

**THE MEASUREMENT OF HEAVY METALS LEAD (Pb) AND
CADMIUM (Cd) IN *Anadara granosa* AT NONGSA BEACH
BATAM CITY FOR THE PREPARATION OF
THE STUDEN ASSIGNMENT SHEET ON THE CONCEPT
OF WATER POLLUTION IN HIGH SCHOOL**

Melisa Suryani¹, Nursal², Elya Febrita³

*e-mail: melisasuryani.ms@gmail.com (+6282284572253)¹,
nurs_al@yahoo.com², elyafebrita59@gmail.com³

Biology Education Courses

Faculty of Teacher Training and Educational Sciences of the University of Riau

Abstract: *Nongsa is Batam eastern coastal area which is crowded with a variety of industrial activities, transportation and domesti. The waste products of these activities will result in waste of heavy metals Pb and Cd which can pollute the surrounding waters. In order to investigate the quality of coastal waters in the nongsa beach, Batam city, the measurement of heavy metals lead and cadmium in sea water, sediment and *Anadara granosa* has been done in June 2014 with a survey method. Results of measurement used for the preparation of the student assignment sheet on the concept of water pollution through the stages of analysis, design, and development. The average heavy metal Pb content in sea water is 2,760 ppm, in sediment is 3,870 ppm and in *Anadara granosa* is 1,460 ppm. While the average heavy metal content of Cd in seawater is 0,032 ppm, in sediments is 0,029 ppm and in *Anadara granosa* is 0,081 ppm. The results of research can be used as material for the preparation of the student assignment sheet on the concept of water pollution in high school with category Very Good. Meanwhile, to ensure the quality of this product, the testing steps still need to be followed up to the stage of Implementation dan Evaluation.*

Keywords: *heavy metals lead (Pb) and cadmium (Cd), water pollution, *Anadara granosa*, student assignment sheet*

**KANDUNGAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DAN
KADMIUM (Cd) PADA *Anadara granosa* DI PANTAI NONGSA
KOTA BATAM UNTUK PENYUSUNAN LEMBAR TUGAS SISWA
PADA KONSEP PENCEMARAN AIR DI SMA**

Melisa Suryani¹, Nursal², Elya Febrita³

*e-mail: melisasuryani.ms@gmail.com (+6282284572253)¹,
nurs_al@yahoo.com², elyafebrita59@gmail.com³

Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Riau

Abstrak: Nongsa merupakan daerah pesisir timur Batam yang padat dengan berbagai kegiatan industri, transportasi dan domestik, sehingga zat sisa dari aktivitas tersebut akan menghasilkan limbah logam berat Pb dan Cd yang dapat mencemari perairan di sekitarnya. Untuk itu dilakukan penelitian untuk mengetahui kualitas perairan di Pantai Nongsa Kota Batam melalui pengukuran kandungan logam berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada air laut, sedimen dan *Anadara granosa* pada Juni 2014 dengan metode survei. Hasil pengukuran digunakan untuk penyusunan lembar tugas siswa pada konsep pencemaran air melalui tahapan *Analysis, Design* dan *Development*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kandungan logam berat Pb pada air laut 2,760 ppm, pada sedimen 3,870 ppm, dan pada *Anadara granosa* 1,460 ppm. Sedangkan rata-rata kandungan logam berat Cd pada air laut 0,032 ppm, pada sedimen 0.029 ppm, dan pada *Anadara granosa* 0,081 ppm. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai bahan penyusun lembar tugas siswa pada konsep pencemaran air di SMA dengan kategori Sangat Baik. Sedangkan untuk memastikan kualitas produk penelitian ini, maka langkah pengujian masih perlu dilanjutkan sampai ke tahap Implementasi dan Evaluasi.

Kata kunci: logam berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd), pencemaran air, *Anadara granosa*, lembar tugas siswa

PENDAHULUAN

Laut merupakan suatu ekosistem yang kaya akan sumber daya hayati. Ekosistem laut dibagi ke dalam beberapa jenis, salah satunya adalah ekosistem pantai. Pantai dapat tercemar oleh berbagai buangan limbah dari aktivitas manusia yang ada di daratan. Semakin berkembangnya aktivitas manusia di daratan akan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan perairan sekitarnya karena limbah-limbah tersebut pada akhirnya akan tertampung di perairan pantai.

Pantai Nongsa yang terletak di daerah pesisir timur Pulau Batam merupakan salah satu kasus pencemaran perairan laut. Pencemaran berasal dari aktivitas-aktivitas yang terdapat disekitar pantai. Pantai Nongsa dipadati oleh berbagai kegiatan manusia, seperti kegiatan domestik berupa pemukiman penduduk, kegiatan industri, transportasi laut dan pelabuhan. Beberapa industri yang terdapat di Pantai Nongsa Kota Batam diantaranya industri pipa untuk minyak dan gas, industri beton teknis, industri semen, dan industri galangan kapal yang bergerak di bidang perawatan dan perbaikan kapal. Wilayah Pantai Nongsa juga dimanfaatkan sebagai jalur transportasi internasional. Di kecamatan ini terdapat Pelabuhan Internasional Nongsa Pura yang merupakan pelabuhan kapal *ferry* yang digunakan sebagai tempat pelabuhan penyeberangan yang menghubungkan Batam dengan pelabuhan Singapura. Sebagai jalur pelayaran dunia, perairan Pantai Nongsa sering dilalui oleh kapal-kapal tenker milik perusahaan asing.

Limbah-limbah yang dihasilkan dari aktivitas-aktivitas di Pantai Nongsa pada akhirnya akan masuk ke dalam perairan sehingga dapat mengganggu kehidupan organisme di dalamnya. Salah satu bahan pencemar berbahaya yang secara langsung maupun tidak langsung mencemari perairan akibat pembuangan limbah adalah logam berat. Pencemaran logam berat oleh limbah cair industri mengandung bahan berbahaya dan beracun, yaitu Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd). Menurut Nancy Aulia Safitri, *dkk* (2009), limbah dari penggunaan Timbal dan Kadmium sebagai bahan baku dalam proses produksi industri tersebut pada akhirnya akan masuk ke dalam suatu perairan.

Aktivitas pelabuhan dan transportasi laut juga dapat menjadi sumber pencemaran logam berat. Limbah dari bahan bakar minyak dan air ballast kapal menambah menambah masuknya Pb ke perairan. Bahan bakar minyak umumnya mendapat zat tambahan tetraethyl yang mengandung Pb untuk meningkatkan mutu, sehingga limbah dari kapal-kapal tersebut dapat menyebabkan kadar Pb di perairan tersebut menjadi tinggi (Rochyatun, *et al.*, 2006). Selain itu, buangan limbah minyak hitam semi padat (*sludge oil*) ke laut oleh awak kapal-kapal tanker juga mengandung unsur logam berat Cd. Tumpahan minyak tersebut dapat menempel pada organisme laut sehingga mengakibatkan kematian.

Pencemaran di perairan juga disebabkan oleh aktivitas domestik seperti buangan limbah rumah tangga melalui sampah-sampah metabolik dan korosi pipa-pipa air yang mengandung logam berat Pb dan Cd. Aktivitas seperti buangan limbah rumah tangga melalui sampah-sampah metabolik dan korosi pipa-pipa air yang mengandung logam-logam berat juga dapat memberikan andil yang cukup besar terhadap masuknya logam-logam berat Cd dan Pb di perairan laut (Darmono, 1995).

Masuknya bahan pencemar ke dalam lingkungan perairan laut akan menurunkan kualitas perairan tersebut. Untuk mengetahui kualitas perairan pantai Nongsa Kota Batam dilakukanlah pengukuran kandungan logam berat Pb dan Cd dengan menggunakan bioindikator kerang darah (*Anadara granosa*). *Anadara granosa* merupakan salah satu hewan benthik dari kelas Bivalvia yang banyak terdapat di Pantai

Nongsa. Siaka, 2008 menyatakan bahwa buangan limbah yang masuk ke perairan, sebagian akan larut dalam air, sebagian lagi tenggelam ke dasar dan mengendap ke sedimen, sehingga organisme yang hidup didalam perairan tersebut, terutama organisme yang hidup di dasar perairan memiliki peluang yang besar untuk terakumulasi logam berat.

Masalah pencemaran di perairan Pantai Nongsa dapat dijadikan persoalan nyata atau kasus pencemaran ekosistem laut untuk konsep pencemaran air yang dipelajari di Sekolah Menengah Atas (SMA). Melalui pembelajaran berbasis lingkungan, guru biologi diharapkan mampu membangun kesadaran siswa secara langsung untuk mengenal lebih dekat persoalan lingkungan lokal melalui kegiatan belajar yang inspiratif dan kreatif. Penyusunan LTS berdasarkan hasil penelitian ini dapat menjadi sebuah inovasi pada proses pembelajaran di sekolah karena bersumber dari data-data hasil penelitian yang telah divalidasi sebagai pengayaan lembar tugas siswa dalam merangsang pola pikir siswa untuk menganalisis pengetahuan yang di dapatnya dari lingkungan tempat tinggal mereka.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada *Anadara granosa* di Pantai Nongsa Kota Batam dan untuk penyusunan lembar tugas siswa pada konsep Pencemaran Air di SMA berdasarkan hasil penelitian.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di 3 pantai di Kecamatan Nongsa Kota Batam pada bulan Juni 2014. Penelitian ini merupakan penelitian eksploratif, dimana pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan metode survei. Penentuan stasiun pengamatan dilakukan secara *purposive random sampling* yang artinya penentuan stasiun dilakukan dengan mempertimbangkan aktivitas-aktivitas dan vegetasi di wilayah pesisir Kecamatan Nongsa, setelah itu pada setiap stasiun ditentukan tiga titik sampling secara acak. Ditetapkan tiga stasiun sebagai berikut: (1) Stasiun I terletak di Kampung Tua Nongsa Pantai Kelurahan Sambau yang berdekatan dengan pelabuhan ferry Nongsa Pura dan sedikit ditumbuhi mangrove, (2) Stasiun II terletak di Pantai Melayu Kelurahan Batu Besar dengan sedikit pemukiman penduduk dan banyak ditumbuhi mangrove, dan (3) Stasiun III terletak di Pantai Kampung Panau Kelurahan Kabil yang dekat dengan kawasan industri dan sedikit ditumbuhi mangrove. Sampel yang diambil meliputi tiga komponen, yaitu *Anadara granosa*, air laut, dan sedimen. yang selanjutnya dianalisis untuk menentukan kandungan logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada setiap sampel. Analisis kandungan logam di dalam sampel dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau dengan menggunakan *Atomic Absorbtion Spectrophotometer* (AAS) merek Varian tipe spectrAA dan mengacu pada metode analisis berdasarkan buku Standar Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi – LIPI (Hutagalung, dkk., 1997)

Parameter yang diukur dalam penelitian ini meliputi parameter utama (kandungan logam berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada *Anadara granosa*, sedimen, dan air laut, pengukuran tingkat akumulasi logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada *Anadara granosa*) dan parameter pendukung (suhu, kecerahan, pH, oksigen terlarut, salinitas, kecepatan arus, dan kandungan bahan organik substrat).

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif, dimana data yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel, kemudian dibandingkan dengan nilai baku mutu.

Hasil penelitian berupa data kandungan logam berat Pb dan Cd dan sumber bahan pencemarnya disusun menjadi LTS pada konsep pencemaran air untuk SMA di kelas X. LTS yang disusun memuat contoh masalah tentang pencemaran air yang bersumber dari fenomena lokal berupa perubahan data pada lingkungan perairan, penyebab pencemaran, parameter pencemaran dan dampak pencemaran terhadap kehidupan. Konsep-konsep tersebut dimuat dalam bentuk tugas-tugas teoritis (soal-soal) yang diharapkan dapat meningkatkan kemampuan tingkat berfikir siswa dalam menganalisis dan menyelesaikan masalah secara mandiri dan berkelompok. Tahap penyusunan LTS dilakukan menggunakan model pengembangan ADDIE (*Analysis, Design, Develop, Implementation, Evaluation*) oleh Dick Walter and Lou Carey (2005). LTS yang telah disusun akan divalidasi oleh validator yang terdiri dari 2 ahli materi dan 1 ahli bidang pendidikan. Pengujian ini dilakukan untuk menjamin mutu LTS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran kandungan logam berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada air laut, sedimen dan *Anadara granosa* pada masing-masing stasiun penelitian di Pantai Nongsa Kota Batam dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Kandungan Logam Berat Pb dan Cd Rata-rata pada Air Laut, Sedimen, dan *Anadara granosa* pada Masing - Masing Stasiun Penelitian di Perairan Pantai Nongsa Kota Batam

Stasiun	Air Laut (ppm)		Sedimen (ppm)		<i>A. granosa</i> (ppm)	
	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd
I	2,990	0,030	3,690	0,031	1,900	0,087
II	2,190	0,024	3,320	0,025	1,750	0,064
III	3,110	0,044	4,610	0,033	1,910	0,092
Rata-rata	2,760	0,032	3,870	0,029	1,460	0,081
Baku mutu	0,008*	0,001*	10-70**	0,1-2**	2***	1***

Ket * : Baku mutu logam berat dalam air (Kep. MENLH No. 51/MENLH/2004)

** : Baku mutu logam berat dalam sedimen (RNO, 1981)

*** : Baku mutu logam berat dalam makanan (SK. Dirjen POM Depkes RI No: 03725/B/SK/1989)

Dari Tabel 1 menunjukkan bahwa kandungan logam berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) di perairan Pantai Nongsa Kota Batam mempunyai nilai yang berbeda. Perbedaan kandungan logam berat Pb dan Cd tersebut disebabkan karena terdapatnya aktivitas yang berbeda pada masing-masing stasiun, sehingga penambahan kandungan Pb dan Cd ke dalam perairan juga berbeda untuk setiap stasiunnya. Kandungan logam berat Pb lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan logam berat Cd. Hal ini disebabkan karena penggunaan logam berat Pb dalam aktivitas-aktivitas di sekitar stasiun penelitian lebih banyak dibandingkan penggunaan logam berat Cd.

Berdasarkan Tabel 1 juga menunjukkan nilai kandungan logam berat Pb pada *Anadara granosa* cenderung lebih rendah dibandingkan dengan kandungan logam berat Pb pada air laut dan sedimen. Menurut Darmono (1995) tingginya kandungan logam berat dalam air tidak menjamin bahwa kandungan logam dalam jaringan hewan akan tinggi pula. Hal ini disebabkan karena rendahnya daya akumulasi yang dimiliki oleh *Anadara granosa* terhadap logam berat Pb. Rendahnya daya akumulasi dapat dilihat dari nilai faktor konsentrasi biologi (BCF) pada Tabel 4.2. Menurut Hutagalung (1991),

daya akumulasi suatu organisme terhadap logam berat yang satu dengan yang lainnya berbeda-beda, dimana besar kecilnya daya akumulasi tergantung pada jenis logam berat, organisme, lama pemaparan serta kondisi lingkungan perairan. Dugaan lain yang menyebabkan menurunnya akumulasi logam berat Pb dilihat dari segi fisiologis *Anadara granosa*, yang menyebabkan fungsi keseimbangan antara tingkat pengambilan dan tingkat pengeluaran menjadi tidak maksimal sehingga mempengaruhi proses akumulasi logam berat Pb dan penyebarannya di jaringan tubuhnya. *Anadara granosa* diduga memiliki kemampuan untuk mengeluarkan logam berat Pb dalam jumlah yang relatif besar dari tubuhnya. Menurut dalam Ningtyas (2002), konsentrasi logam berat yang terakumulasi dalam jaringan tubuh kerang merupakan fungsi keseimbangan antara tingkat pengambilan (*rate of uptake*) dan tingkat pengeluaran (*rate of excretion*).

Sedangkan kandungan logam berat Cd pada *Anadara granosa* cenderung lebih tinggi dibandingkan kandungan logam berat Cd pada air laut dan sedimen. Kandungan logam berat pada organisme benthik akan lebih besar dari pada kandungan logam berat yang terdapat pada air laut dan sedimen. Hal ini menunjukkan bahwa daya akumulasi *Anadara granosa* terhadap logam Cd lebih tinggi dari pada daya akumulasi logam berat Pb sehingga proses absorpsi dan akumulasi logam berat dari air dan sedimen ke dalam tubuh *Anadara granosa* akan lebih banyak. Aditya Rahman (2006) yang menyatakan bahwa logam yang ada pada perairan suatu saat akan turun dan mengendap pada dasar perairan dan membentuk sedimen. Hal ini menyebabkan organisme yang mencari makan di dasar perairan akan memiliki peluang yang besar untuk terakumulasi logam berat yang telah terikat di dasar perairan dan membentuk sedimen.

Dari hasil pengukuran kandungan logam berat Pb pada air laut, sedimen dan *Anadara granosa* yang disajikan pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa kandungan logam berat Pb dan Cd tertinggi ditemukan di stasiun III (daerah industri). Tingginya kandungan logam berat Pb dan Cd ini disebabkan karena adanya aktivitas industri di sekitar stasiun penelitian. Aktivitas industri diduga dapat memberikan kontribusi logam berat Pb masuk ke perairan melalui logam Pb *non alloy* seperti pipa-pipa air, besi-besi galangan kapal yang telah mengalami korosi serta bahan-bahan yang digunakan dalam perbaikan kapal, seperti pengecatan kapal dengan bahan anti karat. Sesuai dengan pendapat Darmono (2001) yang menyatakan bahwa Timbal *non alloy* digunakan untuk melapisi logam lain, misalnya pipa-pipa yang dialiri bahan kimia yang bersifat korosif, melapisi kabel bawah tanah, pipa-pipa air dan digunakan untuk campuran cat dan bahan pewarna. Masukan logam berat Pb juga berasal dari adanya cecceran minyak yang terdistribusi ke dalam perairan karena stasiun penelitian berada di sekitar kawasan penampungan bahan bakar minyak.

Masuknya logam berat Cd ke perairan ini juga berasal dari aktivitas industri, yaitu industri galangan kapal yang berkontribusi besar dalam menyumbang limbah yang mengandung logam berat Cd ke perairan. Aktivitas galangan kapal, pelapisan logam, banyak dipakai sebagai bahan cat anti karat pada lambung kapal dan campuran pada kaleng-kaleng bekas yang dibuang ke perairan laut. Menurut Nancy Aulia Safitri, *dkk* (2009), limbah dari penggunaan Kadmium sebagai bahan baku pewarnaan cat pelapis baja dan besi pada industri tersebut pada akhirnya akan masuk ke dalam suatu perairan.

Selain industri galangan kapal, industri pabrik besi, baja dan pabrik semen juga merupakan industri yang memproduksi dan menggunakan logam berat Cd. Semua bidang industri yang melibatkan Cd dalam proses operasional industrinya menjadi sumber pencemaran Cd dalam perairan (Heryando Palar, 1994). Darmono (1995) mengemukakan bahwa Kadmium memiliki sifat tahan terhadap korosi sehingga

digunakan untuk melapisi plat besi dan baja. Masuknya atau lepasnya logam Cd ke lingkungan adalah melalui pengkaratan atau hasil pengrusakan.

Hasil pengukuran kandungan logam Pb dan Cd pada sedimen yang telah disajikan pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa kandungan logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan dalam air laut. Hal ini menunjukkan adanya akumulasi logam berat dalam sedimen sehingga terjadi penumpukan di dasar perairan. Sedangkan pada air laut, logam Pb dan Cd masih bisa bergerak bebas akibat pengaruh arus dan pasang surut sehingga terjadinya pengenceran. Menurut Hutagalung (1991), logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen sehingga kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan dalam air. Pernyataan ini serupa dengan yang dikemukakan oleh Harahap (1991) bahwa logam berat memiliki sifat yang mudah mengikat dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen.

Kandungan logam berat Pb dan Cd dalam sedimen pada stasiun III lebih tinggi dibandingkan stasiun lainnya. Hal ini disebabkan karena tingginya kandungan logam berat pada air laut. Logam berat yang semula terlarut dalam air diadsorpsi oleh partikel halus, oleh arus pasang surut partikel halus tersebut diendapkan di dasar perairan sehingga masukan limbah ke perairan yang terjadi secara terus menerus akan terakumulasi ke dalam sedimen dan menyebabkan kandungan logam berat di sedimen semakin bertambah. Kandungan logam antara air laut dan sedimen menunjukkan hubungan yang positif yaitu apabila kandungan logam berat dalam air laut meningkat maka kandungan logam berat dalam sedimen juga akan meningkat (Razak, 2002).

Logam berat akan terakumulasi di dalam jaringan tubuh organisme yang disebut dengan bioakumulasi. Tingginya kandungan logam berat pada stasiun III dipengaruhi oleh tingginya kandungan Pb dan Cd pada air laut dan sedimen stasiun tersebut. Hal ini disebabkan karena terjadi proses akumulasi dan absorpsi oleh *Anadara granosa* terhadap logam berat dari sedimen dan kolom air. Sesuai dengan karakteristik *Anadara granosa* sebagai biota *filter feeder* dan menetap dalam waktu lama, maka logam berat Pb dan Cd yang terdapat dalam sedimen dan air akan masuk ke dalam tubuh *Anadara granosa* baik melalui makanan (plankton) atau melalui air dan sedimen yang terserap ke dalam tubuhnya. Hutagalung (1991) menyatakan bahwa logam-logam berat yang ada dalam badan perairan akan mengalami proses akumulasi dalam tubuh biota yang ada, kemampuan biota untuk menimbun logam (bioakumulasi) melalui rantai makanan sehingga terjadi metabolisme bahan berbahaya secara biologi dan akan mempengaruhi organisme yang ada di perairan tersebut. Selanjutnya, menurut Darmono (1995), kandungan logam berat dalam tubuh organisme dipengaruhi oleh tinggi rendahnya tingkat pencemaran dan kebiasaan makan.

Tingginya kandungan logam berat Pb dan Cd pada stasiun III juga dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu salinitas, pH dan kecepatan arus yang lebih rendah dibandingkan dengan stasiun lainnya serta suhu yang tinggi (Tabel 3). Hal ini sesuai dengan pendapat Hutagalung (1991) yang menyatakan bahwa peningkatan logam berat dalam air laut, selain disebabkan oleh peningkatan aktivitas di sekitar perairan, dapat pula disebabkan oleh rendahnya pH dan salinitas serta tingginya suhu perairan.

Kandungan logam berat Pb dan Cd pada air laut, sedimen, dan *Anadara granosa* terendah ditemukan di stasiun II (daerah yang memiliki sedikit pemukiman penduduk). Rendahnya kandungan logam berat diduga karena kondisi stasiun II yang masih alami. Daerah stasiun II merupakan daerah yang tergolong jauh dari pemukiman penduduk dan aktivitas domestik yang berlangsung masih rendah. Namun, aktivitas seperti buangan

limbah rumah tangga melalui sampah-sampah metabolik, sampah plastik, kertas, baterai dan lain-lain turut ambil andil dalam menyumbangkan logam Pb dan Cd di perairan tersebut. Nancy Aulia Safitri, *dkk* (2009) menyatakan bahwa limbah dari penggunaan Timbal dan Kadmium juga berasal dari plastik-plastik, dan minyak dari limbah rumah tangga. Selain itu, letak Stasiun II yang berbatasan dengan perairan internasional yang merupakan jalur transportasi turut memberikan kontribusi terhadap masuknya logam berat Pb dan Cd ke dalam perairan.

Kandungan logam berat Pb dan Cd yang rendah pada sedimen disebabkan karena rendahnya kandungan logam berat Pb dan Cd pada air laut, sehingga logam berat yang diadsorpsi oleh partikel halus dan mengendap di dasar perairan lebih sedikit. Lebih rendahnya kandungan logam berat Pb dan Cd yang terdapat pada jaringan tubuh *Anadara granosa* di stasiun II disebabkan oleh rendahnya kandungan logam berat yang terdapat pada air laut dan sedimen sehingga akumulasi logam berat pada tubuh organisme juga rendah. Sedimen berpengaruh secara langsung bivalvia karena hidupnya secara infauna. Rendahnya kandungan logam berat Pb dan Cd di stasiun II juga berhubungan dengan kecepatan arus, salinitas dan pH yang lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun lainnya serta suhu yang rendah pada perairan tersebut (Tabel 3).

Kandungan logam berat Pb dan Cd pada air laut, sedimen dan *Anadara granosa* di stasiun I (daerah Pelabuhan) lebih tinggi dibandingkan pada stasiun II (daerah yang sedikit pemukiman penduduk). Lebih tingginya kandungan logam berat Pb dan Cd pada stasiun ini disebabkan karena stasiun ini merupakan lokasi pantai wisata dan dekat dengan pelabuhan. Logam berat Pb dan Cd pada stasiun I berasal dari limbah yang dihasilkan oleh aktivitas pelabuhan, jalur transportasi laut dan aktivitas domestik. Aktivitas pelabuhan dan pelayaran dapat menjadi salah satu sumber pencemaran logam berat di perairan sekitarnya (Amin, *dkk.*, 2011). Pencemaran berasal dari buangan oli, baterai atau accu bekas, pembuangan air ballast dan emisi mesin berbahan bakar minyak. Sesuai dengan pendapat 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 knock pada mesin. Bahan bakar minyak umumnya mendapat zat tambahan tetraethyl yang mengandung Pb untuk meningkatkan mutu, sehingga limbah dari kapal-kapal tersebut dapat menyebabkan kadar Pb di perairan tersebut menjadi tinggi (Rochyatun, *et al.*, 2006).

Logam berat Cd pada stasiun I bersumber dari buangan limbah minyak hitam semi padat (*sludge oil*) ke laut. Aktivitas buangan limbah minyak ini dilakukan oleh kapal-kapal tanker yang melewati perairan tersebut. *Sludge oil* merupakan limbah bahan berbahaya dan beracun karena mengandung unsur logam berat Cd (Doris Hermawan, 2012). Selain itu, korosi pipa-pipa air yang terdapat disekitar pelabuhan juga mengandung logam berat sehingga dapat memberikan andil yang cukup besar terhadap masuknya logam berat Cd di perairan laut (Darmono, 1995).

Sebagai lokasi pantai wisata, limbah domestik seperti kaleng-kaleng bekas yang mengandung pigmen logam berat dalam catnya, sampah plastik, aki dan minyak pelumas turut memberikan masukan cemaran logam berat Pb dan Cd ke perairan laut. Tingginya kandungan logam berat di perairan laut akan menyebabkan tingginya kandungan logam berat yang terakumulasi ke dalam sedimen.

Kandungan logam berat Pb dan Cd pada *Anadara granosa* di Stasiun I lebih tinggi dibandingkan di Stasiun II. Hal ini berkorelasi positif dengan kandungan logam berat Pb dan Cd pada air laut dan sedimen di Stasiun I. Tinggi rendahnya kandungan logam berat Pb dan Cd pada *Anadara granosa* dapat disebabkan oleh beberapa faktor.

Faktor-faktor yang mempengaruhi laju absorpsi logam berat ke dalam organisme laut yaitu kecepatan arus, salinitas, suhu dan kondisi fisiologik organisme itu sendiri. Arus akan mempengaruhi proses pengambilan makanan oleh *Anadara granosa*, dimana makanan tersebut dapat juga terkontaminasi logam berat. Salinitas dapat mempengaruhi keberadaan logam berat di perairan, bila terjadi penurunan salinitas maka akan menyebabkan peningkatan daya toksik logam berat dan tingkat bioakumulasi logam berat semakin besar. Suhu juga mempengaruhi kandungan logam berat di perairan dengan cara mengatur pelepasan ion-ion logam.

Berdasarkan nilai baku mutu yang telah ditetapkan dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 tentang standar baku mutu air laut untuk biota laut, maka diketahui bahwa rata-rata kandungan logam berat Pb dan Cd pada air laut di perairan Pantai Nongsa Kota Batam telah melewati ambang batas. Berdasarkan baku mutu kisaran kadar alamiah logam berat dalam sedimen menurut Resau Natioanl d' Observation (RNO), maka diketahui bahwa rata-rata kandungan logam Pb dan Cd pada sedimen di perairan Pantai Nongsa Kota Batam belum melewati ambang batas. Berdasarkan surat Keputusan Direktorat Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan, Departemen Kesehatan Republik Indonesia, No.03725/B/SK/1989 tentang batas maksimum logam berat dalam makanan yang menyatakan standar maksimum logam berat Pb yang terdapat dalam hewan laut yang boleh dikonsumsi adalah 2 ppm, sedangkan untuk logam berat Cd adalah sebesar 1,0 ppm menunjukkan bahwa kadar logam berat Pb pada *Anadara granosa* belum melewati ambang batas yang telah ditetapkan, begitu juga dengan kadar logam berat Cd pada *Anadara granosa* belum melewati ambang batas yang telah ditetapkan.

Hasil perhitungan akumulasi logam berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada *Anadara granosa* dapat dilihat dari nilai faktor konsentrasi biologi seperti yang tertera pada Tabel 2 berikut ini. Perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran 6.

Tabel 2 Hasil Perhitungan Nilai Faktor Konsentrasi Biologi Logam Berat Pb dan Cd pada *Anadara granosa*

Stasiun	Nilai Faktor Kandungan Biologi	
	Logam berat Pb	Logam berat Cd
I	0,635	2,900
II	0,799	2,666
III	0,614	2,090

Nilai faktor konsentrasi biologi menunjukkan kemampuan suatu organisme dalam mengakumulasi logam berat dalam tubuhnya yang berasal dari perairan dimana tempat organisme itu hidup. Berdasarkan nilai faktor konsentrasi biologi yang ditunjukkan pada Tabel 2 di atas dapat di ketahui bahwa nilai dari faktor konsentrasi biologi dari kedua jenis logam berat tersebut bervariasi, yaitu nilai faktor konsentrasi biologi *Anadara granosa* terhadap logam berat Pb berkisar antara 0,614–0,799. Sedangkan nilai faktor konsentrasi biologi *Anadara granosa* terhadap logam berat Cd berkisar antara 2,090–2,900. Hal ini menunjukkan bahwa nilai faktor konsentrasi biologi logam berat Cd lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai faktor konsentrasi biologi logam berat Pb. Dapat dikatakan bahwa *Anadara granosa* lebih cenderung mengakumulasi logam berat Cd dari pada logam berat Pb. Menurut Hutagalung (1991), besar kecilnya nilai faktor konsentrasi biologi tergantung pada jenis logam berat, organisme, lama pemaparan serta kondisi lingkungan perairan.

Menurut Waldichuck (1974), kategori nilai faktor konsentrasi biologi adalah $BCF < 100$ = Sifat akumulasi rendah, BCF antara 100-1000 = Sifat akumulasi sedang, sedangkan $BCF > 1000$ = Sifat akumulasi tinggi. Dari Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa tingkat akumulasi logam berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada *Anadara granosa* termasuk dalam kategori logam berat akumulatif rendah.

Selain kandungan logam berat Pb dan Cd, parameter kualitas perairan juga diukur melalui parameter fisika-kimia yang meliputi: suhu, kecerahan, kecepatan arus, salinitas, pH dan kandungan bahan organik dari perairan. Parameter tersebut dapat mempengaruhi kadar logam berat pada perairan. Data hasil pengukuran parameter fisika-kimia perairan untuk setiap titik stasiun di perairan Pantai Nongsa Kota Batam selama penelitian disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Parameter Fisika-Kimia di Perairan Pantai Nongsa Kota Batam

Stasiun	Parameter Fisika – Kimia						
	Suhu (°C)	Kecerahan (m)	Arus (mdt ⁻¹)	DO (ppm)	pH	KOS (%)	Salinitas (‰)
I	31,1	0,24	0,09	6,3	6,5	9,20	31,8
II	30,7	0,37	0,15	7	7	8,67	33,7
III	31,5	0,16	0,07	5,5	6	12,88	28,7
*)	28-32	>3		≥5	7-8,5		33-34

Ket *) : Baku mutu air laut (keputusan MENLH No.51/MENLH/2004)

Berdasarkan Tabel 3 di atas, hasil pengukuran suhu pada tiap stasiun pengamatan menunjukkan bahwa suhu rata-rata di perairan Pantai Nongsa Kota Batam berkisar antara 30,7°C-31,5°C. Perbedaan suhu suatu perairan dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain penguapan, hembusan angin, radiasi matahari, dan letak geografis. Kisaran suhu pada tiap stasiun mengindikasikan nilai yang masih mendukung kehidupan organisme akuatik di perairan tersebut. Selain itu, suhu juga dapat mempengaruhi kandungan bahan pencemar dalam perairan, seperti logam berat. Suryono (2006) mengatakan bahwa kenaikan suhu tidak hanya akan meningkatkan metabolisme biota perairan, namun juga dapat meningkatkan toksisitas logam berat di perairan.

Kecerahan merupakan suatu ukuran untuk mengetahui daya penetrasi cahaya matahari ke dalam air. Dari hasil penelitian menunjukkan kecerahan rata-rata perairan Pantai Nongsa Kota Batam berkisar antara 0,16–0,37 m. Kecerahan tertinggi terdapat pada stasiun II sedangkan kecerahan terendah terdapat pada stasiun III. Nilai kecerahan pada perairan ini belum mencapai ambang batas yang telah ditetapkan oleh keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004, yaitu besar dari 3 meter, maka dapat disimpulkan kecerahan pada masing-masing stasiun penelitian belum memenuhi kriteria yang telah ditetapkan. Rendahnya nilai kecerahan pada masing-masing stasiun penelitian diakibatkan oleh adanya zat terlarut dan tingginya partikel-partikel tersuspensi. Tingkat kecerahan juga mempengaruhi kadar logam berat dalam perairan. Hubungan kecerahan dengan kandungan logam berat adalah berbanding terbalik, dimana semakin tinggi tingkat kecerahan perairan maka kandungan logam berat dalam air akan semakin sedikit.

Arus merupakan salah satu aspek dinamika air yang berperan dalam sebaran biologi, kimia, polusi serta kandungan logam berat. Dari hasil pengukuran pada Tabel 4.3 di atas, kecepatan arus rata-rata pada setiap stasiun pengamatan berkisar antara 0,09-0,15 mdt⁻¹. Kecepatan arus tertinggi terdapat pada stasiun II dan terendah terdapat pada

stasiun III. Tingginya kecepatan arus di stasiun II karena stasiun II berhubungan langsung dengan lautan lepas. Adanya pengaruh angin yang cukup kencang dan tidak ada yang menghalangi mengakibatkan pergerakan arusnya menjadi lebih cepat. Arah dan kecepatan arus yang terdapat pada masing-masing stasiun penelitian merupakan mekanisme yang penting untuk mengetahui penyebaran dan transport asal material (bahan pencemaran) yang terjadi.

DO adalah kadar oksigen terlarut dalam air. Kandungan oksigen terlarut di perairan Pantai Nongsa Kota Batam berkisar antara 5,5–7 ppm. Kandungan oksigen terlarut tertinggi terdapat pada Stasiun II dan kandungan oksigen terlarut terendah terdapat pada Stasiun III. Kandungan oksigen yang rendah pada stasiun III mengindikasikan banyaknya limbah yang terdapat pada lokasi tersebut. Akan tetapi, kandungan oksigen terlarut di Perairan Pantai Nongsa Kota Batam ini masih mendukung kehidupan biota laut, sesuai dengan keputusan MENLH No. 51 Tahun 2004 bahwa kandungan oksigen terlarut untuk mendukung kehidupan organisme akuatik adalah ≥ 5 ppm. Connel dan Miller (1995) menyebutkan oksigen terlarut merupakan salah satu faktor lingkungan yang mempengaruhi kadar logam berat pada organisme air. Rendahnya kadar oksigen terlarut akan meningkatkan laju respirasi organisme tersebut. Hal tersebut dapat meningkatkan toksisitas logam berat yang masuk ke dalam tubuh organisme.

pH sangat penting sebagai parameter kualitas air karena ia mengontrol tipe dan laju kecepatan reaksi beberapa bahan dalam air. Hasil pengukuran nilai pH pada masing-masing stasiun penelitian tidak menunjukkan perbedaan yang cukup tinggi. Nilai pH rata-rata berkisar antara 6-7. Berdasarkan keputusan MENLH No. 51/MENLH/2004 kisaran pH yang baik pada suatu perairan laut adalah 7-8,5 maka kisaran pH perairan di Pantai Nongsa Kota Batam berada di bawah nilai baku mutu perairan. Rendahnya nilai pH air dipengaruhi oleh bahan pencemar. Limbah-limbah yang masuk ke dalam perairan bersifat asam sehingga menyebabkan nilai pH menjadi asam. Namun, kisaran pH tersebut masih mendukung kelangsungan hidup *Anadara granosa*. Selain itu, derajat keasaman berpengaruh terhadap bahan pencemar logam berat di perairan. Pada pH alami laut logam berat sukar terurai dan dalam bentuk partikel atau padatan tersuspensi. Pada pH rendah, ion bebas logam berat dilepaskan ke dalam kolom air sehingga menyebabkan toksisitas logam berat menjadi besar. Sedangkan pada pH tinggi logam berat akan mengalami pengendapan.

Berdasarkan hasil pengukuran, kandungan bahan organik substrat berkisar antara 8,67-12,88 %. Bahan organik tertinggi ditemukan pada stasiun III dan kandungan bahan organik terendah pada stasiun II. Tinggi rendahnya kandungan bahan organik disebabkan oleh vegetasi tanaman dan penambahan limbah-limbah disekitar stasiun penelitian. Tingginya bahan organik pada stasiun III dikarenakan pada stasiun ini terdapat vegetasi hutan mangrove, serasah mangrove hasil penguraian menumpuk dan mengendap di dasar perairan sebagai bahan organik utama. Selain itu, adanya tambahan bahan organik dari limbah-limbah industri yang masuk ke badan perairan. Rendahnya kandungan bahan organik pada stasiun II disebabkan karena sumber bahan organik hanya dari hutan mangrove saja sebagai penyumbang utama. Sumbangan terpenting hutan mangrove terhadap ekosistem perairan pantai adalah luruhan-luruhan daun mangrove yang jatuh dan gugur dalam air. Luruhan daun mangrove ini merupakan sumber bahan organik yang penting dalam rantai makanan di lingkungan sekitar perairan (Nonji, 1993). Sedangkan sumber bahan organik dari pembuangan sampah – sampah organik maupun anorganik dari aktivitas domestik masih tergolong rendah.

Salinitas merupakan gambaran jumlah garam dalam suatu perairan. Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan, salinitas rata-rata di perairan Pantai Nongsa Kota Batam berkisar antara 28,7 ‰-33,7 ‰. Salinitas tertinggi terdapat pada stasiun II dan salinitas terendah terdapat pada stasiun III. Salinitas suatu perairan cenderung berubah-ubah yang disebabkan oleh beberapa faktor antara lain pola sirkulasi air, curah hujan dan masuknya air tawar (Nontji 1993). Menurut Keputusan MENLH No. 51/MENLH/2004, kisaran salinitas di perairan Pantai Nongsa Kota Batam masih berada di bawah kisaran salinitas untuk biota laut yaitu 33‰-34‰. Salinitas juga berpengaruh terhadap kandungan logam berat di perairan. Hal ini sesuai dengan pendapat Supriharyono (2003) yang menyatakan bahwa pada perairan dengan salinitas rendah terdapat kandungan logam berat yang tinggi, sedangkan pada salinitas yang tinggi dijumpai kandungan logam berat yang rendah.

Pemanfaatan hasil penelitian sebagai sumber belajar merupakan suatu usaha untuk penciptaan lingkungan yang memungkinkan terjadinya proses belajar. Hasil penelitian yang diperoleh disusun menjadi LTS yang dapat menjadi alternatif sumber belajar bagi siswa untuk memberikan informasi kepada peserta didik sebagai pengayaan materi pada konsep pencemaran air. Penyusunan LTS berbasis hasil penelitian mengacu pada fakta-fakta yang diperoleh dari penelitian yang selanjutnya dihubungkan dengan konsep pencemaran air. Penyusunan LTS dari hasil penelitian mengacu pada tahapan model ADDIE. Adapun uraian dari tahapan penyusunan LTS adalah sebagai berikut:

Tahap 1: *Analysis*

Pada tahap ini, langkah yang dilakukan meliputi analisis sumber belajar yang dibuat guru berupa LTS, analisis kurikulum dan analisis konsep. Analisis LTS yang dibuat guru dilakukan untuk mengetahui apakah LTS telah memuat contoh kasus dan data-data hasil penelitian fenomena lokal. Namun, pada kenyataannya LTS yang tersedia umumnya hanya memuat fenomena global. Dalam perspektif ini, ketersediaan LTS berdasarkan hasil penelitian sangat berguna untuk memperkaya informasi pada konsep pencemaran lingkungan di SMA. Selanjutnya dilakukan analisis kurikulum untuk melihat tuntutan kurikulum dan kenyataan di lapangan. Analisis kurikulum yang dilakukan adalah analisis KI dan KD. Hasil penelitian yang didapat berupa data dan pembahasan yang digunakan sebagai sumber penyusunan LTS pada konsep pencemaran air dan disesuaikan dengan KD yang ada di SMA yaitu pada KD 3.10 Menganalisis data perubahan lingkungan dan dampak dari perubahan-perubahan tersebut bagi kehidupan. Pada langkah analisis konsep, dilakukan untuk mengetahui keluasan dan kedalaman materi pencemaran air bagi siswa kelas X SMA dan menjabarkan konsep-konsep yang perlu didapatkan siswa.

Tahap 2: *Design*

Tahap *design* diawali dengan merekonstruksi silabus dari Kemdikbud 2013. Beberapa aspek pada silabus disesuaikan dengan kegiatan pembelajaran yang akan dikembangkan, termasuk kegiatan pembelajaran, alokasi waktu, penilaian, dan sumber belajar. Selanjutnya merancang RPP sesuai dengan format dari permendikbud 103. Kemudian merancang LTS berbasiskan hasil penelitian.

Struktur LTS yang dirancang mengacu pada format Departemen Pendidikan Nasional tahun 2008. Judul LTS disesuaikan dengan analisis konsep yang telah dilakukan. Tujuan pada LTS dirancang harus menggambarkan semua indikator pencapaian kompetensi yang telah di rumuskan pada RPP. Wacana yang LTS dikembangkan menjadi wacana yang mengemukakan fenomena dari hasil penelitian. Sumber belajar yang digunakan berupa buku cetak yang pada umumnya menggunakan

buku biologi SMA/MA kelas X penerbit Esis sebagai sumber referensi utama dan ditambah penggunaan modul pembelajaran biologi pencemaran air karangan Ayudia tahun 2014 sebagai pelengkap bagi buku materi pokok yang disediakan oleh sekolah. Tujuannya adalah agar siswa dapat memperkaya pengetahuannya dan mempermudah untuk menyelesaikan tugas-tugas/soal-soal pada LTS karena modul ini telah relevan dengan konsep pencemaran air yang dibahas pada LTS. Petunjuk kegiatan disusun secara prosedural agar siswa melakukan kegiatan dengan baik dan benar. Soal-soal/pertanyaan pada LTS dikembangkan dari hasil penelitian berupa fakta yang disajikan dalam bentuk data, grafik maupun teori yang mengacu pada indikator pembelajaran dan tujuan LTS.

Tahap 3: *Development*

Adapun langkah yang dilakukan pada tahap ini adalah mengembangkan struktur isi LTS. LTS juga disesuaikan dengan kegiatan pembelajaran di sekolah, dimana model pembelajaran yang digunakan adalah PBL (*Problem Based Learning*) atau pembelajaran berbasis masalah. Penerapan model pembelajaran berbasis masalah pada materi pencemaran lingkungan dinilai tepat karena materi ini banyak berkaitan dan dekat dengan kehidupan sehari-hari di lingkungan sekitar siswa. LTS yang disusun akan divalidasi terlebih dahulu oleh dosen pendidikan biologi yang terdiri dari 2 ahli materi dan 1 ahli bidang pendidikan. Adapun hasil validasi dari ketiga validator ditampilkan sebagai rerata pada Tabel 5.

Tabel 5. Rerata Validitas Lembar Tugas Siswa Berbasis Hasil Penelitian

Aspek yang Diamati	Penilaian			Rerata Nilai %
	V1	V2	V3	
Materi mengacu pada KI dan KD	4,00	4,00	4,00	100,00
Kelengkapan komponen format LTS sesuai dengan format yang ditentukan	3,00	4,00	4,00	91,67
Tugas-tugas dalam LTS mendukung pemahaman konsep siswa	4,00	3,00	3,00	83,33
LTS yang disusun berdasarkan hasil penelitian dapat menambah wawasan dan pengetahuan siswa	3,00	3,00	3,00	75,00
Pemanfaatan hasil penelitian yang disajikan dalam wacana pada LTS sebagai contoh kasus yang bersifat fenomena lokal sudah sesuai dengan konsep pencemaran air yang dipelajari	4,00	3,00	3,00	83,33
Rumusan soal-soal dalam LTS sudah berbasiskan pada hasil penelitian	4,00	3,00	4,00	91,67
Tata urutan pertanyaan yang diberikan sesuai dengan materi dan kelas serta jenjang sekolah	3,00	3,00	3,00	75,00
Petunjuk kegiatan/cara pengerjaan LTS jelas (tidak membingungkan siswa)	4,00	3,00	3,00	83,33
Waktu yang diberikan sesuai dengan banyaknya tugas yang harus diselesaikan siswa	3,00	3,00	2,00	66,67
Menggunakan bahasa yang sederhana, jelas dan mudah dipahami serta menggunakan bahasa indonesia yang baik dan benar (EYD)	4,00	3,00	3,00	83,33
Ilustrasi, gambar, grafik, tabel, diagram, dan sejenisnya disajikan dengan jelas, efektif dan menarik	4,00	3,00	3,00	83,33
LTS mengacu pada pendekatan saintifik	4,00	3,00	4,00	91,67
Mendorong siswa belajar dan berfikir kritis	4,00	3,00	4,00	91,67
Jumlah tiap validator	48,00	41,00	43,00	132,00
Nilai % tiap validator	92,30	78,84	82,69	84,61
Kategori Validitas				Sangat baik

Keterangan : V1 : Ahli Materi 1 V2 : Ahli Materi 2 V3 : Ahli Pendidikan

Berdasarkan Tabel 4.5 di atas dapat diketahui bahwa hasil rerata penilaian oleh para validator menunjukkan LTS dalam kategori sangat baik dengan persentase nilai 84,61 %. Secara keseluruhan, LTS yang disusun terlihat menarik karena tidak hanya berupa susunan kata-kata dan LTS ini dapat memotivasi siswa untuk belajar menggali pengetahuan di dalamnya. Selain itu, penggunaan bahasa yang sederhana memudahkan siswa untuk memahami tugas-tugas yang harus dikerjakan. Rumusan soal-soal, pertanyaan/masalah dan wacana atau informasi pendukung pada LTS juga sudah berdasarkan pada hasil penelitian mengenai kandungan logam berat Pb dan Cd di Pantai Nongsa Kota Batam sehingga dapat menambah wawasan siswa mengenai materi pencemaran air melalui fenomena alam yang terdapat di lingkungan sekitarnya. Depdiknas (2008) menyatakan materi dapat berupa informasi pendukung, yaitu gambaran umum/ruang lingkup sustansi yang akan dipelajari dapat bersumber dari jurnal hasil penelitian. Tugas-tugas yang diberikan telah mengarahkan pada pengembangan kognitif siswa, dimana siswa dilatih berfikir, menganalisis dan memecahkan suatu permasalahan. Pada aspek kelengkapan komponen format LTS sesuai dengan format yang ditentukan dan ilustrasi, gambar, grafik, tabel, diagram, dan sejenisnya disajikan dengan jelas, efektif dan menarik mendukung pemahaman konsep siswa.

Secara umum dapat disimpulkan bahwa penyusunan LTS berbasis hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai penunjang proses pembelajaran Biologi. Akan tetapi, LTS ini baru dapat digunakan dengan beberapa perbaikan atau revisi. Adapun saran perbaikan oleh para validator adalah dari segi kesesuaian waktu pengerjaan LTS, yaitu pada aspek Mengenai waktu yang diberikan sesuai dengan banyaknya tugas yang harus diselesaikan siswa, masih bernilai kurang baik/kurang sesuai. Hal ini menjadi catatan yang perlu diperhatikan bahwasannya dalam penggunaan LTS ini, alokasi waktu yang telah ditetapkan perlu disesuaikan lagi dengan kemampuan siswa dalam mengerjakannya.

SIMPULAN DAN REKOMENDASI

Kandungan logam berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) di perairan Pantai Nongsa Kota Batam menunjukkan nilai yang berbeda. Nilai kandungan logam berat Pb pada *Anadara granosa* cenderung lebih rendah dibandingkan dengan kandungan logam berat Pb pada air laut dan sedimen. Sedangkan kandungan logam berat Cd pada *Anadara granosa* cenderung lebih tinggi dibandingkan kandungan logam berat Cd pada air laut dan sedimen. Kandungan logam berat Pb dan Cd pada air laut di perairan Pantai Nongsa Kota Batam telah melewati ambang batas, sedangkan konsentrasi logam Pb dan Cd pada sedimen dan *Anadara granosa* belum melewati ambang batas. Hasil penelitian kandungan logam berat Pb dan Cd pada *Anadara granosa* dapat dimanfaatkan untuk penyusunan Lembar Tugas Siswa konsep Pencemaran Air di SMA. Penelitian ini diharapkan dapat dilanjutkan ke tahap Implementasi dan Evaluasi sesuai dengan model pengembangan ADDIE.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya Rahman. 2006. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Beberapa Jenis Krustasea Di Pantai Batakan dan Takisung Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan. *Jurnal Bioscientiae*. 3(2):12-19
- Amin, Afriyani, dan Saputra. 2007. Distribusi Spasial Logam Pb dan Cu pada Sedimen dan Air Laut Permukaan di Perairan Tanjung Buton Kabupaten Siak Provinsi Riau. *Jurnal Teknobiologi*, 2(1):1-8.
- Connel, D.W. & G.J. Miller. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Universitas Indonesia Press. Jakarta
- Darmono. 1995. *Logam Dalam Sistim Biologi Mahluk Hidup*. Universitas Indonesia Perss. Jakarta.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran*. Universitas Indonesia Press. Jakarta
- Departemen Pendidikan Nasional RI. 2008. *Panduan Pengembangan Bahan Ajar*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Atas
- Dick Walter and Lou Carey. 2005. *The Systematic Design of Instruction*. Pearson. Boston.
- Doris Hermawan. 2012. *Perairan Pantai Nongsa Batam Mengandung Limbah B3*. (Online), <http://lampost.co> (diakses 20 Februari 2014)
- Harahap. 1991. Tingkat Pencemaran Air Kali Cakung Ditinjau dari Sifat Fisikokimia Khususnya Logam Berat dan Keanekaragaman Jenis Hewan Makrobentos. Tesis. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Heryando Heryando Palar. 2004. *Pencemaran dan Toksilogi Logam Berat*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Hutagalung. 1991. *Pencemaran Laut Oleh Logam Berat*. P3O-LIPI. Jakarta
- Hutagalung. 1997. *Metode Analisis Air Laut, Sedimen, dan Biota*. Buku 2. PPPO LIPI. Jakarta.
- Nancy Aulia Safitri, Rifardi dan Rasoel Hamidi. 2009. Kandungan Logam Berat (Cd Dan Pb) Pada Sedimen Permukaan Perairan Teluk Bayur Provinsi Sumatera Barat Indonesia. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. 2(3): 80-86. Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Universitas Riau. Pekanbaru.
- Nontji. 1993. *Laut Nusantara*. Djambatan. Jakarta
- Razak. 2002. Dinamika Karakteristik Fisika - Kimia Sedimen dan Hubungannya dengan Struktur Komunitas Moluska Bentik (Bivalvia) dan (Gastropoda) di Muara Banda Bakali Padang. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Rochyatun, E., Kaisupy, T.M., & Rozak, A., 2006. Distribusi Logam Berat dalam Air Dan Sedimen di Perairan Muara Sungai Cisadane. *Jurnal Makara* 10(1) : 35-40.
- Siaka. 2008. Korelasi antara Kedalaman Sedimen di Pelabuhan Bena dan Kandungan Logam Berat Pb Dan Cu. *Jurnal Kimia*, 2(2): 61-70.
- Supriharyono. 2003. *Pelestarian dan Pengelolaan Sumber Daya Alam di Wilayah Pesisir Tropis*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Suryono, A. 2006. Bioakumulasi Logam Berat melalui Sistem Jaringan Makanan dan Lingkungan pada Kerang Bulu *Anadara inflata*. *Jurnal Ilmu Kelautan* 9 (1) : 1-9