ANALYSIS OF HEAVY METAL CONTENT OF LEAD (Pb) AND CADMIUM (Cd) AT WATER HYACINTH (Eichhornia crassipes) IN INDRAGIRI RIVER WATERSHED INDRAGIRI HILIR REGENCY AS THE BIOLOGY MODULE DESIGN OF ENVIRONMENTAL POLLUTION CONCEPT IN SMA

Suwondo[1], Elya Febrita[2], Dimas Bayu Hidayat[3],
e-mail: wondo_su@yahoo.co.id, Elyafebrita59@gmail.com, dimas_bayuhidayat@ymail.com, phone +6282283727290,

Program Study of Biology Education
Faculty of Teacher Training and Education University of Riau

Abstract: *The research was conducted to find out the concentration of heavy metal Lead (Pb) and Cadmium (Cd) at water hyacinth (Eichhornia crassipes) in Indragiri River Watershed Indragiri Hilir Regency as the biology module design of environmental pollution concept in Senior High School (SMA) conducted in May-July 2016. The research station is conducted by purposive random sampling taking into account the environmental conditions based on community activity around the river and the existence of Eichhornia crassipes. The main parameters in this study include concentrations of heavy metals Pb and Cd in river water, sediment and Eichhornia crassipes, and physical-chemical parameters as supporting parameters. The results showed that the average concentration of Pb heavy metals in river water was 0.276 ppm and Cd 0.126 ppm. The average concentration of Pb heavy metals in sediments was 4.61 ppm and Cd 0.75 ppm. The accumulation of heavy metals Pb and Cd Eichhornia crassipes are included in the low category, ie the average concentration of Pb heavy metals in root organs 3.02 ppm, on leaf organ 2.61 ppm, and in leaf organ 2.09 ppm. While the concentration of heavy metal Cd on root organs 0.47 ppm, on the leaf organ 0.39 ppm, and the leaf organ 0.362 ppm. Then, research results of heavy metal concentrations of Pb and Cd in river water, sediment, and Eichhornia crassipes that have been implemented will serve as a source in the preparation of learning modules in high school.*

Keywords*: Biology Module, Eichhornia crassipes, Heavy Metals Pb and Cd, Water Pollution.*

ANALISIS KONSENTRASI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DAN KADMIUM (Cd) PADA ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) DI PERAIRAN SUNGAI INDRAGIRI SEBAGAI RANCANGAN MODUL KONSEP PENCEMARAN LINGKUNGAN DI SMA

Suwondo[1], Elya Febrita[2], Dimas Bayu Hidayat[3],
e-mail: wondo_su@yahoo.co.id, Elyafebrita59@gmail.com, dimas_bayuhidayat@ymail.com,
phone +6282283727290,

Program Studi Pendidikan Biologi
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Riau

Abstrak: Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui konsentrasi logam berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) di Perairan Sungai Indragiri Kabupaten Indragiri Hilir sebagai rancangan modul biologi konsep pencemaran lingkungan di SMA yang dilakukan pada bulan Mei-Juli 2016. Penentuan stasiun penelitian dilakukan secara purposive random sampling dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan berdasarkan pada aktivitas masyarakat sekitar sungai dan keberadaan *Eichhornia crassipes*. Parameter utama dalam penelitian ini meliputi konsentrasi logam berat Pb dan Cd pada air sungai, sedimen dan *Eichhornia crassipes*, dan parameter fisika-kimia sebagai parameter pendukung. Hasi penelitian menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi logam berat Pb pada air sungai 0,276 ppm dan Cd 0,126 ppm. Rata-rata konsentrasi logam berat Pb pada sedimen 4,61 ppm dan Cd 0,75 ppm. Akumulasi logam berat Pb dan Cd *Eichhornia crassipes* termasuk dalam kategori rendah, yaitu rata-rata konsentrasi logam berat Pb pada organ akar 3,02 ppm, pada organ tangkai daun 2,61 ppm, dan pada organ daun 2,09 ppm. Sedangkan konsentrasi logam berat Cd pada organ akar 0,47 ppm, pada organ tangkai daun 0,39 ppm, dan pada organ daun 0,362 ppm. Selanjutnya hasil penelitian konsentrasi logam berat Pb dan Cd pada air sungai, sedimen dan *Eichhornia crassipes* yang telah dilaksanakan akan dijadikan sebagai sumber dalam penyusunan modul pembelajaran di SMA.

Kata kunci: Eichhornia crassipes, Logam berat Pb dan Cd, Pencemaran air, Modul Biologi

PENDAHULUAN

Sungai merupakan salah satu sumber daya perairan yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Namun seiring dengan berkembangnya berbagai aktivitas manusia di sepanjang perairan sungai, dapat meningkatkan resiko terjadinya penurunan kualitas perairan. Penurunan kualitas perairan disebabkan oleh masuknya buangan limbah, sehingga menyebabkan terjadinya perubahan kualitas fisik, kimia, biologis dan estetika perairan. Hal tersebut berdampak terhadap fungsi perairan yang tidak sesuai lagi dengan peruntukannya dalam mendukung sebagian besar kehidupan organisme akuatik dan kebutuhan manusia. Diantara bahan pencemar berbahaya yang dapat merubah kualitas dan merusak daya dukung lingkungan perairan adalah logam berat.

Sungai Indragiri merupakan sungai terbesar di wilayah Kabupaten Indragiri Hilir yang hulunya dari Danau Singkarak dan bermuara di Selat Berhala (Pemerintah Kabupaten Indragiri Hilir, 2010). Sungai Indragiri memiliki fungsi yang sangat penting yaitu sebagai sarana penangkapan dan penambakan ikan, irigasi pertanian, dan kegiatan MCK (mandi, cuci, kakus). Sungai Indragiri di wilayah Kabupaten Indragiri Hilir termasuk pada bagian hilir sungai dan berpotensi untuk menerima limbah logam berat yang berasal dari aktivitas di sepanjang perairan sungai seperti aktivitas domestik, penambangan emas, pasir, dan batu kerikil, industri pengolahan kelapa dan kelapa sawit, pelabuhan, jalur lalu lintas transportasi kapal baik kapal penumpang maupun kapal barang. Dengan adanya aktivitas tersebut memungkinkan terjadinya pencemaran oleh logam berat, diantaranya logam berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd).

Logam berat Pb dan Cd merupakan logam berat yang bersifat toksik tinggi terhadap kesehatan manusia. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Nola Oktaria, dkk., (2015), konsentrasi logam berat Pb dan Cd di perairan Sungai Indragiri telah melewati baku mutu yang telah ditetapkan. Konsentrasi logam berat Pb pada air Sungai Indragiri yaitu 0,99 ppm, sedangkan konsentrasi logam berat Cd pada air Sungai Indragiri yaitu 0,17 ppm. Menurut PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, konsentrasi logam berat Pb yang diizinkan untuk perairan sungai adalah 0,03 ppm dan konsentrasi logam berat Cd yang diizinkan adalah 0,01 ppm.

Salah satu alternatif untuk mengevaluasi kualitas perairan sungai adalah dengan melakukan biomonitoring. Biomonitoring merupakan teknik evaluasi lingkungan menggunakan organisme hidup, dengan mengamati kadar bahan pencemar yang terdapat dalam jaringan tubuh organisme hingga pengaruh yang lebih spesifik. Metode ini dapat digunakan untuk mengukur tingkat kontaminasi atau tingkat pencemaran logam berat pada ekosistem perairan (Zhou *et al*., 2008). Dalam proses biomonitoring diperlukan organisme indikator (bioindikator) untuk mengetahui tingkat kontaminasi logam berat. Salah satu jenis tumbuhan air yang dapat digunakan sebagai biomonitoring adanya pencemaran logam berat adalah Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*).

Eichhornia crassipes merupakan jenis tumbuhan air yang memiliki daya toleransi tinggi untuk dapat tumbuh baik pada daerah yang tercemar limbah dan mampu menyerap bahan pencemar seperti logam berat Pb dan Cd lalu mengakumulasi logam berat pada jaringan tubuhnya. *Eichhornia crassipes* memiliki kemampuan sebagai bioakumulator yakni dapat menyerap kation atau anion logam berat yang terdapat di dalam air limbah dan dapat berkembang cukup cepat serta tahan hidup pada kondisi yang buruk (Kirkhv dan Mengel dalam Suwondo, dkk., 2005).

Permasalahan pencemaran lingkungan memberikan kontribusi terhadap pembelajaran biologi. Proses pembelajaran biologi di SMA khususnya materi mengenai pencemaran lingkungan, membutuhkan bahan ajar yang memuat contoh kasus dan data-data hasil penelitian dari konteks lokal di lingkungan sekitarnya untuk menunjang proses pembelajaran. Data-data hasil penelitian sangat berguna untuk dijadikan sumber pengayaan materi pembelajaran yang aktual dan mutakhir yang dikemas dalam bentuk modul pembelajaran. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan beberapa guru biologi SMA di Pekanbaru, proses pembelajaran biologi masih menggunakan buku teks sebagai bahan ajar dengan materi yang disampaikan hanya secara global dan tidak dilengkapi dengan contoh-contoh yang berada di sekitar lingkungan peserta didik. Untuk itu, maka perlu dikembangkan bahan ajar yang disesuaikan dengan karakteristik peserta didik sebagai sasaran. Salah satu bentuk bahan ajar yang dapat dikembangkan adalah modul.

Modul merupakan salah satu bentuk bahan ajar cetak yang merupakan seperangkat bahan ajar yang disajikan secara sistematis sehingga penggunaannya dapat belajar dengan atau tanpa seorang fasilitator (Depdiknas,2008). Penerapan modul dapat mengkondisikan kegiatan pembelajaran lebih terencana dengan baik dan mandiri. Berdasarkan latar belakang tersebut maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai "Analisis Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) di Perairan Sungai Indragiri sebagai Rancangan Modul Konsep Pencemaran Lingkungan di SMA".

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksploratif melalui hasil pemeriksaan atau uji sampel di laboratorium. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengujian dan Analisis Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau pada bulan Mei-Juli 2016. Sampel dari penelitian adalah air sungai, sedimen, organ akar, tangkai daun, dan daun *Eichhornia crassipes*. Stasiun ditentukan dengan teknik *purposive random sampling* sehingga didapatkan 5 stasiun penelitian. Sampel yang diambil dari kelima stasiun dimasukkan ke dalam wadah steril untuk di bawa ke laboratorium. Tahap awal yang dilakukan adalah proses destruksi sampel lalu dilakukkan pemeriksaan konsentrasi logam berat menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif, dimana data yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, kemudian dibandingkan dengan nilai baku mutu.

Tahap perancangan modul dilakukan dengan menganalisis kurikulum KD dan Silabus. Penelitian deskriptif ini dilakukan dengan menganalisis materi-materi pada pembelajaran. Tahap ini merupakan proses sistematik yang dimulai dengan menetapkan tujuan pembelajaran, merancang skenario, hingga alat evaluasi hasil belajar siswa. Perancangan modul pembelajaran biologi SMA yang meliputi 2 tahap yaitu tahap analisis potensi dan desain modul.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Air Sungai dan Sedimen

Hasil pengukuran konsentrasi logam berat Pb dan Cd pada air sungai dan sedimen di masing-masing stasiun penelitian perairan Sungai Indragiri Kabupaten Indragiri Hilir dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Pengukuran Konsentrasi Logam Berat Pb dan Cd yang terdeteksi pada Air Sungai dan Sedimen di Perairan Sungai Indragiri Kabupaten Indragiri Hilir

Stasiun	Air Sungai (ppm)		Sedimen (ppm)	
	Pb	Cd	Pb	Cd
I	0,19	0,08	4,60	0,66
II	0,27	0,10	4,69	0,80
III	0,11	0,06	3,96	0,50
IV	0,36	0,18	4,81	0,84
V	0,45	0,21	4,97	0,92
Baku mutu	0,003*	0,001*	47,82-161,06**	0,65-2,49**

Ket * : Baku mutu logam berat pada air sungai (PP No. 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air)
** : Baku mutu logam berat pada sedimen (USEPA, 2004)

Dari Tabel 1 menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat Pb dan Cd di masing-masing stasiun penelitian perairan Sungai Indragiri Kabupaten Indragiri Hilir memiliki konsentrasi yang berbeda. Konsentrasi logam berat Pb pada air sungai berkisar antara 0,11 ppm-0,45 ppm dan konsentrasi logam berat Pb pada sedimen berkisar antara 3,96 ppm-4,97 ppm. Sedangkan konsentrasi logam berat Cd pada air sungai berkisar antara 0,06 ppm-0,21 ppm dan konsentrasi logam berat Cd pada sedimen berkisar antara 0,50 ppm-0,92 ppm. Hal ini membuktikan bahwa konsentrasi logam berat Pb lebih tinggi dibandingkan konsentrasi logam berat Cd, diduga karena penggunaan logam berat Pb dalam aktivitas-aktivitas di sekitar stasiun penelitian lebih banyak dibandingkan penggunaan logam berat Cd.

Konsentrasi logam berat Pb dan Cd pada sedimen cenderung lebih tinggi dibandingkan pada air sungai. Hal ini menunjukkan adanya akumulasi logam berat dalam sedimen sehingga terjadi penumpukan di dasar perairan. Sedangkan pada air sungai, logam berat Pb dan Cd mengalami proses pengenceran secara terus menerus sesuai dengan pertambahan massa air maupun pola arus yang menyebarkan logam berat tersebut ketempat lain.

Konsentrasi logam berat Pb dan Cd pada air sungai dan sedimen yang tertinggi ditemukan pada Stasiun V. Tingginya konsentrasi logam berat Pb dan Cd ini disebabkan Stasiun V termasuk bagian hilir sungai yang mempunyai potensi untuk menerima limbah logam berat yang berasal dari aktivitas disepanjang perairan sungai tersebut. Selain itu, Stasiun V merupakan daerah padat penduduk dan berdekatan dengan

pelabuhan yang memungkinkan menyumbang limbah logam berat Pb dan Cd cukup tinggi.

Aktivitas pelabuhan dan transportasi dapat memberi kontribusi masuknya pencemaran logam berat Pb ke dalam perairan sungai. Pencemaran berasal dari buangan oli, besi-besi galangan kapal dan pipa-pipa yang telah mengalami korosi, baterai atau aki, pembuangan air ballast, dan emisi mesin berbahan bakar minyak. Darmono (1995) menyatakan bahwa logam berat Pb dapat masuk ke badan perairan melalui pembuangan air ballast dan emisi berbahan bakar minyak yang digunakan sebagai zat adiktif anti *knocking* pada mesin. Logam berat Pb yang terkandung dalam bahan bakar minyak ini kemudian dilepaskan ke atmosfir melalui alat pembuangan asap dan kemudian terlarut dalam perairan.

Konsentrasi logam berat Cd di Stasiun V lebih tinggi jika dibandingkan dengan stasiun lainnya disebabkan oleh pipa-pipa yang mengalami korosi dan buangan limbah domestik seperti kaleng-kaleng bekas, sampah plastik, aki, dan minyak pelumas. Hal ini sesuai dengan pendapat Safitri, dkk. (2009) yang menyatakan bahwa sumber logam berat Cd berasal dari minyak dan limbah domestik seperti buangan aki dan minyak pelumas.

Konsentrasi logam berat Pb dan Cd pada air sungai dan sedimen terendah ditemukan pada Stasiun III. Rendahnya konsentrasi logam berat Pb dan Cd pada stasiun ini dibandingkan dengan stasiun yang lain disebabkan karena Stasiun III merupakan daerah yang jauh dari pemukiman penduduk dan tidak terdapat aktivitas industri sehingga kontribusi masuknya logam berat lebih kecil dibandingkan pada stasiun lainnya. Rendahnya konsentrasi logam berat Pb dan Cd pada air sungai dan sedimen di Stasiun III juga berhubungan dengan pH yang lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun lainnya dan suhu yang rendah (Tabel 3).

Berdasarkan nilai baku mutu yang ditetapkan dalam PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, diketahui bahwa konsentrasi logam berat Pb dan Cd untuk air sungai di perairan Sungai Indragiri Kabupaten Indragiri Hilir telah melewati nilai baku mutu yang ditetapkan. Berdasarkan baku mutu kisaran kadar alamiah logam berat dalam sedimen menurut USEPA (2004), diketahui bahwa konsentrasi logam berat Pb dan Cd dalam sedimen perairan Sungai Indragiri Kabupaten Indragiri Hilir belum melewati nilai baku mutu yang ditetapkan.

Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada *Eichhornia crassipes*

Hasil pengukuran konsentrasi logam berat Pb dan Cd pada *Eichhornia crassipes* disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengukuran Konsentrasi Logam Berat Pb dan Cd pada *Eichhornia crassipes* di Perairan Sungai Indragiri Kabupaten Indragiri Hilir

Stasiun	Konsentrasi Logam Pb			Konsentrasi Logam Cd		
	Akar (ppm)	Tangkai Daun (ppm)	Daun (ppm)	Akar (ppm)	Tangkai Daun (ppm)	Daun (ppm)
I	2,43	2,17	1,79	0,34	0,30	0,29
II	2,78	2,44	2,09	0,46	0,38	0,35
III	2,20	1,67	0,51	0,29	0,24	0,23
IV	3,31	2,76	2,61	0,49	0,42	0,37
V	4,37	4,00	3,44	0,74	0,62	0,57

Dari Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil pengukuran konsentrasi logam berat Pb dan Cd pada organ *Eichhornia crassipes* disetiap stasiun berbeda-beda. Konsentrasi logam berat Pb pada organ akar berkisar antara 2,20-4,37 ppm, pada organ tangkai daun berkisar antara 1,67-4,00 ppm, dan pada organ daun berkisar antara 0,51-3,44 ppm. Sedangkan konsentrasi logam berat Cd pada organ akar berkisar antara 0,29-0,74 ppm, pada organ tangkai daun berkisar antara 0,24-0,62 ppm, dan pada organ daun berkisar antara 0,23-0,59 ppm.

Konsentrasi logam berat Pb dan Cd tertinggi terdapat pada Stasiun V dan terendah terdapat pada Stasiun III. Tinggi rendahnya konsentrasi logam berat pada *Eichhornia crassipes* sangat bergantung oleh jumlah masukan polutan logam berat ke perairan. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan konsentrasi logam berat Pb dan Cd antara dua jenis media, yaitu media dalam jaringan tumbuhan dan media air dan sedimen sebagai tempat hidupnya. Dengan demikian, akumulasi logam berat dalam tubuh organisme tergantung pada konsentrasi logam berat dalam air dan sedimen.

Proses penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dibagi menjadi tiga proses, yaitu penyerapan oleh akar, translokasi, dan lokalisasi (Priyanto dan Prayitno, 2004). Pertama, penyerapan oleh akar. Mekanisme penyerapan logam yakni melalui pembentukan zat fitokhelatin. Fitokhelatin merupakan peptide kecil yang kaya asam amino sistein yang mengandung S. Atom S dalam sistein ini yang akan mengikat logam berat dari media tumbuh. Senyawa fitokhelatin yang terdapat pada akar tumbuhan berfungsi untuk mengikat unsur logam berat Pb dan Cd dan membawanya ke dalam sel. Fitokhelatin akan membentuk ikatan sulfida di ujung S pada sistein bila bertemu dengan logam Pb dan Cd lalu membentuk senyawa kompleks sehingga logam Pb dan Cd akan terbawa menuju jaringan tumbuhan (Salisbury dan Ross, 1995).

Kedua, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain. Setelah logam menembus endodermis akar, logam berat mengikuti aliran transpirasi melalui jaringan pengangkut (xylem dan floem) ke bagian tumbuhan lainnya. Ketiga, lokalisasi logam pada sel dan jaringan. Kemampuan tumbuhan melokalisasikan logam ini menjadi hal yang sangat penting karena dapat menggambarkan kemampuan tumbuhan untuk dapat mentoleransi dan melakukan detoksifikasi agar logam berat tidak menghambat metabolisme tumbuhan dan mencegah peracunan logam terhadap sel. *Eichhornia crassipes* melakukan detoksifikasi dengan mengakumulasi logam berat di vakuola dalam struktur selnya. Vakuola menjaga agar logam berat tidak menghambat metabolisme sehingga logam berat tidak akan mempengaruhi proses metabolisme tumbuhan.

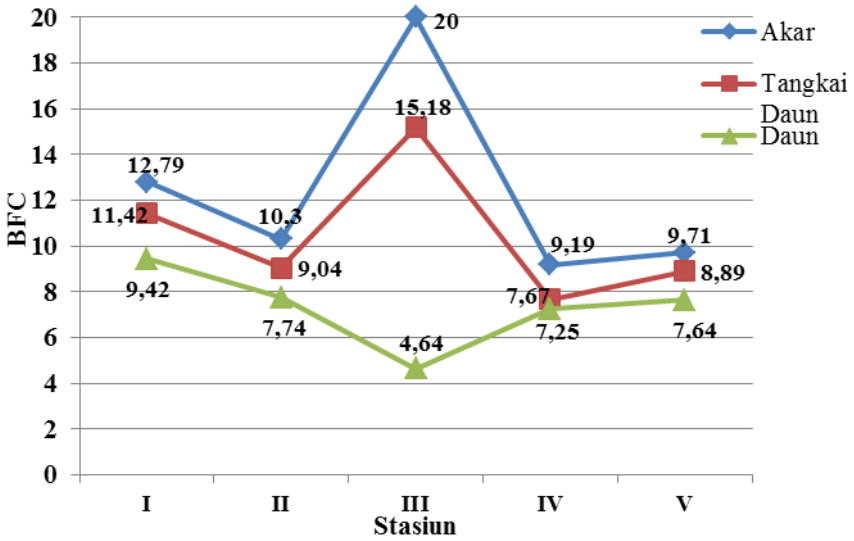
Tabel 2 memperlihatkan bahwa akumulasi logam berat Pb dan Cd tertinggi terdapat pada organ akar. Adanya akumulasi logam merupakan usaha lokalisasi yang dilakukan oleh tumbuhan, dengan mengumpulkan dalam satu organ. Selain itu, tingginya akumulasi logam di akar disebabkan tumbuhan menyerap unsur hara beserta logam yang ada di air melalui akar. Akar berfungsi sebagai organ penyerap dan penyalur unsur-unsur hara ke organ lain. *Eichhornia crassipes* mempunyai akar serabut, sehingga mempunyai kemampuan menyerap logam berat Pb dan Cd lebih banyak dan lebih efektif.

Tingkat Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada *Eichhornia crassipes*

Tingkat akumulasi logam berat Pb dan Cd *Eichhornia crassipes* dapat dilihat dari Faktor Biokonsentrasi (*Bioconcentration Factor*). Faktor biokonsentrasi merupakan perbandingan antara konsentrasi logam yang terakumulasi pada organisme perairan dengan konsentrasi logam di lingkungan (habitatnya) dalam hal ini air sungai. Kemampuan *Eichhornia crassipes* mengakumulasi logam di dalam tubuhnya ditunjukkan sebagai nilai faktor biokonsentrasi. Nilai tersebut diperoleh dengan cara membandingkan konsentrasi logam yang sejenis dalam sampel *Eichhornia crassipes* dengan sampel air sungai.

a. Faktor Biokonsentrasi (BCF) Logam Pb pada *Eichhornia crassipes*

Hasil perhitungan akumulasi logam berat Pb pada *Eichhornia crassipes* dapat dilihat dari nilai faktor biokonsentrasi pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Nilai Faktor Biokonsentrasi Logam Berat Pb pada *Eichhornia crassipes*

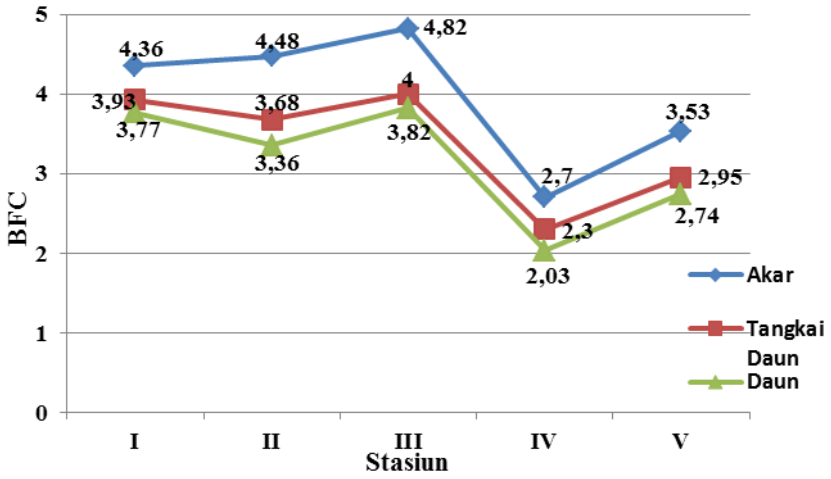
Dari Gambar 1, nilai faktor biokonsentrasi logam berat Pb pada akar *Eichhornia crassipes* berkisar antara 9,71-20,00, pada tangkai daun berkisar antara 7,67-15,18, dan pada daun berkisar antara 4,64-9,42. Hasil ini menunjukkan bahwa kemampuan *Eichhornia crassipes* dalam mengakumulasi logam berat Pb lebih tinggi pada organ

akar, terlihat dari nilai faktor biokonsentrasi akar lebih tinggi dibandingkan dengan tangkai daun dan daun.

Waldichuck (dalam Fatmarika Fitri, 2012), menjekaskan bahwa kategori nilai faktor biokonsentrasi adalah BCF < 100 = Sifat akumulasi rendah, BCF antara 100-1000 = Sifat akumulasi sedang, sedangkan BCF > 1000 = Sifat akumulasi tinggi. Berdasakan nilai faktor biokonsentrasi logam yang tertera pada Gambar 1 dapat disimpulkan bahwa tingkat akumulasi logam berat Pb pada *Eichhornia crassipes* termasuk dalam kategori akumulatif rendah.

b. Faktor Biokonsentrasi (BCF) Logam Cd pada *Eichhornia crassipes*

Hasil perhitungan akumulasi logam berat Cd pada *Eichhornia crassipes* dapat dilihat dari nilai faktor biokonsentrasi pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Nilai Faktor Biokonsentrasi Logam Berat Cd pada *Eichhornia crassipes*

Dari gambar 2, nilai faktor biokonsentrasi logam berat Cd pada akar *Eichhornia crassipes* berkisar antara 2,70-4,82, pada tangkai daun berkisar antara 2,30-4,00, dan pada daun berkisar antara 2,03-3,82. Hasil ini menunjukkan bahwa kemampuan *Eichhornia crassipes* dalam mengakumulasi logam berat Cd lebih tinggi pada organ akar, terlihat dari nilai faktor biokonsentrasi akar lebih tinggi dibandingkan dengan tangkai daun dan daun. Berdasakan nilai faktor biokonsentrasi logam yang tertera pada Gambar 2 dapat disimpulkan bahwa tingkat akumulasi logam berat Cd pada *Eichhornia crassipes* termasuk dalam kategori akumulatif rendah.

Kualitas Perairan Sungai Indragiri

Parameter kualitas perairan pada penelitian ini adalah parameter fisika-kimia yang meliputi: suhu, kecepatan arus, kecerahan, pH, DO, kelas tekstur substrat, dan konsentrasi organik substrat (KOS). Hasil pengukuran kualitas perairan untuk setiap stasiun di perairan Sungai Indragiri wilayah Kabupaten Indragiri Hilir dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengukuran Parameter Fisika-Kimia di perairan Sungi Indragiri

No.	Parameter	Baku mutu (normal)	Stasiun				
			I	II	III	IV	V
1	Suhu (^oC)	-	28,4	29,6	28,1	30,7	31
2	Kecepatan arus (m/s)	-	0,37	0,27	0,29	0,22	0,17
3	Kecerahan (m)	-	0,23	0,13	0,27	0,15	0,09
4	pH	6-9	7,23	7,20	7,40	7,14	6,62
5	DO (ppm)	> 4	5,3	4,8	5,1	4,1	3,6
6	Kelas tekstur Substrat	-	Liat Berpasir	Liat Berpasir	Liat Berdebu	Liat Berpasir	Liat Berdebu
7	KOS (%)	-	4,3	5,5	8,5	6,7	10,7

Ket : Baku Mutu Berdasarkan PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Suhu merupakan parameter perairan yang sangat penting karena dapat mempengaruhi sifat fisika-kimia perairan maupun fisiologis organisme perairan. Hasil pengukuran suhu pada masing-masing stasiun tidak menunjukkan adanya variasi yang mencolok. Suhu di perairan Sungai Indragiri Kabupaten Indragiri Hilir berkisar antara 28,1^{o}C-31^{o}C. Kisaran suhu optimal bagi kehidupan organisme adalah 25-32°C. Kisaran ini menunjukkan bahwa suhu perairan cukup baik untuk mendukung kelangsungan hidup organisme akuatik.

Suhu berpengaruh terhadap aktivitas metabolisme maupun perkembangan organisme. Selain itu, suhu juga dapat mempengaruhi konsentrasi logam berat di perairan. Suhu yang tinggi akan meningkatkan pembentukan ion logam berat dan meningkatkan konsentrasi logam berat di perairan. Terlihat bahwa nilai logam berat Pb dan Cd tertinggi berada pada Stasiun V dengan suhu 31^{o}C. Suhu akan mempengaruhi laju metabolisme organisme perairan. Meningkatnya laju metabolisme secara tidak langsung akan mempengaruhi konsentrasi logam berat di dalam tubuh organisme yang berasal dari lingkungannya.

Arus merupakan salah satu aspek dinamika air yang berperan dalam sebaran biologi dan kimia termasuk polutan yang berupa logam berat. Dari hasil pengukuran, kecepatan arus di perairan Sungai Indragiri Kabupaten Indragiri Hilir berkisar antara 0,17-0,37 m/s. Kecepatan arus yang terdapat di masing-masing stasiun penelitian merupakan mekanisme yang penting untuk mengetahui penyebaran bahan pencemar seperti logam berat. Hutagalung (1994) menyatakan bahwa keberadaan logam berat di perairan dipengaruhi oleh arus dan gelombang, arus perairan dapat menyebabkan logam yang terlarut dalam air menyebar ke segala arah.

Kecerahan merupakan suatu ukuran untuk mengetahui daya penetrasi cahaya matahari ke dalam air. Semakin tinggi kecerahan maka semakin dalam daya penetrasi cahaya matahari ke dalam perairan. Hasil pengukuran menunjukkan kecerahan di perairan Sungai Indragiri Kabupaten Indragiri Hilir berkisar antara 0,09-0,27 m.

Kecerahan tertinggi terdapat pada Stasiun III dan kecerahan terendah terdapat pada Stasiun V. Rendahnya nilai kecerahan ini dikarenakan adanya zat terlarut dan tersuspensi yang tinggi dalam perairan yang berasal dari aktivitas-aktivitas di sekitar stasiun penelitian.

Nilai kecerahan di perairan Sungai Indragiri Kabupaten Indragiri Hilir tergolong rendah, karena ditandai dengan air sungai yang terlihat keruh dan berwarna kecoklatan. Kecerahan sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Tingkat kecerahan dapat menandakan keberadaan logam berat dalam perairan. Hubungan kecerahan dengan konsentrasi logam berat adalah berbanding terbalik, dimana semakin rendah tingkat kecerahan perairan maka konsentrasi logam berat dalam air akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan logam berat berikatan dengan partikel-partikel lainnya sehingga dapat menghalangi proses penetrasi cahaya matahari yang masuk keperairan.

pH sangat penting sebagai parameter kualitas perairan karena pH mengontrol tipe dan laju kecepatan reaksi di dalam air. Selain itu, pH berfungsi sebagai faktor pembatas karena masing-masing organisme memiliki toleransi kadar maksimum dan minimum nilai pH. Hasil pengukuran nilai pH pada masing-masing stasiun penelitian tidak menunjukkan perbedaan yang cukup tinggi, berkisar antara berkisar antara 6,62-7,40. Nilai pH di setiap stasiun penelitian masih tergolong baik dan belum melebihi baku mutu PP No.82 tahun 2001, yang berkisar 6-9. Kisaran pH di perairan Sungai Indragiri Kabupaten Indragiri Hilir ini masih mendukung kelangsungan hidup organisme akuatik.

Nilai pH sangat berpengaruh terhadap keberadaan logam berat di perairan. Kelarutan logam berat akan lebih tinggi pada pH rendah, sehingga menyebabkan konsentrasi logam berat pada air sungai menjadi besar. Pada Stasiun III merupakan nilai pH tertinggi 7,40 namun konsentrasi logam berat Pb dan Cd pada air sungai paling rendah. Begitu pula sebaliknya pada Stasiun V merupakan nilai pH terendah 6,62 sedangkan konsentrasi logam berat Pb dan Cd pada air sungai paling tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin rendah nilai pH maka akan semakin tinggi nilai konsentrasi logam berat.

DO merupakan kadar oksigen terlarut dalam air. DO di perairan Sungai Indragiri Kabupaten Indragiri Hilir berkisar antara 3,6-5,3 ppm. Kadar oksigen terlarut tertinggi terdapat pada Stasiun I dan konsentrasi oksigen terlarut terendah terdapat pada Stasiun V. Kadar oksigen terlarut di Sungai Indragiri Kabupaten Indragiri Hilir masih mendukung kehidupan organisme akuatik, sesuai dengan keputusan PP No. 82 tahun 2001 bahwa kadar oksigen terlarut untuk mendukung kehidupan organisme akuatik adalah ≥ 4 ppm, namun hal ini tidak berlaku untuk Stasiun V dikarenakan kadar oksigen terlarut dibawah baku mutu yang ditetapkan. Rendahnya kadar oksigen pada Stasiun V mengindikasikan banyaknya limbah yang terdapat pada lokasi tersebut.

Perubahan kadar oksigen terlarut dapat menimbulkan efek langsung yang berakibat pada kematian organisme akuatik. Sedangkan pengaruh yang tidak langsung adalah meningkatkan konsentrasi logam berat yang pada akhirnya dapat membahayakan organisme itu sendiri. Hal ini disebabkan karena oksigen terlarut digunakan untuk proses metabolisme dalam tubuh. Connel dan Miller (1995) menjelaskan bahwa oksigen terlarut merupakan salah satu faktor lingkungan yang mempengaruhi konsentrasi logam berat pada organisme akuatik.

Sedimen perairan terdiri dari berbagai tipe substrat dengan ukuran yang berbeda. Penentuan jenis dan komposisi sedimen pada penelitian ini didasarkan pada tiga tipe fraksi utama yakni pasir, debu, dan liat. Hasil analisis

tekstur substrat dasar perairan Sungai Indragiri Kabupaten Indragiri Hilir adalah liat berpasir hingga liat berdebu. Tipe substrat akan mempengaruhi konsentrasi logam berat dalam sedimen, sedimen yang terdiri atas fraksi yang lebih halus memiliki kemampuan mengikat logam berat lebih tinggi bila dibandingkan fraksi yang sifatnya kasar seperti pasir maupun debu.

Kandungan bahan organik substrat sangat berkaitan erat dengan karakteristik dari sedimen. Kandungan bahan organik substrat di Sungai Indragiri Kabupaten Indragiri Hilir berkisar antara 4,3-10,7%. Kandungan bahan organik substrat tertinggi terdapat pada Stasiun V dan terendah terdapat pada Stasiun I. Tinggi rendahnya kandungan bahan organik disebabkan oleh vegetasi dan penambahan limbah-limbah disekitar stasiun penelitian. Tingginya kandungan bahan organik substrat di Stasiun V dikarenakan Stasiun V merupakan bagian hilir Sungai Indragiri.

Perancangan Bahan Ajar Modul dari Hasil Penelitian

a. Analisis Potensi

Berdasarkan hasil analisis kurikulum terdapat topik/kajian yang berkaitan dengan hasil penelitian, berupa KD di mata pelajaran Biologi SMA yang dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4. Kompetensi Dasar (KD) yang Berkaitan dengan Hasil Penelitian.

Satuan Pendidikan	Kelas	KD	Uraian Materi	Potensi Pengembangan
SMA	X	3.11 Menganalisis data perubahan lingkungandan penyebab serta dampak dari perubahan-perubahan tersebut. 4.11. Mengajukan gagasan pemecahan masalah perubahan lingkungan sesuai konteks permasalahan lingkungan di daerahnya	• Kerusakan lingkungan/pencemaran lingkungan, Pelestarian lingkungan, Adapatasi dan mitigasi • Limbah dan Daur Ulang • Jenis-jenis limbah. • Proses daur ulang • 3 R (*reuse, reduse,recycl*e)	Modul

Dari analisis kompetensi dasar yang telah dilakukan terdapat 1 kompetensi dasar yang berpotensi sebagai rancangan modul pembelajaran yang sesuai dengan hasil penelitian ini yaitu KD 3.11 Menganalisis data perubahan lingkungan dan penyebab serta dampak dari perubahan-perubahan tersebut dengan materi kerusakan lingkungan/pencemaran lingkungan dan jenis-jenis limbah

b. Desain Rancangan Modul Pembelajaran

Tahap selanjutnya yaitu membuat rancangan modul pembelajaran. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan makasumber belajar yang dirancang peneliti berupa modul yang kontekstual sesuai dengan hasil penelitian.Desain modul dapat dilihat pada lampiran. Adapun rancangan modul pembelajaran biologi yang akan dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.

1. Cover (pokok bahasan, nama penulis, nama mata pelajaran)
2. Kata pengantar, daftar isi, daftar gambar.
3. Kompetensi yang akan dicapai (KI, KD, Sumber Rujukan, Materi Pokok, Indikator, ITPK)
4. Panduan penggunaan modul pembelajaran
5. Pendahuluan
6. Kegiatan belajar (informasi pendukung, lembar kegiatan, dan latihan)
7. Rangkuman
8. Tes formatif
9. Umpan balik
10. Tindak lanjut
11. Kunci jawaban tes formatif
12. Daftar pustaka dan *Glosarium*

Gambar 3. Struktur Modifikasi Rancangan Modul Pembelajaran.

SIMPULAN DAN REKOMENDASI

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa konsentrasi logam berat Pb dan Cd di Perairan Sungai Indragiri Kabupaten Indragiri Hilir menunjukkan nilai yang berbeda. Konsentrasi logam berat Pb dan Cd pada air sungai cenderung lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi logam berat Pb dan Cd pada *Eichhornia crassipes* dan sedimen. Konsentrasi logam berat Pb dan Cd pada air sungai sudah melewati nilai baku mutu yang ditetapkan, sedangkan konsentrasi logam berat Pb dan Cd pada sedimen belum melewati nilai baku mutu yang ditetapkan. Hasil penelitian konsentrasi logam berat Pb dan Cd di Perairan Sungai Indragiri Kabupaten Indragiri Hilir dapat dimanfaatkan untuk perancangan modul pembelajaran biologi di SMA guna memperkaya bahan ajar pada konsep pencemaran air.

Rekomendasi

Rekomendasi dari penelitian ini adalah perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memantau perubahan dan perkembangan pencemaran logam berat di perairan Sungai Indragiri Kabupaten Indragiri Hilir. Serta perlu dilakukan penelitian lebih lanjut hingga tahap *Development, Implementation* dan *Evaluation* sesuai dengan model pengembangan ADDIE (*Analyze, Design, Development, Implementation, and Evaluation*).

DAFTAR PUSTAKA

Connel, D. W., dan G. J., Miller. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. UI-Press. Jakarta

Depdiknas. 2008. *Panduan Pengembangan Bahan Ajar.* Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Atas. Jakarta.

Darmono. 1995. *Logam dalam Sistim Biologi Mahluk Hidup*. UI-Press. Jakarta.

Fatmarika Fitri. 2012. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada *Geloina sp.* sebagai Bioindikator Kualitas Perairan di Laut Dumai. Skripsi tidak dipublikasikan. Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan. Universitas Riau. Pekanbaru.

Hutagalung. 1994. *Logam Berat dalam Lingkungan Laut.* Pawarta Oseana. Jakarta.

Nola Oktaria, T. Abu Hanifah, dan Sofia Anita. 2015. Analisis Kandungan Logam Merkuri, Kadmium, Timbal, dan Sianida pada Aliran Sungai Indragiri, Kabupaten Indragiri Hulu. *JOM FMIPA.* 2(2): 83-90

Priyanto, B. dan J. Prayitno. 2004. Fitoremediasi sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran Khususnya Logam Berat. http://ltl.bppt.tripod.com/sublab/lflora1.htm. (Diakses Tanggal 25 September 2016).

Pemerintah Kabupaten Indragiri Hilir. 2010. Kondisi Umum Kabupaten Indragiri Hilir. (Online). http://www.inhilkab.go.id/index.php/pages/kondisi-umum (Diakses Tanggal 20 Maret 2016).

Presiden Republik Indonesia. 2001. *Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*. Sekretaris Negara Republik Indonesia. Jakarta.

Safitri, N. A., Rifardi, dan R. Hamidi. 2009. Konsentrasi Logam Berat Cd dan Pb pada Sedimen Permukaan Perairan Teluk Bayur Provinsi Sumatera Barat Indonesia. *Jurnal Perikanan dan Kelautan.* 2(3): 80-86.

Salisbury, B.F. dan C.W., Ross. 1995. *Fisiologi Tumbuhan Jilid I*. ITB. Bandung.

Suwondo, Yuslim Fauziah, Syafrianti, dan Wariyanti. 2005. Akumulasi Logam Cupprum (Cu) dan Zincum (Zn) di Perairan Sungai Siak dengan Menggunakan Bioakumulator Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). *Jurnal Biogenesis.* 1(2):51-56.

USEPA. 2004. *The Incidence and Severity of Sediment Contamination in Surface Waters of United States, National Sediment Quality Survey: 2nd Edition*. EPA-823-R-04-2007. US Enviromental Protection Agency. Washington D.C.

Zhou, Q., Zhang, J., Fu, J., Shi, J., & Jiang, G. 2008. Biomonitoring: an appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. Review. Analytica Chimica Acta. 606:135–150.