

## MODEL DINAMIS PENCEMARAN CADMIUM (Cd) DAN TIMBAL (Pb) DI TELUK AMBON

### *Dynamic Models of Cadmium (Cd) and Lead (Pb) Contamination in Ambon Bay*

Gracia Victoria Souisa<sup>1</sup>, Anwar Mallongi<sup>2</sup>, Hasan Hasyim<sup>2</sup>, Muh Hatta<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin

<sup>2</sup>Konsentrasi Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin

<sup>3</sup>Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin

(souisagracia@gmail.com)

#### ABSTRAK

Limbah pertanian dari penggunaan pupuk dan pestisida berpotensi menambah cemaran Cadmium dan Timbal pada Teluk Ambon. Penelitian ini bertujuan mengestimasi konsentrasi Cadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada perairan sungai dengan menggunakan sampel air sungai selama 10 tahun (2015 – 2025) kedepan, strategi pengendalian menggunakan pendekatan model dinamik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analitik observasional melalui pendekatan model sistem dinamik. Pengambilan sampel dilakukan secara *purposive sampling*, dengan menggunakan sampel air sungai dan air laut, diukur dengan AAS Shimdsu, type AA-6300. Analisis data menggunakan program STELLA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada 10 tahun yang akan datang (2025) diestimasikan konsentrasi Cd dan Pb pada sungai mengalami peningkatan sebesar 30.35 kali dan 0.072 kali per bulan atau mengalami peningkatan dari 0.004592 pada tahun 2015 menjadi 16.72 ppb pada tahun 2025 untuk cadmium, sedangkan konsentrasi timbal meningkat dari 10.53 ppb pada tahun 2015 menjadi 91.66 ppb pada tahun 2025. Estimasi konsentrasi Cd dan Pb pada perairan sungai di Teluk Ambon selama 10 tahun (2015-2025) cenderung mengalami peningkatan. Skenario terbaik untuk menekan peningkatan konsentrasi Cd dan Pb ialah skenario optimistik.

**Kata kunci : Model, cadmium, timbal, Teluk Ambon**

#### ABSTRACT

*Agricultural wastes from the use of fertilizers and pesticides has the potential to add contaminants Cadmium and Lead in the Bay of Ambon. This study aims to estimate the concentration of Cadmium (Cd) and Lead (Pb) in the waters of the Rivers using river water samples for 10 years (2015-2025) to the fore, the control strategy by using a dynamic model. The method used in this study is an observational analytic with dynamic system models approach. Sampling was done by purposive sampling, using a sample of river water and seawater, measured by AAS Shimdsu, type AA-6300. Analysis of data using STELLA program. The results showed that in the 10 years to come (2025) estimated the concentration of Cd and Pb in rivers increased by 30.35 and 0.072 times per month, or an increase of 0.004592 ppb in 2015 to 16.72 ppb in 2025 to cadmium, while lead concentrations increased from 10.53 ppb in 2015 to 91.66 ppb in 2025. Estimation the concentration of Cd and Pb in the waters of the rivers in Ambon Bay for 10 years (2015-2025) to the fore, tends to increase. The best scenario to suppress the concentration of Cd and Pb is the optimistic scenario.*

**Keyword : Model, cadmium, lead, Ambon Bay**

## PENDAHULUAN

Pencemaran berbagai jenis logam berat telah menjadi perhatian utama karena efek toksisitas yang dapat ditimbulkannya. Kontaminasi logam merupakan salah satu kontaminan yang bersifat persisten dan dapat menurunkan kualitas lingkungan. Limbah yang bersumber dari berbagai kegiatan dibuang melalui aliran sungai langsung ke perairan laut, berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan, termasuk pencemaran logam berat. Beberapa kasus keracunan logam pada manusia, akibat adanya pencemaran telah banyak dilaporkan dan biasanya terjadi dalam komunitas atau penduduk yang tinggal dalam suatu lingkungan yang tercemar. Hal tersebut pernah terjadi pada penduduk di perkampungan nelayan, Minamata dan penduduk yang tinggal di sepanjang Sungai Jinzu, Jepang.<sup>1</sup>

Beberapa penelitian yang dilakukan di Indonesia seperti perairan pesisir Kabupaten Tangerang tergolong tercemar sedang hingga berat akibat adanya berbagai industri yang limbahnya belum dikelola dengan baik. Hal ini teridentifikasi pada air, sedimen dan kerang yang mengandung logam berat berdasarkan hasil penelitian Simbolon dkk, 2014.<sup>1</sup> Penelitian lainnya dengan sampel sedimen pada perairan Gresik, dalam penelitian Lestari dan Budiyanto menunjukkan kisaran Hg 0.04 – 0.33 mg/kg, Cd 0.08 – 3.05 mg/kg, Cu 23.7 -234 mg/kg, Pb 1.74 – 12.7 mg/kg.<sup>2</sup>

Karakteristik Teluk Ambon yang semi tertutup (relatif tenang) dan potensial mendukung berbagai aktivitas nelayan untuk penangkapan maupun budidaya ikan, juga merupakan jalur lalu lintas laut dan berbagai aktifitas lainnya memungkinkan adanya kecenderungan terkonsentrasinya bahan pencemar di dalam teluk. Limbah pertanian yang berpotensi dibawa melalui 3 aliran sungai yang masuk ke dalam Teluk Ambon, merupakan limbah dari penggunaan pupuk dan pestisida oleh penduduk setempat, berkontribusi terhadap meningkatnya konsentrasi Cd dan Pb di perairan Teluk Ambon.

Kajian yang dilakukan oleh Direktorat Jenderal Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan terkait cemaran logam berat di Teluk Ambon dengan menggunakan sampel air laut, menunjukkan rata - rata konsentrasi merkuri (Hg)

<0,001 mg/L, Cadmium (Cd) 0,0045 mg/L, Krom (Cr) <0,004 mg/L, Tembaga (Cu) 0,8769 mg/L, konsentrasi Timbal (Pb) berkisar antara 0,1141 mg/L – 1,4432 mg/L, dan konsentrasi Seng (Zn) berkisar antara 0,6285 mg/L – 2,9913 mg/L.<sup>3</sup> Kualitas parameter logam terlarut dalam perairan teluk Ambon yaitu Cd, Pb, Cu dan Zn telah melebihi baku mutu Kepmen LH No 51 tahun 2004. Hasil penelitian lainnya oleh Netty dkk, di perairan Halong Teluk Ambon, yang dianalisis dengan menggunakan ICP-OES menunjukkan kadar Cd dan Pb dalam air laut sebesar 0.005 dan 0.045 ppm.<sup>4</sup>

Pemantauan buangan limbah pertanian yang masuk ke Teluk Ambon melalui sungai, perlu mendapat perhatian serius karena dapat mempengaruhi kesehatan masyarakat dan merusak ekosistem lingkungan. Pendekatan model dinamis dapat digunakan untuk mengestimasi jumlah cemaran logam pada perairan Teluk Ambon. Model dinamis berkontribusi memberi pemahaman dari kejadian pencemaran, dampak dan prediksi kemungkinan pencemaran di masa depan. Model dinamis juga dapat digunakan membandingkan, perencanaan, pelaksanaan, mengevaluasi dan mengoptimalkan berbagai pencegahan dan tindakan pengendalian pencemaran. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengestimasi konsentrasi Cadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada perairan Teluk Ambon selama 10 tahun (2015 – 2025) ke depan, dan strategi pengendaliannya dengan menggunakan pendekatan model dinamik.

## BAHAN DAN METODE

Jenis penelitian yang digunakan adalah observasional analitik dengan pendekatan model dinamik. Penelitian ini dilaksanakan di Teluk Ambon Bagian Dalam, pada bulan Maret – April 2015. Populasi penelitian adalah konsentrasi Cd dan Pb pada air sungai, air laut dan sedimen. Penarikan sampel menggunakan *purposive sampling* pada 3 sungai yang bermuara ke Teluk Ambon. Pengumpulan data primer diperoleh dari hasil pengukuran kandungan Cd dan Pb pada air di laboratorium BTKL-PPM Kelas II Ambon. Data sekunder berupa data pemantauan kualitas perairan Teluk Ambon dari BTKL-PPM Kelas II Ambon dan LIPI. Analisis data menggunakan aplikasi model dinamis. Penyajian data dalam ben-

tuk grafik disertai narasi.

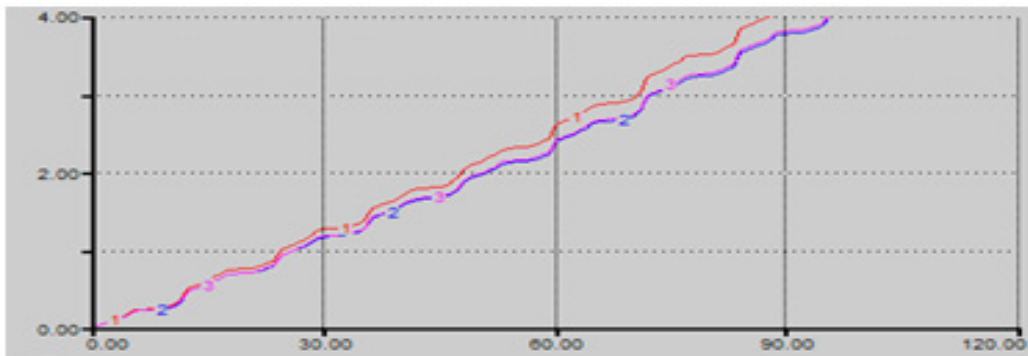
## HASIL

Penelitian ini menggunakan sampel air sungai, air laut dan sedimen. Konsentrasi Cd dan Pb pada air sungai dan air laut cenderung sama di setiap lokasi karena adanya keterbatasan deteksi alat AAS yang digunakan dalam penelitian ini. Konsentrasi Cd dan Pb pada sungai dan air laut masih dibawah baku mutu yang ditetapkan. Berdasarkan hasil simulasi model yang ditunjukkan pada grafik estimasi konsentrasi Cd (2015 - 2025) pada 3 sungai yang bermuara di TAD (Gambar 1), dan grafik estimasi konsentrasi Pb (2015 - 2025) pada 3 sungai yang bermuara di TAD (Gambar 2), menunjukkan bahwa konsentrasi Cd dan Pb pada ke 3 sungai cenderung mengalami peningkatan dari tahun ke tahun.

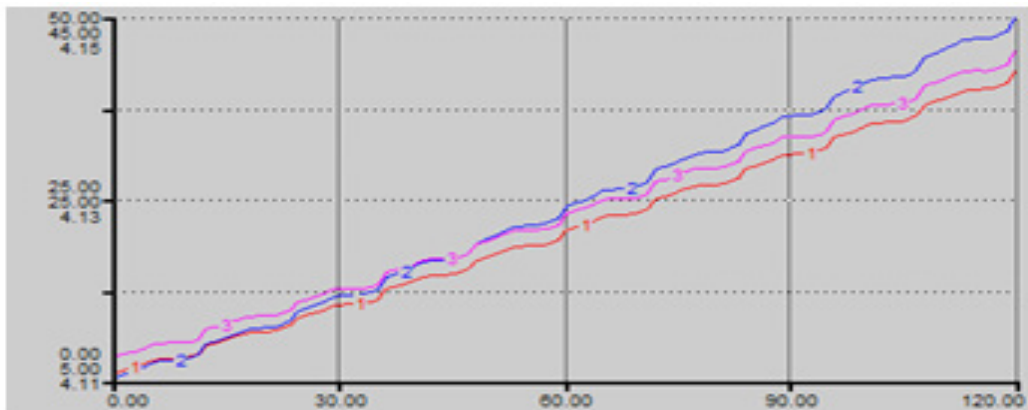
Hasil estimasi menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi Cd pada 10 tahun yang

akan datang di 3 sungai yang masuk ke Teluk Ambon Dalam (TAD), yaitu mengalami peningkatan konsentrasi total sebesar 3642 kali lipat dari konsentrasi total Cd sebesar 0.004592 ppb pada tahun 2015 meningkat menjadi 16.72 ppb pada tahun 2025 dengan rata - rata peningkatan 30.35 kali tiap bulannya. Konsentrasi Pb pada 3 sungai yang bermuara di TAD, berdasarkan hasil simulasi model menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi total Pb sebesar 10.53 ppb pada tahun 2015 meningkat menjadi 91.66 ppb pada tahun 2025 dengan rata - rata peningkatan 0.072 kali setiap bulannya.

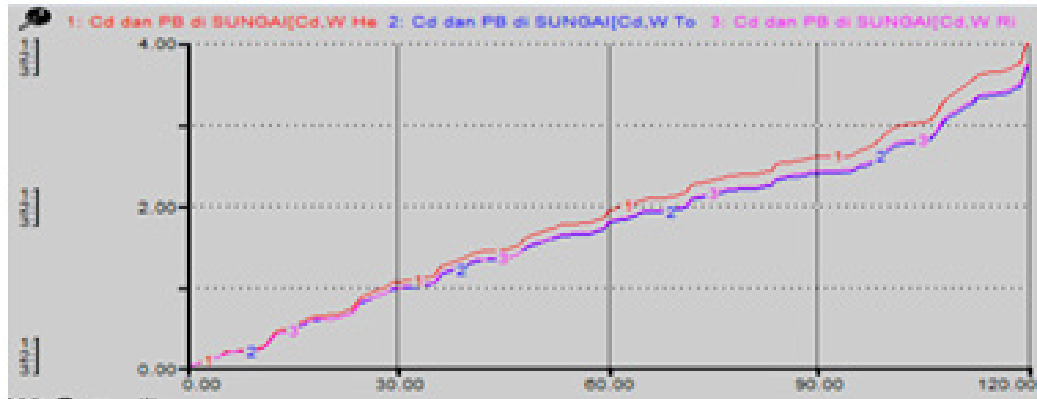
Skenario yang dapat diterapkan dalam penelitian ini untuk mengendalikan peningkatan Cd dan Pb pada sungai adalah regulasi pupuk dan pestisida. Grafik estimasi konsentrasi Cd dan Pb (2015 - 2025) berdasarkan skenario 2 (Gambar 3) dan grafik estimasi konsentrasi Cd dan Pb (2015 - 2025) berdasarkan skenario 3 (Gambar



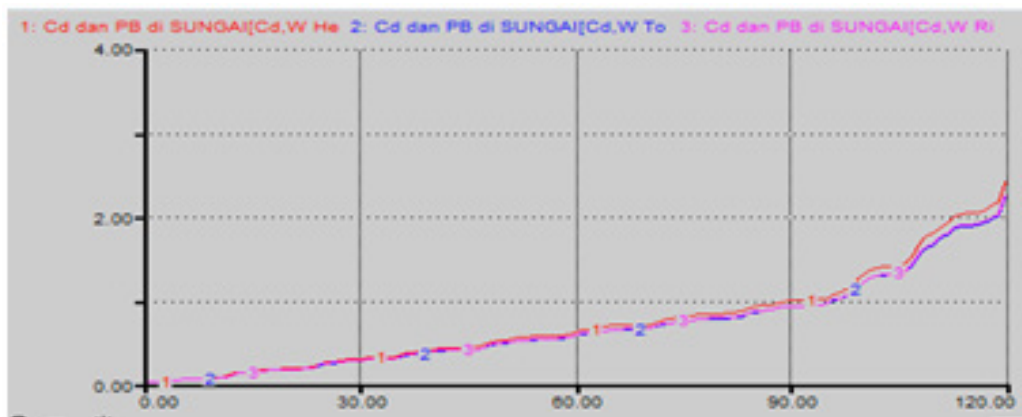
Gambar 1. Estimasi Konsentrasi Cd (2015 – 2025) di Sungai yang Bermuara ke Teluk Ambon Dalam



Gambar 2. Estimasi Konsentrasi Pb (2015 – 2025) di 3 Sungai yang Bermuara ke Teluk Ambon Dalam



Gambar 3. Estimasi Konsentrasi Cd (2015 – 2025) Berdasarkan Skenario 2 di 3 Sungai



Gambar 4. Estimasi Konsentrasi Cd (2015 – 2025) Berdasarkan Skenario 3 di 3 Sungai

4), dapat dilihat estimasi konsentrasi Cd dan Pb pada skenario 2 (10% penurunan Cd dan Pb pada pupuk dan pestisida) dan skenario 3 (20% penurunan Cd dan Pb pada pupuk dan pestisida). Hasil estimasi skenario 2, yaitu penurunan Cd dan Pb pada pupuk sebanyak 10% per tahun menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi Cd pada 10 tahun yang akan datang di 3 sungai yang masuk ke TAD, yaitu mengalami peningkatan konsentrasi total sebesar 2494 kali lipat dari konsentrasi total Cd sebesar 0.004592 ppb pada tahun 2015 meningkat menjadi 11.45 ppb pada tahun 2025 dengan rata - rata peningkatan 20.7 kali tiap bulannya. Konsentrasi Pb pada lokasi yang sama, mengalami peningkatan konsentrasi total sebesar 8.5 kali lipat dari konsentrasi total Pb sebesar 10.53 ppb pada tahun 2015 meningkat menjadi 89.78 ppb pada tahun 2025 dengan rata - rata peningkatan 0.072 kali per bulan.

Hasil estimasi skenario 3, yaitu penurunan

Cd dan Pb pada pupuk sebanyak 20% per tahun menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi Cd pada 10 tahun yang akan datang di 3 sungai yang masuk ke TAD yaitu mengalami peningkatan konsentrasi total sebesar 1501 kali lipat dari konsentrasi total Cd sebesar 0.004592 ppb pada tahun 2015 meningkat menjadi 6.89 ppb pada tahun 2025 dengan rata - rata peningkatan 12.5 kali tiap bulannya. Konsentrasi Pb pada lokasi yang sama, mengalami peningkatan konsentrasi total sebesar 8.4 kali lipat dari konsentrasi total Pb sebesar 10.53 ppb pada tahun 2015 meningkat menjadi 88.66 ppb pada tahun 2025 dengan rata - rata peningkatan 0.070 kali per bulan.

#### PEMBAHASAN

Penelitian ini menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan Cd dan Pb pada Sungai Waiheru selama 10 tahun akan datang (2015 - 2025), yaitu meningkat 30.35 kali per bulan un-

tuk konsentrasi Cd dan 0.072 kali per bulan untuk konsentrasi Pb. Strategi pengendalian yang dapat dilakukan adalah regulasi pupuk dan pestisida. Hasil data primer menunjukkan konsentrasi Cd dan Pb pada sungai dan air laut masih dibawah baku mutu yang ditetapkan, tetapi bila disimulasikan hingga 10 tahun ke depan, ada kecenderungan peningkatan konsentrasi Cd dan Pb.

Rendahnya konsentrasi Cd dan Pb di sungai karena terjadi pengendapan akibat besarnya adsorpsi oleh padatan tersuspensi. Hal ini seperti yang dinyatakan oleh Sanusi dalam Sembel bahwa dalam lingkungan air tawar atau sungai, padatan tersuspensi akan mengadsorpsi Pb terlarut mencapai 15 - 83%.<sup>5</sup> Hasil bila dibandingkan dengan beberapa penelitian lain di luar Teluk Ambon, menunjukkan hasil yang sejalan. Penelitian yang dilakukan Ahmad di Pulau Kabaena, Muna dan Buton, konsentrasi Pb berada pada kisaran <0.001-0.016, konsentrasi Cd<0.001-0.001.<sup>6</sup> Penelitian di Laut Arafuru, oleh Rochyaton menunjukkan konsentrasi Cd dan Pb pada air laut masih di bawah baku mutu.<sup>7</sup> Berbeda dengan penelitian yang dilakukan di Tanjung Pinang oleh Pratiwi et al dan di Teluk Klabat yang dilakukan oleh Arifin, menunjukkan konsentrasi Cd dan Pb telah melewati baku mutu yang ditetapkan.<sup>8,9</sup>

Penggunaan pestisida dan pupuk pada lahan pertanian, menjadi sumber utama pencemaran Cd dan Pb di Sungai. Penggunaan pupuk dan pestisida tidak semuanya digunakan oleh tanaman, sehingga menghasilkan limbah pertanian yang berpotensi dibawa oleh air hujan, menuju ke perairan sungai. Data pupuk dan pestisida yang digunakan dalam penelitian ini adalah pupuk dan pestisida yang disubsidi oleh pemerintah tiap tahunnya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Hartini dkk, konsentrasi Pb pada pestisida berkisar antara 0.87 - 19.37 mg/L, sedangkan pada pupuk berkisar antara 7 - 225 mg/L untuk Pb dan 0.05 - 8.5 mg/L untuk Cd.<sup>10</sup>

Hasil simulasi model menunjukkan adanya peningkatan Cd dan Pb, yaitu meningkat dari 0.004592 ppb pada tahun 2015 menjadi 16.72 ppb pada tahun 2025 untuk Cd, sedangkan Pb meningkat dari 10.53 ppb pada tahun 2015 menjadi 91.66 ppb pada tahun 2025. Pengendalian yang dapat dilakukan adalah regulasi pupuk dan pestisida yang dapat dilihat pada skenario 2 dan

3. Pada skenario 2, yaitu pengurangan Cd dan Pb 10% tiap tahunnya dan skenario 3, yaitu pengurangan Cd dan Pb 20% tiap tahunnya, terlihat adanya penurunan Cd yaitu peningkatan 20.7 kali perbulan untuk skenario 2 dan 12.5 kali per bulan untuk skenario 3. Hasil terlihat menurun bila dibandingkan dengan skenario 1, yaitu peningkatan 30.35 kali per bulan. Konsentrasi Pb pun menurun namun tidak signifikan Cd. Peningkatan Pb untuk skenario 2 adalah 0.072 kali per bulan, dan skenario 3 adalah 0.070 kali perbulan. Konsentrasi ini menurun jika dibandingkan dengan skenario 1, yaitu peningkatan 0.072 kali per bulan.

Penggunaan pestisida dan pupuk urea di lahan pertanian di Kota Ambon, berdasarkan hasil penelitian dari Pusat Penelitian Laut Dalam LIPI Kota Ambon, telah berdampak pada ledakan kelimpahan fitoplankton di Teluk Ambon. Kinghorn *et al.*, dalam Sagala *et al.*, menyebutkan bahwa pada musim hujan, kandungan logam berat dalam air cenderung lebih kecil karena pelarutan, sedangkan pada musim kemarau cenderung lebih tinggi karena logam menjadi terkonsentrasi.<sup>11</sup> Penelitian lainnya yang dilakukan di wilayah DKI Jakarta oleh Satmoko, menyimpulkan bahwa pencemaran sungai di wilayah DKI Jakarta lebih tinggi pada musim kemarau karena debit air sungai turun drastis.<sup>12</sup>

Darmono, menyatakan konsentrasi Cd dan Pb di dalam air, dapat terakumulasi di dalam sedimen dan biota.<sup>13</sup> Biota terkontaminasi apabila dikonsumsi manusia, dapat menimbulkan toksisitas akut dan kronis seperti gangguan gastrointestital, gangguan neurologi, kerusakan ginjal, kerusakan hepar dan gangguan lainnya. Biota yang rentan terkontaminasi Cd dan Pb adalah kerang, karena sifatnya yang menetap, lambat untuk menghindar dari pengaruh polusi, dan mempunyai toleransi yang tinggi terhadap konsentrasi logam.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Estimasi peningkatan konsentrasi Cd dan Pb berdasarkan hasil simulasi model dinamik selama 10 tahun (2015 - 2025) di 3 Sungai yang bermuara ke TAD, tanpa tindakan pengendalian yaitu 16.72 ppb (di tahun 2025) dengan kelipatan peningkatan 30.35 kali per bulan untuk Cd

dan 91.66 ppb (di tahun 2025) dengan kelipatan peningkatan 0.072 kali per bulan. Perlu adanya estimasi sumber pencemar lain selain limbah pertanian yang berpotensi mencemari sungai.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Simbolon, AR, Riani, E, Wardiatno, Y. Status Pencemaran dan Kandungan Logam Berat pada Simpung (Placuna placenta) di Pesisir Kabupaten Tangerang. *Depik*. 2014;3:91-98.
2. Lestari dan Budiyanto, F. Konsentrasi Hg, Cd, Cu, Pb dan Zn dalam Sedimen di Perairan Gresik. *Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 2013;5:182-191.
3. BTKLPPM. Laporan Kajian Pemantauan Kualitas Perairan Teluk Ambon Tahun 2010. Ambon: BTKL PPM; 2010.
4. Siahaya N, Noor A, Nicole. Penggunaan callyspongia sp from Halong Waters (Ambon Bay) as Biomonitor Untuk Logam Runut Pb, Cd, Cr dan Zn. *Marina Chimica Acta*. 2012; 3(2): 20-26.
5. Sembel Luky. Analisis Logam Berat Pb, Cd, dan Cr Berdasarkan Tingkat Salinitas di Estuari Sungai Belau Teluk Lampung. Papua: Prosiding Seminar Nasional. 2011.
6. Ahmad F. Tingkat Pencemaran Logam Berat dalam Air Laut dan Sedimen di Perairan Pulau Muna, Kabaena dan Buton Sulawesi Tenggara. *Makara Sains*. 2009;13(2):117-124.
7. Rochyatun, E, Lestari, Rozak, A. Kondisi Perairan Muara Sungai Digul dan Perairan Laut Arafura Dilihat dari Kandungan Logam Berat. *Oceanologi dan Limnologi di Indonesia*. 2004;36:15-31.
8. Pratiwi, AR, Pratomo, Wilian, N. Analisis Kandungan Logam Berat Pb dan Cd Terhadap Lamun *Enhalus acoroides* Sebagai Bioindikator di Perairan Tanjung Lanjut Kota Tanjung Pinang. *Jurnal Umrah*. 2013.
9. Arifin. Konsentrasi Logam Berat di Air, Sedimen dan Biota di Teluk Kelabat Pulau Bangka. *Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 2011; 3(1): 104-114.
10. Hartini E. Kadar Plumbum (Pb) dalam Umbi Bawang Merah di Kecamatan Kersana Kabupaten Brebes. *Visikes*. 2011;10(1).
11. Sagala, SL, Bramawanto, R, Kuswardani, A, & Pranowo, W. Distribusi Logam Berat di Perairan Natuna. *Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 2014; 6(2): 297-310.
12. Satmoko Y. Kondisi Pencemaran Logam Berat di Perairan Sungai DKI Jakarta. *JAI*. 2006. 2(1).
13. Darmono. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran*. Jakarta: UI Press; 2006.