

FITOFORENSIK LOGAM BERAT (PB DAN CD) PADA TUMBUHAN AKUATIK (*ACANTHUS ILICIFOLIUS* DAN *COIX LACRYMA-JOBI*)

Rony Irawanto¹ dan Sarwoko Mangkoedihardjo^{1)*}

¹⁾Kebun Raya Purwodadi, LIPI, Pasuruan, Indonesia

^{1)*}Teknik Lingkungan, ITS, Surabaya, Indonesia

^{*)}E-mail: rony001@lipi.go.id

Abstrak

Tumbuhan akuatik dikenal masyarakat sebagai tanaman hias dalam kolam/taman air karena bentuk, warna daun ataupun bunga yang indah. Selain bernilai estetik, tumbuhan akuatik memiliki nilai ekologi yang tinggi, salah satunya dalam fitoteknologi. Fitoteknologi dapat diterapkan dalam fitoproteksi, fitoremediasi, fitomonitoring maupun fitoforensik pencemaran lingkungan. Pencemaran lingkungan oleh logam berat dapat mengganggu ekosistem dan membahayakan kesehatan manusia, bila terserap dan terakumulasi dalam tubuh, bahkan berakibat kematian. Logam berat toksik dan merupakan pencemar di semua media lingkungan, adalah Pb (timbal) dan Cd (kadmium). Penelitian fitoforensik masih belum banyak dilakukan. Dimana pendekatan fitoforensik digunakan dalam melacak target spesifik suatu pencemar masuk dalam tumbuhan. Penelitian ini bertujuan mengetahui lokasi spesifik pencemar logam berat Pb dan Cd dalam tumbuhan *Acanthus ilicifolius* (Jeruju) dan *Coix lacryma-jobi* (Jali). Penelitian menggunakan material tumbuhan akuatik dari Kebun Raya Purwodadi – LIPI dilakukan mulai Nopember 2013 sampai Desember 2014, pada rumah kaca dan laboratorium Teknik Lingkungan - ITS. Variasi yang digunakan meliputi: (1) variasi zat pencemaran (Pb dan Cd), (2) variasi jenis tumbuhan (Jeruju dan Jali) dan (3) variasi jumlah tumbuhan (tiga dan lima individu) dalam reaktor. Metode analisis logam berat menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Hasil perpindahan dan penyerapan logam Pb pada tumbuhan *Acanthus ilicifolius* (Jeruju) 3 individu di akar 8.958 ppm, batang 33,5 ppm dan daun 27,7 ppm; pada 5 individu di akar 8.850 ppm, batang 119,6 ppm dan daun 44,5 ppm. Untuk logam Cd pada 3 individu di akar 237,2 ppm, batang 2,72 ppm dan daun 1,06 ppm, pada 5 individu di akar 147,2 ppm, batang 4,2 ppm dan daun 3,26 ppm. Sedangkan perpindahan dan penyerapan logam Pb pada tumbuhan *Coix lacryma-jobi* (Jali) 3 individu di akar 7.235 ppm, batang 149,2 ppm dan daun 250,7 ppm, pada 5 individu di akar 8.197 ppm, batang 242,8 ppm dan daun 274,5 ppm. Untuk logam Cd pada 3 individu di akar 174,9 ppm, batang 4,32 ppm dan daun 6,81 ppm, pada 5 individu di akar 194,1 ppm, batang 2,93 ppm dan daun 18,1 ppm.

Kata kunci: Fitoforensik, Pb (Timbal), Cd (Kadmium), *Acanthus ilicifolius*, *Coix lacryma-jobi*

1. PENDAHULUAN

Pertambahan jumlah penduduk dan perkembangan pembangunan mengakibatkan peningkatan aktivitas di berbagai sektor, baik sektor industri, pemukiman, pertanian, dan sektor lainnya. Semakin bertambahnya aktivitas manusia di berbagai sektor kehidupan seringkali menghasilkan limbah bahan pencemar yang dapat mengganggu dan membahayakan lingkungan. Pencemaran logam berat mendapat perhatian yang serius, karena bila terserap dan terakumulasi dalam tubuh manusia dapat mengganggu kesehatan (Widowati dkk., 2008) dan pada beberapa kasus menyebabkan kematian. Logam berat dapat terakumulasi di lingkungan dan berpindah dari satu media ke media lainnya (Wang dkk., 2009). Sehingga logam berat merupakan pencemar di semua media lingkungan (multi media pollutant). Logam berat yang sama sekali tidak dibutuhkan oleh makhluk hidup karena bersifat toksik adalah Pb (timbal) dan Cd (kadmium). Pb dan Cd memiliki penyebaran yang luas dan penyebab utama pencemaran lingkungan serta gangguan kesehatan (Darmono, 1995). Konsep yang memusatkan peran tumbuhan dalam kerangka teknologi alami untuk menyelesaikan permasalahan lingkungan dikenal dengan istilah Fitoteknologi. Fitoteknologi dapat diterapkan dalam fitoproteksi, fitoremediasi, fitomonitoring maupun fitoforensik terhadap pencemaran lingkungan. Dalam fitoremediasi terdapat proses penyerapan, pengambilan, pengubahan dan pelepasan zat pencemar oleh tumbuhan. Fitoremediasi menggunakan tumbuhan dalam upaya pemulihan lingkungan. Dimana tumbuhan dapat mengubah zat kontaminan (pencemar / polutan) menjadi berkurang kadarnya, atau menjadi tidak berbahaya, atau bahkan menjadi bahan yang dapat digunakan kembali (re-use) oleh tumbuhan (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010). Sedangkan fitoforensik digunakan untuk mengetahui keberadaan zat pencemar dalam tumbuhan dan menentukan waktu kejadian zat pencemar terjadi. Pendekatan fitoforensik digunakan dalam melacak waktu kejadian dan target spesifik suatu pencemar masuk dalam tumbuhan. Tumbuhan berperan sebagai sampel pasif, terhadap perpindahan zat dari lingkungan

sekitarnya. Sehingga tumbuhan dapat menjadi indikator pencemaran lingkungan. Metode fitoscreening, fitomonitoring dan dendrokimiawi adalah pendekatan dalam fitoforensik. Metode fitoforensik ini merupakan cara baru yang cepat, murah dan ramah lingkungan dalam penyelidikan pencemaran lingkungan menggunakan tumbuhan (Burken dkk., 2011). Salah satu lembaga yang terkait dengan tumbuhan adalah kebun raya. Kebun raya didefinisikan sebagai kawasan konservasi tumbuhan secara ex-situ yang memiliki koleksi tumbuhan terdokumentasi dan ditata berdasarkan pola klasifikasi taksonomi, bioregion, tematik atau kombinasi dari pola-pola tersebut untuk tujuan kegiatan konservasi, penelitian, pendidikan, wisata, dan jasa lingkungan (Perpres 93/2011). Karakteristik utama suatu kebun raya adalah tersedianya koleksi tumbuhan yang terdokumentasi, dilengkapi dengan biji dan herbarium sebagai koleksi penunjang (Irawanto, 2013a). Tumbuhan yang sudah ditanam dan menjadi koleksi di Kebun Raya Purwodadi saat ini sejumlah 11.748 spesimen, 1.925 jenis, 928 marga dan 175 suku (Lestarini dkk., 2012). Tumbuhan koleksi tersebut didata dan dimanfaatkan untuk tujuan konservasi, penelitian, dan pendidikan. Oleh karena itu upaya pemanfaatan keanekaragaman tumbuhan koleksi khususnya tumbuhan akuatik, dalam penyelesaian ataupun penyelidikan permasalahan lingkungan menarik dilakukan dan sangat sejalan dengan tujuan konservasi tumbuhan di kebun raya.

Tumbuhan akuatik koleksi Kebun Raya Purwodadi saat ini sejumlah 15 jenis (Irawanto, 2013b). Dimana pemilihan jenis tumbuhan jeruju (*Acanthus ilicifolius*) dan jali (*Coix lacrymajobi*) didasarkan pada kriteria: jenis lokal/setempat, ditemukan liar di alam dan memungkinkan dalam perbanyakannya. Tumbuhan akuatik yang berasal dari jenis lokal merupakan pilihan utama (UNEP, 2003; Ludwig, 2007). Kedua jenis tersebut termasuk kelompok tumbuhan akuatik emerged dimana tumbuhan muncul di atas permukaan air namun akarnya berada dalam sedimen. Habitus kedua jenis tumbuhan akuatik tersebut dapat dilihat pada

Gambar 1. Selain itu tumbuhan tersebut termasuk jenis baru dalam pemanfaatan fitoteknologi, karena belum pernah dilakukan penelitian terkait fito, sehingga belum ada referensi sebelumnya.

Acanthus ilicifolius (Acanthaceae) termasuk tumbuhan terna, tegak atau merambat, perenial, tinggi mencapai 1,5 m sampai 2 m, batang basah tegak, bercabang banyak, kulit batang licin. Daun berhadapan, lonjong, rapat atau terputus, berbentuk anak panah, tangkai pendek, ujung runcing, tepi bercuping dalam dengan duri tebal, kaku dan tajam, permukaan daun bergelombang, berwarna hijau muda mengkilat. Bunga diujung, berwarna biru, ungu atau putih. Habitat di sepanjang pinggir muara sungai dan danau, tepi laut, sering ditemukan pada tanah rawa dan hutan bakau dekat ke pantai. Mampu tumbuh sampai

pada ketinggian 500 m dpl (Hidayat dkk., 2004; Backer dan Bakhaizen, 1963; vanValkenberg dan Bunyapraphatsara, 2002). *Coix lacryma-jobi* (Poaceae) termasuk tumbuhan rumput tegak, annual, tinggi 1,5 m sampai 3 m. Batang bulat, lunak, bergabus, beruas-ruas, hijau kekuningan. Daun tunggal, berpelepah, lanset memanjang, tepi rata, kasap, berwarna hijau. Bunga majemuk, bulir, di ketiak daun. Biji bulat telur, berdiameter 1 cm, bervariasi dalam bentuk, warna dan kekerasan, berwarna hijau kekuningan sampai ungu keputihan. Habitat alaminya pada tempat berawa, daerah payau dan dekat sungai. Toleran terhadap banjir, ditemukan sampai ketinggian 2000 m dpl (Heyne, 1987; Backer dan Bakhaizen, 1963; Grubben dan Partohardjono, 1996).



Gambar 1. Habitus tumbuhan akuatik (A. *Acanthus ilicifolius*, B. *Coix lacryma-jobi*)

Penelitian ini menggunakan logam berat yang merupakan pencemar pada semua media dengan penyebaran yang luas, bersifat toksik dan mengganggu kesehatan bahkan penyebab kematian. Pendekatan fitoforensik digunakan dalam melacak waktu kejadian dan target spesifik suatu pencemar masuk dalam tumbuhan sampai menyebabkan kematian. Sedangkan penelitian fitoforensik belum banyak dilakukan. Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah mengetahui fitoforensik logam berat (Pb dan Cd) pada tumbuhan akuatik (*Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi*). Dengan tujuan untuk mendapatkan lokasi spesifik dan perbedaan penyerapan pada bagian tumbuhan (akar, batang dan daun) terhadap logam berat Pb (timbal) dan Cd (kadmium) pada tumbuhan *Acanthus ilicifolius* (jeruju) dan *Coix lacryma-jobi* (jali).

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai: Akumulasi kandungan logam berat (Pb dan Cd) pada tumbuhan akuatik; Target spesifik pada bagian tumbuhan (akar, batang dan daun) yang terpapar logam berat (Pb dan Cd); Jangka waktu penyerapan dan pergerakan pencemar logam berat (Pb dan Cd) di dalam jaringan tumbuhan; Metode / cara baru yang lebih mudah dan murah untuk mengetahui suatu pencemaran di lingkungan berdasarkan sampel dalam jaringan tumbuhan. Hasil penelitian fitoforensik ini dapat digunakan sebagai dasar untuk penelitian fitoremediasi suatu pencemar maupun penelitian terkait fitoteknologi. Sehingga menambah khasanah ilmu pengetahuan terkait biodiversitas (keanekaragaman) tumbuhan (akuatik) dalam fitoteknologi lingkungan.

2. METODE

Penelitian fitoforensik logam berat (Pb dan Cd) pada tumbuhan akuatik (*Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi*) bertujuan mengetahui lokasi spesifik dan perbedaan penyerapan pencemar dalam bagian tumbuhan. Penelitian dilakukan mulai Nopember 2013 sampai Desember 2014, menggunakan material tumbuhan akuatik dari Kebun Raya Purwodadi – LIPI, bertempat di rumah kaca Teknik Lingkungan - ITS. Kemudian preparasi dan analisis kandungan logam

dilakukan di Laboratorium SILFI (Sanitas Lingkungan dan Fitoteknologi) Jurusan Teknik Lingkungan – ITS dan Laboratorium Pusat Studi PPLH (Pemukiman, Prasarana, dan Lingkungan Hidup) LPPM – ITS.

Alat dan Bahan

Peralatan dalam penelitian ini, berupa alat lapangan seperti: bak plastik, termohigro digital, timbangan, dll. Sedangkan peralatan pengujian laboratorium antara lain: *glassware*, neraca analitik, oven, dan AAS. Bahan yang dibutuhkan, antara lain: limbah buatan berupa logam berat dari larutan induk Pb (dari senyawa Timbal Nitrat / $Pb(NO_3)_2$) dan Cd (dari senyawa Kadmium Sulfat Hidrat / $Cd_3O_{12}S_3 \cdot 8H_2O$); media tanam berupa pasir dan air; serta material tumbuhan yaitu *Acanthus ilicifolius* (Jeruju) dan *Coix lacryma-jobi* (Jali).

Cara Kerja

Penelitian ini bersifat eksperimental, untuk mencapai tujuan penelitian maka kerangka penelitian yang digunakan adalah merumuskan ide penelitian, melakukan studi literatur terhadap penelitian terdahulu, melakukan penelitian pendahuluan berupa studi habitat, perbanyakan dan aklimatisasi, serta penentuan RFT (*Range Finding Test*) untuk menentukan konsentrasi kematian, kemudian melakukan penelitian utama berupa fitoforensik dengan pengamatan morfologi tumbuhan, pengukuran berat kering tumbuhan dan analisa kandungan logam berat dalam bagian tumbuhan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*). Penelitian menggunakan reaktor sistem *batch* dilakukan secara duplo (dua kali ulangan) untuk penelitian utama (fitoforensik) dan penelitian pendahuluan (RFT) dengan tiga kali ulangan. Variasi yang digunakan meliputi: (1) variasi zat pencemaran (Pb dan Cd), (2) variasi jenis tumbuhan (jeruju dan jali) dan (3) variasi jumlah tumbuhan dalam reaktor (tiga dan lima individu). Reaktor yang digunakan berupa bak plastik kapasitas 10 Liter dengan panjang 30 cm, lebar 25 cm dan tinggi 10 cm. Reaktor sejumlah 58 reaktor, terdiri dari 48 reaktor uji dan 10 reaktor kontrol. Parameter yang diamati selama penelitian berupa morfologi

tumbuhan, berat kering tumbuhan dan kandungan logam berat pada bagian tumbuhan serta pada media tanam. Sampel untuk analisis logam Pb dan Cd bersumber dari akar, batang dan daun tumbuhan yang digunakan serta tanah dan air dari media tanam. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif untuk setiap hasil pengamatan serta disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik agar mudah dipahami. Kemudian dilakukan pembahasan dengan menganalisis dan mensintesis hasil yang telah diperoleh dan pada akhirnya disimpulkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan, agar proses penelitian utama dapat berjalan dengan lancar. Tahap penelitian pendahuluan antara lain: perbanyakan, aklimatisasi dan RFT (Range Finding Test). Perbanyakan dilakukan untuk menyediakan material bibit tumbuhan sesuai dengan jumlah kebutuhan dan kondisi yang diinginkan secara seragam. Tumbuhan jeruju termasuk tumbuhan perenial, dan tumbuhan jali termasuk tumbuhan annual. Sehingga bibit dewasa yang dipergunakan berumur 6 bulan untuk jeruju dan 3 bulan untuk jali. Viabilitas bibit jeruju 51% dan jali 16%. Sehingga memerlukan material bibit jali lebih banyak dari pada jeruju, dan sebaliknya jeruju memiliki umur dewasa lebih lama dari pada jali. Hal ini yang menyebabkan tahap perbanyakan memerlukan waktu lama. Bibit kedua jenis yang tumbuh dari perbanyakan, kemudian digunakan dalam penelitian. Aklimatisasi dilakukan agar tumbuhan dapat menyesuaikan diri dengan tempat penelitian dalam rumah kaca

Penelitian Utama

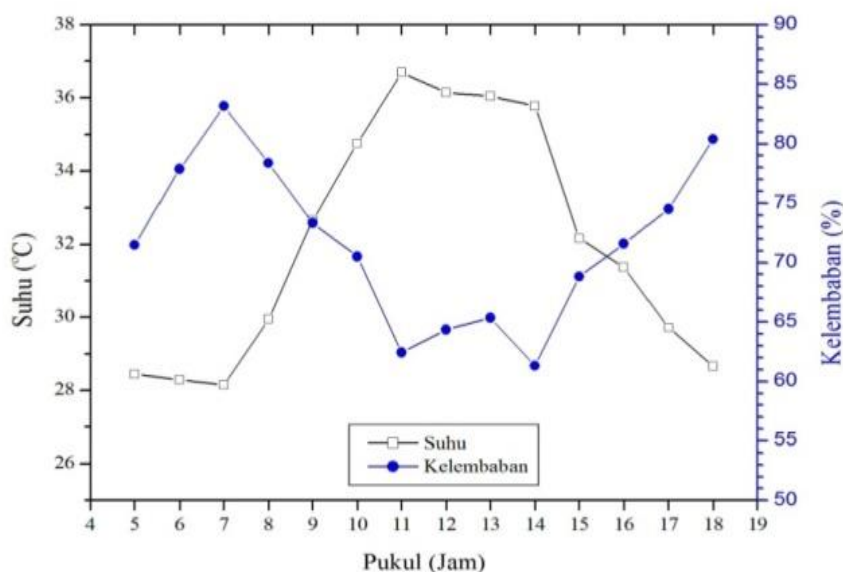
Penelitian utama berupa uji fitoforensik terdapat tiga tahap berupa persiapan larutan logam berat dan pemaparannya, pengamatan selama proses pemaparan dan pengambilan sampel pada 5 hari, 10 hari dan 15 hari, terakhir preparasi untuk pengujian kandungan logam berat Pb dan Cd dalam bagian tumbuhan (akar, batang dan daun) serta pada media tanam (air dan tanah)

(*greenhouse*). Tahap ini diperlukan apabila melakukan pemindahan bibit tumbuhan (*transplanting*), dari tempat persemaian (bak semai) ke tempat perlakuan, baik untuk penelitian pendahuluan (RFT) ataupun penelitian utama (fitoforensik). Kisaran aklimatisasi yang diperlukan antara 10 s/d 30 hari tergantung kondisi lingkungan dan jenis tumbuhan yang digunakan. RFT dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan tumbuhan untuk hidup pada konsentrasi pencemar logam berat yang dapat ditolelir oleh tumbuhan. Kriteria tumbuhan yang dipergunakan dalam RFT sama dan seragam. Tumbuhan *Acanthus ilicifolius* berumur 3 bulan, diameter batang 0,5-0,8 cm, tinggi 15-20 cm, panjang akar > 10 cm, dan jumlah daun 2 - 6 helai. Sedangkan tumbuhan *Coix lacryma-jobi* berumur 3 bulan, diameter batang 0,3-0,6 cm, tinggi 25-50 cm, panjang akar > 10 cm, dan jumlah daun 6 - 10 helai. Konsentrasi RFT yang dipaparkan mulai dari 50 ppm sampai dengan 10.000 ppm. Hasil RFT jenis *Acanthus ilicifolius* konsentrasi mematikan untuk limbah Pb diatas 8000 ppm dan Cd diatas 300 ppm. Sedangkan jenis *Coix lacryma-jobi* konsentrasi mematikan untuk limbah Pb pada 10.000 ppm dan Cd pada 500 ppm. Konsentrasi mematikan digunakan sebagai acuan dalam penelitian utama (fitoforensik) berdasarkan pengamatan selama penelitian pendahuluan (RFT). Sehingga ditentukan konsentrasi mematikan untuk tumbuhan akuatik jenis *Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi* terhadap logam Pb sebesar 10.000 mg/L dan logam Cd sebesar 400 mg/L. Kriteria kematian tumbuhan secara morfologi seperti: daun menguning, kering dan gugur; batang layu, tidak tegak dan kering; serta akar pucat, tidak mengembang, bewarna kecoklatan (tidak putih).

menggunakan alat AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Konsentrasi larutan logam berat yang disiapkan untuk paparan limbah Pb 10.000 ppm dan Cd 400 ppm setiap reaktor. Sehingga untuk pengujian satu jenis tumbuhan diperlukan 24 reaktor uji dan 4 reaktor kontrol, dengan kebutuhan bibit tumbuhan sejumlah 112 bibit. Dimana setiap reaktor ditanam tumbuhan sejumlah 3 dan 5 individu pada masing-masing

paparan logam berat (Pb dan Cd). Penentuan jumlah 3 dan 5 individu tumbuhan berdasarkan pada metode phytotoxicity yaitu metode OECD 208 dengan minimum jumlah tumbuhan 5 Baumgarten dan Heide, 2004) dan untuk meremediasi tanah tercemar digunakan jumlah tumbuhan mulai dari 3 tumbuhan dalam satu tempat untuk mengetahui efek tumbuhan dari tanah tercemar (Ogbo dkk., 2009). Selain itu penelitian fitoforensik sebelumnya juga menggunakan variasi jumlah 3 dan 5 individu (Rahmawati, 2014). Selama proses paparan, pengamatan yang dilakukan berupa mencatat faktor lingkungan berupa suhu dan kelembaban udara. Suhu adalah salah satu faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Pengamatan suhu dilakukan selama penelitian dari perbanyakan, paparan dan pengambilan sampel. Suhu yang terlalu tinggi akan menyebabkan kerugian terhadap pertumbuhan tumbuhan. Suhu yang tinggi dapat menghambat kinerja enzim, terganggunya proses pengangkutan dan penyebaran asimilat (hasil fotosintesis) dari sumber fotosintesis ke bagian-bagian tumbuhan yang menggunakan atau menyimpan makanan, dan tumbuhan menjadi layu akibat suhu yang tinggi sehingga tingginya evapotranspirasi. Suhu udara selama penelitian berfluktuatif dengan kisaran saat pengambilan sampel antara

29 °C – 30 °C (suhu media), dan suhu udara rata-rata berkisar 28 °C – 36 °C. Dimana suhu tertinggi pada siang hari antara pukul 10.30 – 13.30 WIB, yang pernah tercatat mencapai 56,3 °C. Hal ini dapat terjadi karena kondisi rumah kaca dan sekitarnya yang kurang sesuai, serta cuaca yang cukup panas. Rata-rata suhu dan kelembaban setiap jam dari pagi sampai sore di *greenhouse* Teknik Lingkungan - ITS selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 2. Selain suhu dan kelembaban, dilakukan pengamatan tinggi tumbuhan dan jumlah daun; serta biomassa tumbuhan. Dalam pengukuran tinggi tumbuhan dan perhitungan jumlah daun menunjukkan bahwa tumbuhan dapat bertahan dalam kondisi pencemar yang tinggi. Sehingga kedua tumbuhan akuatik tersebut termasuk toleran terhadap pencemar logam berat (Pb dan Cd). Secara umum tumbuhan mengalami pertumbuhan, ada penambahan tinggi tiap individu bibit antara 2-10 cm (Pb) dan 2-6 cm (Cd) meskipun tidak terlalu besar, karena ada pengaruh dari paparan logam Pb dan Cd. Berbeda dengan reaktor kontrol yang pertumbuhannya cukup besar, berkisar antara 8-22 cm (jeruju) dan 22-55 cm (jali). Dimana paparan logam Pb dan Cd menghambat proses fotosintesis yang menyebabkan terhambatnya pertumbuhan.



Gambar 2. Suhu dan Kelembaban selama penelitian 11 bulan di *greenhouse*

Logam berat dapat menyebabkan pengaruh negatif pada klorofil karena sebagian besar diakumulasi oleh organ tumbuhan, yaitu daun, batang, dan akar. Menurut Conell dan Miller (1995), kepekatan yang berlebihan dari sebagian besar logam berat menyebabkan penurunan pertumbuhan dan produktivitas tumbuhan. Biomassa tumbuhan merupakan ukuran paling sering digunakan untuk menggambarkan dan mempelajari pertumbuhan.

Biomassa diperoleh dengan menimbang berat basah dan berat kering tumbuhan setelah pemaparan. Parameter ini sangat representatif sebagai indikator pertumbuhan, dimana taksiran biomassa (berat) mudah diukur dan merupakan integrasi dari hampir semua peristiwa yang dialami tumbuhan sebelumnya (Sitompul dan Guritno, 1995).

Meskipun dengan paparan logam Pb dan Cd, tumbuhan masih dapat tumbuh namun secara otomatis menghambat pertumbuhan, dengan penurunan berat rata-rata Pb dan Cd dari 48,13 dan 52,66 gram (hari ke 5) menjadi 42,81 dan 43,06 gram (hari ke 15) pada *Acanthus ilicifolius*. Sedangkan *Coix lacryma-jobi* dari 25,75 dan 27,50 gram (hari ke 5) menjadi 10,12 dan 12,31 gram (hari ke 15). Pada tumbuhan normal yang tidak terpapar logam berat, beratnya sekitar 54,25 gram (jeruju) dan 115,25 gram (jali).

Secara morfologi terjadi hambatan pertumbuhan dilihat dari perubahan warna daun selama pengamatan kedua jenis tersebut. Paparan Pb dan Cd pada konsentrasi yang tidak mematikan dapat menghambat pertumbuhan, meskipun masih terlihat pertumbuhan tinggi batang dan jumlah daun. Namun untuk paparan Cd hambatan pertumbuhannya lebih terlihat dibandingkan pada paparan Pb. Perubahan warna pada *Acanthus ilicifolius* terlihat urat daun hitam kecoklatan dengan batang hijau kehitaman dan warna daun lebih hijau muda sampai kekuningan. Sedangkan pada *Coix lacryma-jobi* ditemukan daun bergaris kekuningan, lebih hijau muda, tepi daun berwarna merah gelap, kuning kecoklatan, dan daun hijau kekuningan. Perubahan morfologi warna daun dapat dilihat pada Gambar 3.



A



B

Gambar 3. Perubahan morfologi daun

A. *Acanthus ilicifolius* B. *Coix lacryma-jobi*

Kandungan Logam Berat Pada Bagian Tumbuhan

Hasil analisis diketahui kedua tumbuhan akuatik tersebut mampu menyerap logam berat (Pb dan Cd) dan mentranslokasikannya ke bagian tubuh tumbuhan dari akar hingga ke daun. Konsentrasi akumulasi tertinggi pada *Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi* berada di bagian akar tumbuhan. Hal ini berhubungan dengan fitoproses yang dilakukan oleh tumbuhan. Hasil kandungan logam berat Pb dan Cd pada tiap bagian tumbuhan *Acanthus ilicifolius* (jeruju) selama pemaparan dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan pada *Coix lacryma-jobi* (jali) kandungan logam berat Pb dan Cd di setiap bagian tumbuhan selama pemaparan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Kandungan Logam pada Tumbuhan *Acanthus ilicifolius* (Jeruju)

<i>Acanthus ilicifolius</i>	5 Hari	10 Hari	15 Hari
Pb pada 3 individu			
Daun	24,750	27,750	22,875
Batang	7,875	33,500	20,625
Akar	8.592,650	4.928,875	8.958,250
Pb pada 5 individu			
Daun	44,375	44,500	19,750
Batang	20,625	119,625	41,000
Akar	8.850,375	7.324,000	5.935,125
Cd pada 3 individu			
Daun	0,488	1,038	1,063
Batang	1,300	2,725	0,663
Akar	102,313	202,438	237,275
Cd pada 5 individu			
Daun	3,263	1,725	1,125
Batang	4,200	2,763	2,025
Akar	79,775	88,975	147,200

Dari Tabel 1. menunjukkan bahwa akumulasi logam terbesar pada bagian akar, kemudian batang dan terkecil pada daun. Akumulasi logam berat pada bagian tumbuhan memiliki kecenderungan yang sama baik pada reaktor uji berisi 3 individu maupun 5 individu. Akumulasi logam Pb berdasarkan waktu, bagian akar hari ke-5 tinggi, kemudian rendah pada hari ke-10 dan tinggi lagi pada hari ke-15. Sebaliknya pada batang dan daun, hari ke-5 rendah, kemudian hari ke-10 tinggi dan rendah lagi pada hari ke-15. Sedangkan akumulasi logam Cd berdasarkan waktu, pada akar mengalami peningkatan dari hari ke-5, kemudian hari ke-10 dan tertinggi pada hari ke-15. Sebaliknya pada batang dan daun mengalami penurunan dari hari ke-5, kemudian hari ke-10 dan terendah pada hari ke-15. Jika dilihat besaran konsentrasi perpindahan dan penyerapan untuk logam Pb tumbuhan *Acanthus ilicifolius* (jeruju) terbesar pada 3 individu di akar 8.958 ppm, batang 33,5 ppm dan daun 27,7 ppm, sedangkan 5 individu di akar 8.850 ppm, batang 119,6 ppm dan daun 44,5 ppm. Untuk logam Cd pada 3 individu di akar 237,2 ppm, batang 2,72 ppm dan daun 1,06 ppm, sedangkan 5 individu di akar 147,2 ppm, batang 4,2 ppm dan daun 3,26 ppm. Hal ini menunjukkan semakin sedikit jumlah individu semakin besar akumulasi terhadap logam.

Tabel 2. Kandungan Logam pada Tumbuhan *Coix lacryma-jobi* (Jali)

<i>Coix lacryma-jobi</i>	5 Hari	10 Hari	15 Hari
Pb pada 3 individu			
Daun	216,250	135,750	250,750
Batang	60,000	107,250	149,250
Akar	4.383,125	6.928,875	7.235,750
Pb pada 5 individu			
Daun	133,750	274,500	208,125
Batang	82,625	128,000	242,875
Akar	6.008,375	8.197,625	7.368,250
Cd pada 3 individu			
Daun	5,125	6,725	6,813
Batang	2,150	4,325	3,050
Akar	48,288	174,938	130,675
Cd pada 5 individu			
Daun	3,163	18,175	3,400
Batang	2,938	0,975	1,075
Akar	141,288	194,113	138,325

Dari Tabel 2. menunjukkan bahwa akumulasi logam terbesar pada bagian akar, kemudian daun dan terkecil pada batang. Akumulasi logam berat pada bagian tumbuhan memiliki kecenderungan yang sama baik pada reaktor uji berisi 3 individu maupun 5 individu. Akumulasi logam Pb berdasarkan waktu, bagian akar pada hari ke-5 tinggi, kemudian meningkat pada hari ke-10 dan hari ke-15. Sebaliknya pada batang dan daun, tidak memperlihatkan kecenderungan yang sama. Namun nilai akumulasi lebih besar di daun dari pada batang. Sedangkan akumulasi logam Cd berdasarkan waktu, pada akar, batang dan daun menunjukkan kecenderungan yang sama, meningkat dari hari ke-5, kemudian hari ke-10 tertinggi dan menurun pada hari ke-15. Meskipun ada perbedaan akumulasi terhadap jumlah individu tumbuhan. Jika dilihat besaran konsentrasi perpindahan dan penyerapan untuk logam Pb tumbuhan *Coix lacryma-jobi* (Jali) pada 3 individu di akar 7.235 ppm, daun 250,7 ppm dan batang 149,2 ppm, sedangkan 5 individu di akar 8.197 ppm, daun 274,5 ppm dan batang 242,8 ppm. Untuk logam Cd pada 3 individu di akar 174,9 ppm, daun 6,81 ppm dan batang 4,32 ppm, sedangkan 5 individu di akar 194,1 ppm, daun 18,1 ppm dan batang 2,93 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin bertambah jumlah individu juga semakin besar akumulasinya. Sehingga semua tumbuhan

memiliki kemampuan menyerap logam dalam jumlah yang bervariasi, tergantung jenis tumbuhannya.

Akumulasi dan Translokasi oleh Tumbuhan

Tumbuhan sangat besar perannya dalam menyerap pencemar di dalam media. Hal ini ditunjukkan pada media dengan zat pencemar logam berat (Pb dan Cd) tanpa tumbuhan penurunan konsentrasi logam yang diberi, jauh dibawah daripada media yang ada tumbuhannya. Sejumlah tumbuhan terbukti memiliki sifat hiperakumulasi, yakni mampu mengakumulasi unsur logam tertentu dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya, sehingga bersifat hiperakumulator (Hidayati, 2005). Sifat hiperakumulator dapat digunakan untuk tujuan fitoekstraksi. Dalam proses fitoekstraksi ini logam berat diserap oleh akar tumbuhan dan ditranslokasikan ke bagian tumbuhan untuk diolah kembali atau dibuang saat dipanen. Pada akumulasi logam Pb dan Cd terbesar di bagian akar untuk kedua tumbuhan akuatik (*Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi*) dimana untuk Pb cenderung tetap bertambahnya waktu. Namun untuk Cd relatif mengalami peningkatan dengan bertambahnya waktu. Akar merupakan bagian tumbuhan yang mempunyai daya serap terbaik terhadap logam berat (Pb dan Cd). Hal ini karena akar mempunyai kemampuan untuk membentuk sejumlah besar biomassa akar, sehingga memiliki kapasitas besar untuk mengakumulasi logam berat. Penyerapan logam berat yang dilakukan oleh akar disebut rizofiltrasi. Tumbuhan mengeluarkan senyawa organik dan enzim melalui akar, sehingga daerah rizosfer merupakan lingkungan yang sangat baik untuk tempat tumbuhnya mikroba dalam tanah. Mikroba di daerah rizosfer akan mempercepat proses menyerap kontaminan oleh akar. Kemudian diangkut ke jaringan pengangkut (xylem dan floem) kebagian tumbuhan yang lain. Sehingga penurunan konsentrasi pada media akibat proses tumbuhan (fitoproses) dengan asosiasi peran mikroba tanah. Fitoproses yang terjadi pada zona akar tumbuhan adalah fitostabilisasi sebagai proses imobilisasi kontaminan dalam tanah, dan rizofiltrasi sebagai proses penyerapan kontaminan ke dalam akar.

Logam Pb dan Cd dapat membentuk ion-ion logam yang dapat larut. Ion tersebut melakukan penetrasi pada membran sel, sehingga terakumulasi di dalam sel dan jaringan tumbuhan. Sebagai upaya untuk mencegah keracunan logam, tumbuhan mempunyai mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar (Priyanto dan Prayitno, 2004).

Penyimpanan logam di akar melibatkan pengendapan ekstraseluler yang disimpan di dalam dinding sel. Logam dapat berpindah melalui aringan akar sampai ke korteks kemudian diakumulasi di endodermis. Endodermis ini berfungsi sebagai partial barrier terhadap pemindahan logam dari akar ke tunas (Siswanto, 2009). Hal ini yang diduga sebagai salah satu alasan adanya akumulasi logam di akar lebih besar daripada bagian tumbuhan yang lain. Adanya akumulasi logam pada bagian tumbuhan merupakan usaha lokalisasi yang dilakukan tumbuhan, dengan mengumpulkan dalam satu organ (Heriyanto dan Endro, 2011). Proses masuknya logam ke dalam jaringan tumbuhan melalui xylem ke semua bagian tumbuhan sampai ke daun (Dahlan, 1986).

Pada sel tumbuhan logam di lokalisasi pada bagian sel tertentu, umumnya pada vakuola untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan (Priyanto dan Prayitno, 2004). Logam yang terakumulasi dalam vakuola tidak akan berhubungan dengan proses fisiologi sel tumbuhan. Karena jika logam dapat masuk dalam sel dan berikatan dengan enzim sebagai katalisator, akibatnya reaksi kimia di sel tumbuhan akan terganggu. Gangguan dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan epidermis, sponsa dan palisade. Kerusakan tersebut ditandai dengan nekrosis dan klorosis pada tumbuhan (Haryati dkk., 2012). Meskipun demikian respon tumbuhan terhadap logam berat untuk setiap jenis tumbuhan sangat beragam dalam kemampuan tumbuhan toleran ataupun tidak toleran terhadap keracunan unsur logam (Salisbury dan Ross, 1995). Setidaknya tumbuhan memiliki tiga strategi dasar untuk tumbuh pada media yang

tercemar logam berat, yaitu: 1. *Metal excluder*, tumbuhan mencegah masuknya logam dari bagian aerial atau menjaga agar konsentrasi logam tetap rendah dalam tanah; 2. *Metal indicator*, tumbuhan mentoleransi keberadaan konsentrasi logam dengan menghasilkan senyawa pengikat logam atau mengubah susunan logam dengan menyimpan logam pada bagian yang tidak sensitif; 3. *Metal accumulator*, tumbuhan mengkonsentrat konsentrasi logam yang tinggi pada bagian aerial tumbuhan, tumbuhan ini menyerap kadar kontaminan yang tinggi dan diendapkan dalam akar, batang, daun atau tunas (Raskin, dkk., 1994). Mekanisme penyerapan dan akumulasi logam oleh tumbuhan terjadi pada tiga proses: 1. Penyerapan oleh akar, 2. Translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan, dan 3. Lokalisasi logam pada sel dan jaringan (Hardiani, 2009).

Oleh karena itu penyerapan logam oleh tumbuhan ditentukan oleh jenis tumbuhan, konsentrasi logam dalam media dan waktu kontak/paparan dengan logam. Faktor genetik dan jenis tumbuhan sangat menentukan dalam penyerapan logam pada zona perakaran dan akar / tajuk pada tingkat yang bervariasi. Penyerapan juga ditentukan oleh tipe jaringan tumbuhan dan perlakuan yang diberikan pada media tanah (Knox dkk., 2000). Waktu kontak antara logam dapat mempengaruhi daya serap tumbuhan. Dimana semakin lama waktu kontak maka penyerapan juga akan meningkat sampai pada waktu tertentu akan mencapai maksimum dan setelah itu akan turun kembali (Lelifajri, 2010). Berdasarkan hasil kemampuan akumulasi tumbuhan terhadap paparan logam (Pb dan Cd), maka dapat dilakukan pembahasan nilai TF (*Translocation Factor*) dan BCF (*BioConcentration Factor*). Kemampuan tumbuhan dalam mengakumulasi logam berat diprediksi dari nilai TF dan BCF. TF (*Translocation Factor*) dihitung untuk mengetahui translokasi pencemar logam berat Pb dan Cu masuk ke bagian tumbuhan dari tanah ke akar ataupun ke bagian lain di tumbuhan (Barman dkk., 2000). Nilai $TF > 1$ menunjukkan bahwa tumbuhan mentranslokasikan pencemar dengan efektif dari tanah ke akar (Baker dan

Brooks, 1989). Menurut Sigh dkk., (2010) persamaan dari TF sebagai berikut.

$$TF = \frac{\text{Konsentrasi logam di bagian tumbuhan}}{\text{Konsentrasi logam di tanah atau di akar}} \dots (1)$$

Tabel 3. Hasil Perhitungan TF Pada Tumbuhan

Jenis Tumbuhan	Nilai Tranlocation Factor (TF)
<i>Tumbuhan Acanthus ilicifolius</i>	
Pb pada 3 individu	1,005
Pb pada 5 individu	1,010
Cd pada 3 individu	1,007
Cd pada 5 individu	1,021
<i>Tumbuhan Coix lacryma-jobi</i>	
Pb pada 3 individu	1,055
Pb pada 5 individu	1,061
Cd pada 3 individu	1,075
Cd pada 5 individu	1,032

Menurut Baker (1981) tumbuhan diklasifikasikan ke dalam *metal accumulator* jika TF lebih dari satu dan *metal excluder* jika TF kurang dari satu. Hasil perhitungan nilai TF dapat dilihat pada Tabel 3. Dimana pada tumbuhan *Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi* didapatkan bahwa nilai TF lebih dari 1. Sehingga tumbuhan mampu mentranslokasikan pencemar logam berat (Pb dan Cd) dengan efektif di bagian tubuhnya.

BCF (*bioconcentration factor*) diketahui dengan membandingkan antara konsentrasi kontaminan pada tumbuhan dengan konsentrasi kontaminan di media tumbuh, yang dirumuskan pada persamaan sebagai berikut

$$BCF = \frac{\text{Konsentrasi kontaminan di tumbuhan}}{\text{Konsentrasi kontaminan di media}} \dots (2)$$

Apabila nilai $BCF > 1$, maka zat tersebut berpotensi terakumulasi dalam tumbuhan dan patut dipertimbangkan sebagai tumbuhan akumulator zat. Tumbuhan akumulator merupakan tumbuhan yang mampu menyerap / mengakumulasi zat pencemar dalam tubuhnya. Apabila kemampuan akumulasinya sebanyak 100 ppm (Widowati dkk., 2008) atau lebih dari 1000 mg/kg berat kering tumbuhan (Landis dkk.,

2011), maka tumbuhan tersebut dianggap tumbuhan hiperakumulator (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010). Hasil perhitungan BCF selama 15 hari penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan BCF pada Tumbuhan

Jenis Tumbuhan	Konsentrasi ditambahkan (mg/L)	Konsentrasi dalam tanah (mg/L)	Konsentrasi dalam tumbuhan (mg/L)	BCF
<i>Acanthus ilicifolius</i>				
Pencemar Pb				
3 individu	10.000	622,450	9.001,750	14,462
5 individu	10.000	552,250	5.995,875	10,857
Pencemar Cd				
3 individu	400	7,960	239,000	30,025
5 individu	400	7,505	150,350	20,033
<i>Coix lacryma-jobi</i>				
Pencemar Pb				
3 individu	10.000	446,750	7.635,750	17,092
5 individu	10.000	351,550	7.819,250	22,242
Pencemar Cd				
3 individu	400	3,545	140,538	39,644
5 individu	400	5,840	142,800	24,452

Hasil yang didapatkan nilai BCF lebih dari 1, sehingga tumbuhan *Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi* termasuk dalam tumbuhan hiperakumulator. Tumbuhan hiperakumulator mampu mengakumulasi logam yang tinggi secara luar biasa. Hal ini menunjukkan bahwa tumbuhan memiliki potensi genetik untuk membersihkan media lingkungan yang terkontaminasi. Nilai TF dan BCF digunakan untuk mengidentifikasi suatu jenis tumbuhan potensial. Bila tumbuhan memiliki TF dan BCF > 1 memiliki potensi dalam fitoekstraksi (Sabo dan Ladan, 2014). Sehingga kedua jenis tumbuhan *Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi* potensial dapat dijadikan sebagai tumbuhan untuk fitoremediasi media tercemar logam berat (Pb dan Cd). Seperti halnya tumbuhan akuatik lain yang digunakan dalam fitoremediasi (Tangahu, 2011). Selain itu tumbuhan jenis ini, asli setempat. Sehingga seharusnya dapat digunakan dalam fitoremediasi (fitoekstraksi) karena jenis setempat lebih baik dalam

kelangsungan hidup, pertumbuhan dan reproduksi di habitatnya dibandingkan tumbuhan dari tempat lain (Yoon dkk., 2006). Hal ini pula yang mendasari pemilihan kedua jenis tumbuhan jeruju dan jali, selain keberadaan koleksi dan ketersediaan material (Irawanto, 2014). Kebetulan memiliki bagian tumbuhan yang jelas (akar, batang dan daun) dan merepresentasikan dua kelompok tumbuhan yang berbeda, yaitu dikotil dan monokotil.

Perbedaan yang mendasar dikotil dan monokotil dalam struktur tumbuhan pada akar, berkas pengangkut dan pertulangan daun. Kemungkinan dapat menyebabkan perbedaan penyerapan dan perpindahan logam berat dalam bagian tumbuhan. Pada penyerapan logam oleh tumbuhan, akumulasi Pb dan Cd terbesar pada akar. Namun konsentrasi pemaparan Pb jauh lebih besar dari pada Cd untuk dapat mematkan tumbuhan. Hal ini dikarenakan Cd diserap relatif lebih baik oleh tumbuhan (Rotard dkk., 2011). Berdasarkan studi koefisien fitoekstraksi menunjukkan bahwa Pb lebih sulit untuk diserap daripada Cd (ORD, 2010). Secara umum, Cd lebih toksik terhadap tumbuhan daripada Pb. Kerusakan tumbuhan akibat Cd berpengaruh terhadap pertumbuhan daripada Pb yang lebih toleran. Sehingga beberapa studi menunjukkan bahwa tumbuhan mengakumulasi lebih banyak Pb daripada Cd (Niu dkk., 2007). Kemampuan menyerap kontaminan logam dari tanah atau air melalui akar dan diakumulasi serta ditranslokasi ke bagian tumbuhan disebut fitoekstraksi juga dikenal dengan fitoakumulasi, fitoabsorpsi atau fitosequestrasi (Ali dkk., 2013). Berdasarkan hasil pengujian tumbuhan *Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi* potensi fitoekstraksi. Pendekatan pengujian ini, melihat tumbuhan dalam mengumpulkan, menyimpan dan memindahkan kontaminan dari lingkungan disebut fitoforensik (Burken dkk., 2011). Sehingga fitoforensik melihat translokasi target kontaminan dalam bagian tumbuhan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan yaitu:

Proses fitoforensik tergantung pada kemampuan tumbuhan terhadap pencemar, untuk *Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi*, tumbuhan mengalami kematian pada konsentrasi Pb 10.000 ppm dan Cd 400 ppm.

Tumbuhan *Acanthus ilicifolius* (Jeruju) dan *Coix lacryma-jobi* (Jali) mampu megakumulasi logam Pb dan Cd terbesar pada bagian akar, dan berpotensi sebagai tumbuhan hiperakumulator dengan nilai TF dan BCF > 1. Perpindahan dan penyerapan logam Pb terbesar pada tumbuhan *Acanthus ilicifolius* (Jeruju) 3 individu di akar 8.958 ppm, batang 33,5 ppm dan daun 27,7 ppm, sedangkan 5 individu di akar 8.850 ppm, batang 119,6 ppm dan daun 44,5 ppm. Untuk logam Cd pada 3 individu di akar 237,2 ppm, batang 2,72 ppm dan daun 1,06 ppm, sedangkan 5 individu di akar 147,2 ppm, batang 4,2 ppm dan daun 3,26 ppm. Perpindahan dan penyerapan logam Pb terbesar pada tumbuhan *Coix lacryma-jobi* (Jali) 3 individu di akar 7.235 ppm, daun 250,7 ppm dan batang 149,2 ppm, sedangkan 5 individu di akar 8.197 ppm, daun 274,5 ppm dan batang 242,8 ppm. Untuk logam Cd pada 3 individu di akar 174,9 ppm, daun 6,81 ppm dan batang 4,32 ppm, sedangkan 5 individu di akar 194,1 ppm, daun 18,1 ppm dan batang 2,93 ppm.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Panitia Seminar Teknologi Lingkungan XII atas kesempatannya, juga kepada dosen penguji ibu Alia Damayanti, ST., MT., PhD., ibu Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD., dan ibu Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD. atas arahannya yang sangat bermanfaat. Tak lupa pula kepada Program Karyasiswa Kementerian RISTEK.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, H., E. Khan dan M.A. Sajad. 2013. *Phytoremediation of Heavy Metals – concepts and applications*. Chemosphere, 91(1), pp. 869-881.

Backer, C.A. dan R.C. Bakhaizen. 1963. *Flora of Java*. The Rijksherbarium. Netherlands.

Baker, A.J.M. dan R.R. Brooks. 1989. *Terrestrial Higher Plants Which Hyper Accumulate Metallic Elements-A Review of Their Distribution, Ecology and Phytochemistry*. Biorecovery, 12(1), pp. 81-126.

Barman, S.C., R.K. Sahu, S.K. Bhargava dan C. Chatterjee. 2000. *Distribution of Heavy Metals in Wheat, Mustard and Weed Grains Irrigated with Industrial Effluents*. Bull. Environ. Conta. Toxicol., 64(1), pp. 489-496.

Baumgarten, A dan S. Heide. 2004. *Phytotoxicity (Plant Tolerance)*. Agency for Health and Food Safety, Vienna.

Burken, J.G., D.A. Vroblesky, dan J.C. Balouet. 2011. *Phytoforensics, Dendrochemistry, and Phytoscreening: New Green Tools for Delineating Contaminants from Past and Present*. Environmental Science and Technology, 45(1), pp. 6218-6226.

Connell, D.W dan G.J Miller. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Diterjemahkan oleh Yanti Koestoer. Universitas Indonesia Press. Jakarta.

Dahlan, E.N. 1986. *Pencemaran Daun Teh oleh Timbal Sebagai Akibat Emisi Kendaraan Bermotor di Gunung Mas Puncak*. Makalah Kongres Ilmu Pengetahuan Indonesia, Panitia Nasional MAB, Jakarta.

Darmono. 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Universitas Indonesia. Jakarta.

Grubben, G.J.H. dan S. Partohardjono. 1996. *Plant Resources of South-East Asia*. No. 10: Cereal. PROSEA Foundation. Bogor.

Hardiani, H. 2009. *Potensi Tanaman Dalam Mengakumulasi Logam Cu Pada Media*

- Tanah Terkontaminasi Limbah Padat Industri Kertas*. Bioscience, 44(1).
- Haryati, M., T. Purnomo, dan S. Kuntjoro. 2012. *Kemampuan Tanaman Genjer (Limnocharis Flava (L.) Buch.) Menyerap Logam Berat Timbal (Pb) Limbah Cair Kertas pada Biomassa dan Waktu Pemaparan Yang Berbeda*. Lateral Bio, 1(3).
- Heriyanto, N.M dan S. Endro. 2011. *Penyerapan Polutan Logam Berat (Hg, Pb dan Cu) oleh Jenis-Jenis Mangrove*. Pusat Litbang Konservasi dan Rehabilitasi.
- Hidayat, S. Yuzammi, Hartini, S. dan Astuti, I.P. 2004. *Tanaman Air Kebun Raya Bogor*. 1(5).
- Hidayati, N. 2005. *Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator*. Pusat Penelitian Biologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, 12(1).
- Irawanto, R. 2013. *Pengembangan Laboratorium Biji Kebun Raya Purwodadi Melalui Studi Pengelolaan Pada Instansi Penelitian Terkait*. Prosiding Seminar Biologi UNESA, Surabaya.
- Irawanto, R. 2013. *Pemetaan Hidrofita dan Potensi Fitoremediator Koleksi Kebun Raya Purwodadi*. Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah – ITS, Surabaya, G11-G20.
- Irawanto, R. 2014. *Seleksi Tumbuhan Akuatik Koleksi Kebun Raya Purwodadi dalam Fitoteknologi Lingkungan*. Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Sains, UNESA, Surabaya.
- Knox, A.S., J. Seaman, D.C. Andriano, dan G. Pierzynski. 2000. *Chemostabilization of metals in contaminated soils*. Di dalam: Wise DL, Trantolo DJ, Cichon EJ, Inyang HI, Stottmeister U (ed). *Bioremediation of Cotaminated Soils*. New York, Marcek Dekker.
- Landis, W.G., R.M. Sofield, dan M.H. Yu. 2011. *Introduction to Environmental Toxicology: Molecular Substructures and Ecological Landscapes*. CRC Press, New York.
- Lelifajri. 2010. *Adsorpsi Ion Logam Cu (II) Menggunakan Lignin dari Limbah Serbuk Kayu Gergaji*. Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan, 7(3).
- Lestardini, W., D. Narko dan A. Suprpto. 2012. *An Alphabetical List of Plant Species Cultivated in Purwodadi Botanic Garden*. Pasuruan: Kebun Raya Purwodadi, LIPI.
- Ludwig, A. 2007. *Create an Oasis with Greywater*. Oasis Design. California.
- Mangkoedihardjo, S. dan G. Samudro. 2010. *Fitoteknologi Terapan*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Niu, Z., L. Sun, T. Sun, Y. Li dan H. Wang. 2007. *Evaluation of Phytoextracting Cadmium and Lead by Sunflower, Ricinus, Alfalfa and Mustard in Hydroponic Culture*. Journal of Environmental Sciences, 19(1), pp. 961-967.
- Ogbo, E. M., Mary Z., dan Gloria O. 2009. *The Effect of Crude Oil on Growth of The Weed (Paspalum scrobiculatum L.) – Phytoremediation Potential of The Plant*. African Journal of Environmental Science and Technology, 3(9).
- ORD. 2010. *Introduction of Phytoremediation. Office of Research and Development - U.S. Environmental Protection Agency. Ohio*.
- Priyanto B., dan J. Prayitno. 2004. *Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat*. Jurnal Informasi Fitoremediasi.
- Rahmawati, C.O.D. 2014. *Fitoforensik Logam Berat Timba (Pb) dan Tembaga (Cu) Pada Tumbuhan Krokot (Portulaca*

- grandiflora*) dan Kacang Hias (*Arachis pitoi*). Tesis. Teknik Lingkungan. ITS. Surabaya.
- Raskin, I., P.B.A.N. Kumar, S. Dishenkov dan D. Salt. 1994. *Bioconcentration of Heavy Metal by Plants*. Current opinion, Biotechnology, 5(1) , pp. 285-290.
- Rotard, O.H.W., S. Trapp dan R. Desi. 2011. *Guide to Phytoscreening – Using tree core sampling and chemical analyses to investigate contamination in the ground water and soil*. Helmholtz Centre for Environmental Research. Jerman.
- Sabo, A. dan M. Ladan. 2014. *Phytoremediation Potential of Some Indigenous Herbaceous Plant Species Growing on Metalliferous Mining Site at Nahuta, Bauchi State, Nigeria*. Proceeding of The ICOEST-SIDE, Turkey, pp. 747-755.
- Salisbury, F.B. dan C.W. Ross. 1995. *Fisiologi Tumbuhan*. Jilid I. Penerbit ITB, Bandung.
- Singh R., D.P. Singh, Narendra K.,S.K Bhargava, dan S.C. Barman. 2010. *Accumulation and Translocation of Heavy Metals in Soil and Plants From Fly Ash Contaminated Area*. Journal of Environmental Biology.
- Siswanto, D. 2009. *Respon Pertumbuhan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) Jagung (*Zea mays* L.) dan Kacang Tolo (*Vigna sinensis* L.) terhadap Pencemar Timbal (Pb)*. Universitas Brawijaya, Malang.
- Sitompul, S.M. dan B. Guritno. 1995. *Analisis Pertumbuhan Tanaman*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Soemirat, J. 2003. *Toksikologi Lingkungan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Sorek, A. Atzmon, N. Dahan, O. Gerstl, Z. Kushisin, L. Laor, Y. Mingelgrin, U. Nasser, A. Ronen, D. Tsechansky, L. Weisbrod, dan N. Graber, E. R. 2008. *Phytoscreening: The use of trees for discovering subsurface contamination*. VOCs. Environ. Sci. Technol, 42(2), pp. 536–542.
- Tanaka, N., W.J. Ng dan K.B.S.N. Jinadasa. 2011. *Wetlands For Tropical Applications: Wastewater Treatment by Constructed Wetlands*. Imperial College Press. London.
- Tangahu, B.V., S.R.S. Abdullah, H. Basri, M. Idris, N. Anwar, dan M. Mukhlisin. 2011. *Review Article on Heavy Metal (As, Pb and Hg) Uptake By Plant Throught Phytoremediation*. Jurnal of Chemical Engineering, Malaysia.
- UNEP. 2003. *Phytotechnologies Freshwater Management Series No. 7*. United Nations Environmental Programme. <http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/Freshwater/FMS7/5.asp> tanggal 04 Oktober 2013.
- VanValkenberg, J.L.C.H. dan Bunyapraphatsara. 2002. *Plant Resources of South-East Asia*, 20(2): Medical and Poisoning Plant 2. PROSEA Foundation. Bogor.
- Wang, L.K., J.P. Chen, Y.T. Hung dan N.K. Shamma. 2009. *Heavy Metals in the Environment*. CRC press. New York.
- Widowati, W., A. Sastiono, dan R.J. Ramampuk. 2008. *Efek Toksik Logam: Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Penerbit ANDI. Yogyakarta.
- Yoon, J., X. Cao, Q. Zhou dan L. Q. Ma 2006. *Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site*. Science of the Total Environment, 368(1), pp. 456–464.