-rata nilai pH berkisar 8,65-8,67, sedangkan rerata nilai pH terendah yaitu pada perlakuan A1 dan A3 dengan rerata nilai pH sebesar 8,15. Nilai pH pada semua perlakuan setelah melalui proses fitoremediasi oleh kayu apu masih mendukung berlangsungnya proses penguraian dan oksidasi senyawa-senyawa organik, dan proses fotosintesis. Pada kisaran pH 6–9, kehidupan biota dalam suatu perairan dapat

berlangsung secara normal pH media air yang telah melalui proses fitoremediasi telah memenuhi syarat untuk dilepas ke lingkungan.

4.3.3. *Dissolved Oxygen (DO)*

Pengukuran DO pada media air di awal penelitian sebelum diberi perlakuan remediasi menunjukkan rerata nilai DO dalam media air yakni 5,74 mg/l. Namun setelah proses fitoremediasi kadar oksigen dalam air mengalami penurunan. Hasil analisis ragam pengaruh perlakuan fitoremediasi terhadap nilai DO menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata ($P>0,05$) pada 10 hari fitoremediasi.

Rerata nilai DO tertinggi pada perlakuan A4 dengan rerata nilai DO yaitu 3,18 mg/l, sedangkan rerata nilai DO terendah yaitu pada perlakuan A1 dengan rata-rata 2,12 mg/l (Tabel 5). Sebagaimana diketahui bahwa pada perairan dengan kadar oksigen terlarut 3.00–5.00 mg/l telah memenuhi syarat untuk dilepas ke lingkungan.



Tabel 4. Rerata Nilai Suhu, pH, BOD dan COD pada Media Air

Perlakuan	0 HST					10 HST				
	Suhu (°C)	pH	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	Suhu (°C)	pH	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)
K	29,6	5,96	5,74	6	56	26.5 a	8,30 a	2,51 a	1,08 a	90,6 a
A1	29,6	5,96	5,74	6	56	25.6 b	8,15 a	2,12 a	2,30 a	474,6 a
A2	29,6	5,96	5,74	6	56	25.3 b	8,67 a	2,37 a	0,68 a	288 a
A3	29,6	5,96	5,74	6	56	25.6 b	8,15 a	2,49 a	0,93 a	464 a
A4	29,6	5,96	5,74	6	56	25.3 b	8,64 a	3,18 a	0,55 a	266 a

Keterangan : Angka rerata yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama berarti tidak berbeda nyata menurut Duncan ($p = 5\%$)

4.3.4. *Biological Oxygen Demand (BOD)*

Pada akhir penelitian, untuk semua perlakuan menunjukkan adanya penurunan nilai BOD. Setelah proses fitoremediasi, rerata nilai BOD tertinggi yakni pada perlakuan A1 dengan rerata 2,3 mg/l, sedangkan rata-rata nilai BOD terendah yakni pada perlakuan A4 sebesar 0,55 mg/l (Tabel 5). Hasil analisis ragam pengaruh perlakuan fitoremediasi teradap rerata nilai BOD menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata ($P>0,05$) pada akhir penelitian selama 10 hari remediasi (Tabel 5).

Berdasarkan peraturan menteri kesehatan RI, penggolongan air sungai kelas A dan B memiliki kadar BOD maksimum adalah 3,00 mg/l, sedangkan kadar BOD maksimum untuk kelas C adalah sebesar 5,00 mg/l. Dari hasil penelien didapatkan bahwa air memiliki nilai BOD awal yakni 6 mg/l, setelah fitoremediasi nilai BOD untuk semua perlakuan mengalami penurunan. Nilai BOD ini sudah memenuhi ambang batas untuk perairan.

4.3.5. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Pengukuran COD pada media air di awal penelitian sebelum dilakukan remediasi menunjukkan rerata nilai COD yakni 56 mg/l. Pada akhir penelitian, semua perlakuan menunjukkan terjadinya peningkatan nilai COD. Hasil analisis ragam pengaruh perlakuan fitoremediasi teradap rerata nilai COD menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata ($P>0,05$) pada akhir penelitian selama 10 hari remediasi (Tabel 5).

Setelah proses fitoremediasi, rerata nilai COD tertinggi terjadi pada perlakuan A1 yaitu sebesar 474,6 mg/l, dan rerata nilai COD terendah yaitu pada perlakuan kontrol dengan nilai COD 90,6 mg/l, sedangkan pada perlakuan A2 dengan rerata nilai COD 288 mg/l, dan perlakuan A3 dengan rerata nilai COD 464 mg/l, serta perlakuan A4 dengan rerata nilai COD 266 mg/l (Tabel 5). Standar baku mutu untuk perairan tercemar yakni 300 mg/l. Dari hasil penelitian ini, nilai COD pada perlakuan A2 dan A4 serta perlakuan kontrol masih dibawah nilai standar baku mutu dan memenuhi syarat untuk dilepas ke lingkungan.