

**SEBARAN DAN BIOAKUMULASI LOGAM BERAT Pb dan Cd PADA BIVALVIA
Anadara nodifera, *Meretrix lyrata*, dan *Solen lamarckii* DI PERAIRAN PESISIR SELAT
MADURA BAGIAN BARAT**

***DISTRIBUTION AND BIOACCUMULATION OF HEAVY METALS Pb AND Cd ON
BIVALVES Anadara nodifera, Meretrix lyrata, AND Solen lamarckii IN COASTAL
WATERS OF THE WEST MADURA STRAIT***

Ahyar^{1*}, Dietriech G. Bengen², dan Yusli Wardiatno³

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor

*E-Mail: ahyar111213@gmail.com

²Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK-IPB, Bogor

³Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, FPIK-IPB, Bogor

ABSTRACT

Madura strait receives waste disposal from various activities in the mainland, making it vulnerable to contamination of harmful pollutants. Some of the harmful pollutants are heavy metal Pb and Cd. The high concentration Cd and Pb give negative impacts to the biota including bivalves. This study was conducted to assess the distribution of heavy metals Pb and Cd in the waters and their accumulation in bivalves Anadara nodifera, Meretrix lyrata, and Solen lamarckii in coastal waters of the West Madura Strait. Heavy metal analysis refer to APHA 2012 using AAS. The results showed that concentration of Cd and Pb in water were below the quality standards, while in sediment were above the standard (Cd of 7.20 mg/kg and Pb of 62.06 mg/kg). The concentration of Cd in bivalve were different among the species tested A. nodifera of 6.10 mg/kg, M. lyrata of 3.65 mg/kg, and S. lamarckii of 2.74 mg/kg, as well as Pb concentration A. nodifera of 60.10 mg/kg, M. lyrata of 51.48 mg/kg, and S. lamarckii of 45.29 mg/kg). These results indicated that the three shells have exceeded the maximum limit of heavy metal contamination in food (Cd of 1.0 mg/kg and Pb of 1.5 mg/kg).

Keywords: bivalve, heavy metal, Madura Strait

ABSTRAK

Perairan Selat Madura merupakan perairan yang senantiasa menerima buangan limbah dari berbagai aktivitas di daratan, sehingga rentan tercemar bahan-bahan berbahaya. Beberapa bahan pencemar berbahaya adalah logam berat Pb dan Cd. Konsentrasi logam Cd dan Pb berlebih menyebabkan dampak buruk terhadap kehidupan biota seperti bivalvia. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji sebaran logam berat Pb dan Cd di perairan dan akumulasinya pada bivalvia *Anadara nodifera*, *Meretrix lyrata*, dan *Solen lamarckii* di perairan pesisir Selat Madura bagian barat. Analisis logam berat mengacu pada APHA 2012 dengan bantuan AAS *Atomic Absorbance Spektrofotometer*. Konsentrasi Cd dan Pb di air masih berada di bawah baku mutu, sedangkan di sedimen telah jauh melebihi baku mutu (Cd sebesar 7,20 mg/kg dan Pb sebesar 62,06 mg/kg). Konsentrasi Cd pada bivalvia jenis *A. nodifera* sebesar 6,10 mg/kg, *M. lyrata* sebesar 3,65 mg/kg, dan *Solen lamarckii* sebesar 2,74 mg/kg. Konsentrasi Pb pada *A. nodifera* sebesar 60,10 mg/kg, *M. lyrata* sebesar 51,48 mg/kg, dan *S. lamarckii* sebesar 45,29 mg/kg. Hasil ini menunjukkan bahwa konsentrasi pada ketiga jenis kerang telah melebihi batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan (Cd sebesar 1,0 mg/kg and Pb sebesar 1,5 mg/kg).

Kata Kunci: bivalvia, logam berat, Selat Madura

I. PENDAHULUAN

Perairan Selat Madura merupakan perairan yang rentan tercemar bahan-bahan

limbah berbahaya. Sumber bahan pencemar berasal dari berbagai kegiatan industri dan rumah tangga. Jumlah industri di Jawa Timur yang menyumbang bahan pencemar ke Selat

Madura melalui beberapa muara sungai yaitu 483 industri (Masduqi dan Apriliani, 2008). Besarnya masukan limbah juga membawa bahan pencemar berbahaya berupa logam berat. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Taftazani (2007), Soegiarto *et al.* (2009), Fauziah *et al.* (2012), dan Jakfar *et al.* (2014), menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat di perairan sekitar pesisir Selat Madura telah melebihi baku mutu yang ditetapkan dalam Kepmen LH No. 51 Tahun 2004.

Logam berat merupakan salah satu bahan pencemar berbahaya terhadap lingkungan dan organisme (Draszawka and Bolzan, 2014; Effendi *et al.*, 2017). Beberapa jenis logam memiliki sifat esensial (dibutuhkan oleh organisme). Akan tetapi, terdapat beberapa logam non esensial (logam yang perannya belum diketahui bagi organisme) yang pada konsentrasi yang tinggi dapat bersifat beracun dan berbahaya (Darmono, 1995). Beberapa logam seperti Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) termasuk ke dalam jenis logam metalloid yang merupakan logam non esensial meskipun dalam konsentrasi yang rendah (Rankin, 2011). Logam Cd di perairan berasal dari berbagai aktivitas seperti industri baterai, industri plastik, pemakaian pupuk fosfat, dan fungisida pada kegiatan pertanian (Campbell, 2006). Sedangkan untuk logam Pb secara alami bersumber dari alam terutama atmosfer, dan jumlahnya dapat bertambah akibat kegiatan manusia (antropogenik) seperti pemakaian bahan aditif pada bahan bakar, industri cat, dan baterai (Neff, 2002).

Bivalvia (kerang-kerangan) merupakan kelompok organisme yang berpotensi terpapar langsung pencemar logam berat. Hal tersebut dikarenakan bivalvia berperan sebagai *filter feeder* di lingkungan perairan (Fujii, 2007; Moselhy dan Yassien, 2005). Logam berat masuk ke dalam sel organisme dalam bentuk ikatan kompleks seperti asam amino, ghlution, dan beberapa bentuk khusus lainnya. Logam berat terikat oleh metalotionein (MTN) dan menghasilkan ikatan antara protein dan logam berat dalam bentuk

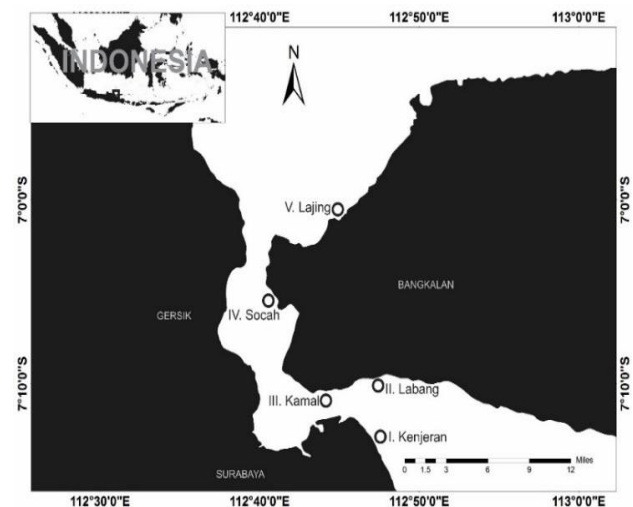
Cu-MTN, Cd-MTN, dan Hg-MTN (Amiard *et al.*, 2006).

Secara alami beberapa organisme mampu melakukan detoksifikasi (proses pengeluaran racun dalam tubuh) terhadap paparan logam berat, namun pada konsentrasi berlebih dapat menimbulkan kerusakan jaringan, memperlambat pertumbuhan, dan bahkan kematian (Järup, 2003; Govind and Madhuri, 2014; Takarina, 2014). Setiap organisme memiliki kemampuan berbeda dalam mengendalikan paparan logam berat. Penelitian tentang respon organisme terhadap paparan logam berat terutama oleh jenis bivalvia dapat menjadi informasi penting dalam rangka biomonitoring dan bioindikator lingkungan perairan pesisir dan lautan. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji sebaran logam berat (Pb dan Cd) di perairan pesisir Selat Madura bagian barat serta bioakumulasinya pada tiga spesies bivalvia berbeda yaitu *Anadara nodifera*, *Meretrix lyrata*, dan *Solen lamarckii*

II. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Bulan Juli 2016 sampai Bulan Maret 2017 di perairan pesisir Selat Madura bagian Barat, Jawa Timur, Indonesia (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi penelitian.

2.2. Pengukuran Kualitas Perairan

Pengukuran kualitas air berupa suhu, pH, arus, salinitas, dan *Dissolved Oxygen* (DO) dilakukan secara *insitu* di setiap lokasi pengamatan, sedangkan *Total Suspended Solid* (TSS), fraksi sedimen, C-Organik, konsentrasi logam Cd dan Pb dilakukan secara *exitu* di laboratorium Ilmu Kelautan Universitas Trunojoyo Madura dan laboratorium Produktivitas Lingkungan (PROLING) Institut Pertanian Bogor.

Analisis C-Organik menggunakan metode *Walkey and Black* (BPT, 2005). Fraksi sedimen dianalisis menggunakan saringan bertingkat dengan metode pengayakan kering skala Wentworth, kemudian dianalisis rata-rata ukuran butirnya (*Mean Ø*) menggunakan metode grafis (Raffaelli and Hawkins, 1999). Pengukuran TSS menggunakan metode gravimetri mengacu pada (SNI 2004). Analisis konsentrasi logam Cd dan Pb mengacu pada prosedur *American Public Health Association* (APHA, 2012), dimana sampel air menggunakan metode (APHA, 2012, 3111-C), sampel sedimen (APHA, 2012, 3111-B, 3110-H), dan sampel kerang (APHA, 2012, 3111-B, 3110-E) dengan bantuan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

2.3. Pengambilan Sampel Air, Sedimen, dan Kerang

Pengambilan sampel air, sedimen, dan bivalvia dilakukan dengan membuat transek garis yang diletakkan tegak lurus garis pantai mulai dari air pasang tertinggi sampai surut terendah, kemudian sampel diambil pada setiap jarak 50 meter. Setiap lokasi (stasiun) penelitian dilakukan pengambilan sampel masing-masing sebanyak tiga kali ulangan. Selanjutnya sampel air dan kerang diawetkan mengacu pada prosedur *United State Environmental Protection Agency* (USEPA).

2.4. Analisis Data

Analisis data mengacu pada Bengen (2000) menggunakan *software* XLSTAT. Sebaran logam berat dianalisis dengan menggunakan ANOVA dan Analisis Komponen

Utama atau *Principal Component Analysis* (PCA) untuk mengetahui sebarannya secara spasial di lingkungan perairan, serta keterkaitannya dengan parameter kualitas perairan lainnya (suhu, pH, salinitas, DO, arus, TSS, C-Organik, dan fraksi sedimen). Sebaran logam berat pada bivalvia dianalisis menggunakan metode Analisis Koresponden atau *Corresponden Analysis* (CA). Bioakumulasi logam Cd dan Pb pada bivalvia menggunakan regresi linier.

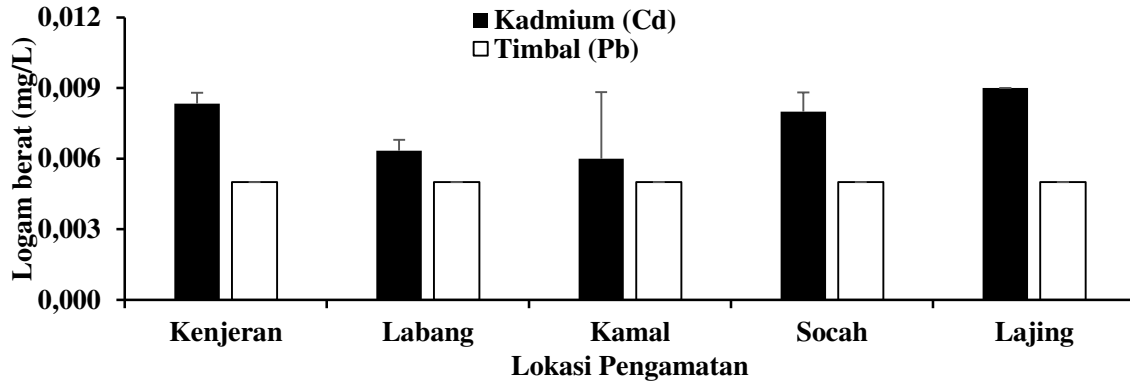
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

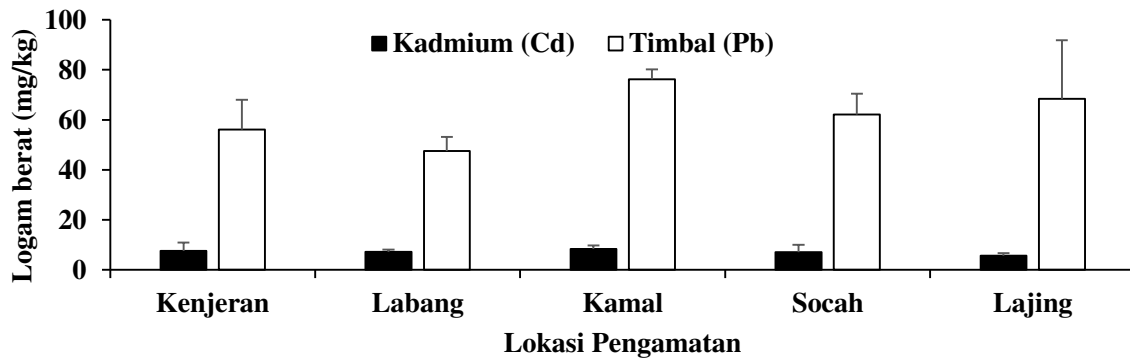
3.1.1. Sebaran Spasial Logam Berat di Perairan

Konsentrasi logam Cd di kolom perairan (Gambar 2) berkisar antara 0,006 sampai 0,009 mg/L, sedangkan konsentrasi logam Pb pada seluruh lokasi pengamatan berada di bawah deteksi limit analisis (<0,006 mg/L). Konsentrasi logam berat di dasar perairan (sedimen) nilainya jauh lebih tinggi dibandingkan di kolom perairan, dimana konsentrasi Cd berkisar antara 5,64 sampai 8,37 mg/kg, sedangkan logam Pb berkisar antara 47,51 sampai 76,16 mg/kg (Gambar 3). Konsentrasi logam Cd dan Pb pada sedimen yang tertinggi berada di Kamal.

Berdasarkan hasil pengukuran parameter fisika kimiawi perairan (Tabel 1), suhu di lokasi penelitian berkisar antara 30,6 sampai 32,6°C. Kisaran suhu tersebut termasuk dalam kategori cukup tinggi. Nilai suhu yang tertinggi berada di Socah dan terendah di Lajing. Rata-rata salinitas perairan berkisar antara 28,7 sampai 33,7 psu (*practical salinity units*), yang tertinggi di Lajing dan terendah di Labang. Konsentrasi oksigen terlarut (DO) berkisar antara 5,12 sampai 6,62 mg/L dan masih memenuhi baku mutu (> 5) sebagai habitat hidup untuk biota laut. Hasil pengukuran konsentrasi C-Organik di lokasi cenderung cukup rendah yaitu berkisar antara 0,41 sampai 0,80, hal ini menunjukkan bahwa aktivitas bakteri anaerob yang menggunakan oksigen untuk meng



Gambar 2. Nilai rata-rata dan simpangan baku kandungan logam berat kadmium (Cd) dan timbal (Pb) di kolom perairan pada 5 lokasi di perairan pesisir Selat Madura bagian barat.



Gambar 3. Nilai rata-rata dan simpangan baku kandungan logam berat kadmium (Cd) dan timbal (Pb) di dasar perairan (sedimen) pada 5 lokasi di perairan pesisir Selat Madura bagian barat.

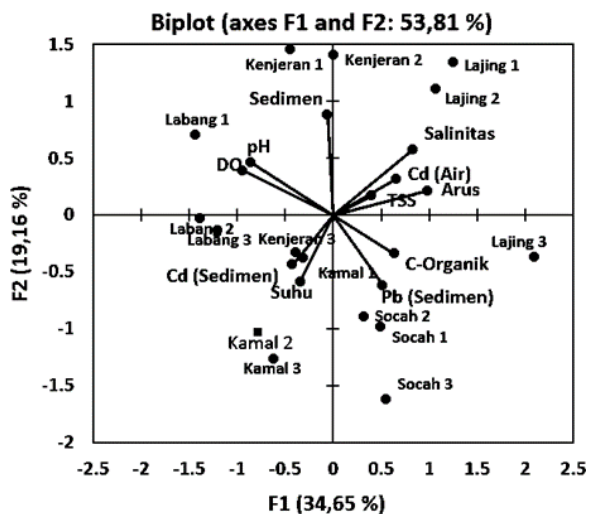
Tabel 1. Nilai rata-rata pengukuran dan simpangan baku parameter fisika kimiawi pada 5 lokasi di perairan pesisir Selat Madura bagian barat.

Parameter	Stasiun					Baku Mutu*
	Kenjeran	Labang	Kamal	Socah	Lajing	
Suhu (°C)	31,5±1,2	32,3±1,2	31,6±0,2	32,6±0,7	30,6±0,5	28-30
Salinitas (psu)	32,7±0,9	28,7±1,2	29,0±0,0	30,7±0,5	33,7±0,5	33-34
DO (mg/L)	6,4±0,4	6,6±0,2	6,5±1,3	5,5±0,4	5,1±0,5	>5
Arus (m s ⁻¹)	0,7±0,1	0,5±0,1	0,6±0,1	0,8±0,1	1,0±0,1	-
C-Organik (%)	0,6±0,3	0,4±0,2	0,8±0,1	0,7±0,2	0,6±0,1	-
TSS (mg/L)	0,5±0,1	0,7±0,2	0,8±0,2	0,6±0,1	0,9±0,1	<20
pH	8,3±0,1	8,4±0,2	8,3±0,1	7,9±0,1	8,0±0,2	7,0-8,5
Fraksi sedimen						
Kerikil (%)	18,0±1,2	22,2±1,4	18,8±1,2	14,0±1,2	8,3±0,5	-
Pasir (%)	81,5±1,2	76,2±1,5	80,1±1,2	85,4±1,2	90,1±0,4	-
Lempung (%)	0,4±0,2	1,6±0,1	1,1±0,1	0,6±0,1	1,6±0,1	-
Mean Ø	0,3±0,0	0,3±0,0	0,3±0,0	0,2±0,0	0,3±0,0	-

*Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 tahun 2004.

uraikan bahan organik cukup rendah. Nilai pH di seluruh lokasi berada di atas 7, yang tertinggi di Labang dan terendah di Socah. Kecepatan arus berkisar antara 0,53 sampai 1,00 m s⁻¹, yang tertinggi di Lajing dan terendah di Labang. Komposisi jenis fraksi sedimen di seluruh stasiun didominasi jenis pasir. Jenis fraksi berupa pasir mempengaruhi nilai TSS, dimana konsentrasi TSS di lokasi cukup rendah yaitu berkisar antara 0,5 sampai 0,9 mg/L.

Hasil analisis komponen utama terhadap parameter fisika kimiawi perairan pada Gambar 4 menunjukkan nilai dua sumbu utama (F1 dan F2) dengan akar ciri kumulatif F1 (34,65%) dan F2 (19,16%), dimana kelompok F1 dicirikan oleh arus dengan nilai korelasi (0,87), pH (-0,76), salinitas (0,74), DO (-0,83), C-Organik (0,56), TSS (0,35), Logam Cd dalam air (0,58) dan kelompok F2 dicirikan oleh Suhu (-0,52), Cd dalam sedimen (-0,38) dan Pb dalam sedimen (-0,55).



Gambar 4. Hasil analisis komponen utama sebaran karakteristik lingkungan perairan di lokasi penelitian pada sumbu 1 (F1) dan sumbu 2 (F2).

3.1.2. Kandungan dan Bioakumulasi Logam Berat Cd dan Pb pada Bivalvia

Penelitian ini menggunakan 3 jenis kerang dari 3 genera berbeda yaitu *Anadara*

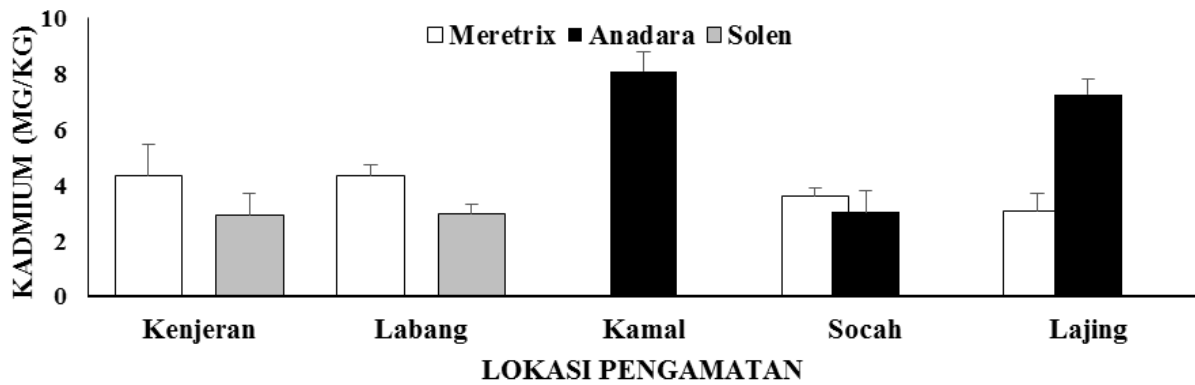
nodifera, *Meretrix lyrata*, dan *Solen lamarckii*. Pada saat pengambilan sampel, tiga jenis bivalvia tersebut tidak ditemukan secara bersamaan di masing-masing stasiun. Jenis *A. nodifera* hanya ditemukan di Kamal, Socah, dan Lajing. Jenis *S. lamarckii* hanya ditemukan di Kenjeran dan Labang. Sedangkan jenis *M. lyrata* ditemukan pada 4 stasiun yaitu Kenjeran, Labang, Socah, dan Lajing.

Hasil pengukuran kandungan logam berat Cd pada bivalvia mendapatkan nilai konsentrasi logam Cd pada jenis *Anadara nodifera* berkisar antara 3,01 sampai 8,07 mg/kg, dimana kandungan tertinggi ditemukan di Kamal dan terendah di Socah. Konsentrasi Cd pada jenis *Meretrix lyrata* yaitu berkisar antara 3,06 sampai 4,33 mg/kg, kandungan Cd tertinggi ditemukan di Kenjeran dan terendah di Lajing. Konsentrasi Cd pada jenis *Solen lamarckii* berkisar antara 2,88 sampai 2,94 mg/kg (Gambar 5), yang tertinggi di Labang dan terendah di Kenjeran.

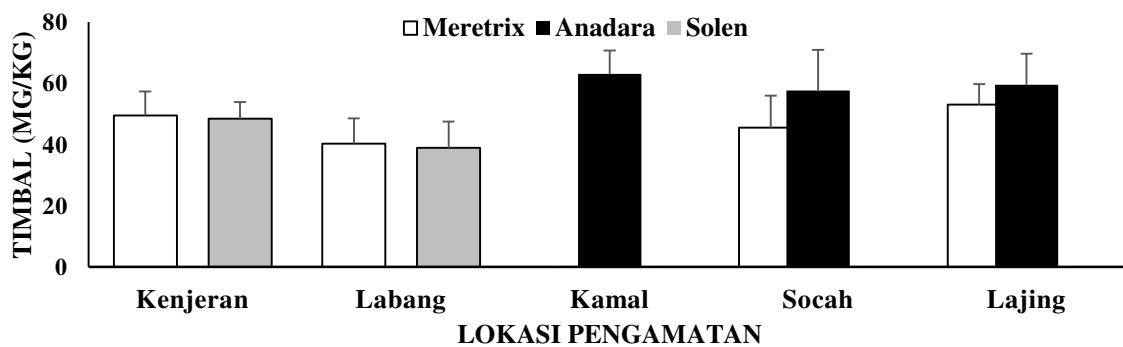
Hasil pengukuran konsentrasi logam Pb pada bivalvia disajikan pada Gambar 6. Konsentrasi Pb pada jenis *A. nodifera* berkisar antara 57,63 sampai 63,11 mg/kg, kandungan logam Pb tertinggi ditemukan di Lajing dan terendah di Socah. Konsentrasi Pb pada jenis *M. lyrata* berkisar antara 40,27 sampai 53,09 mg/kg, kandungan Pb tertinggi ditemukan di Lajing dan terendah di Labang. Konsentrasi Pb pada jenis *S. lamarckii* berkisar antara 38,86 sampai 48,39 mg/kg, kandungan Pb yang tertinggi ditemukan di Kenjeran dan terendah di Labang.

Berdasarkan hasil analisis koresponden yang digambarkan dalam bentuk biplot (Gambar 7), kandungan logam Cd dan Pb pada jenis *Anadara nodifera* lebih banyak tersebar di Kamal, Socah, dan Lajing. Kandungan logam berat pada jenis *Meretrix lyrata* lebih banyak tersebar di Socah dan Lajing.

Kandungan logam berat pada jenis *Solen lamarckii* lebih banyak tersebar di Kenjeran dan Labang. Secara berurutan, konsentrasi logam pada bivalvia ditemukan di sepanjang perairan Selat Madura bagian barat

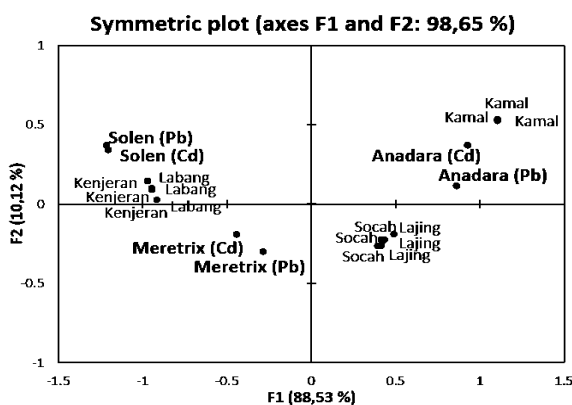


Gambar 5. Nilai rata-rata dan simpangan baku kandungan logam kadmium (Cd) pada tiga jenis bivalvia; *Anadara nodifera*, *Meretrix lyrata*, dan *Solen lamarckii*.



Gambar 6. Nilai rata-rata dan simpangan baku kandungan logam timbal (Pb) pada tiga jenis bivalvia; *Anadara nodifera*, *Meretrix lyrata*, dan *Solen lamarckii*.

dari yang tertinggi sampai terendah yaitu *Anadara nodifera* > *Meretrix lyrata* > *Solen lamarckii*.



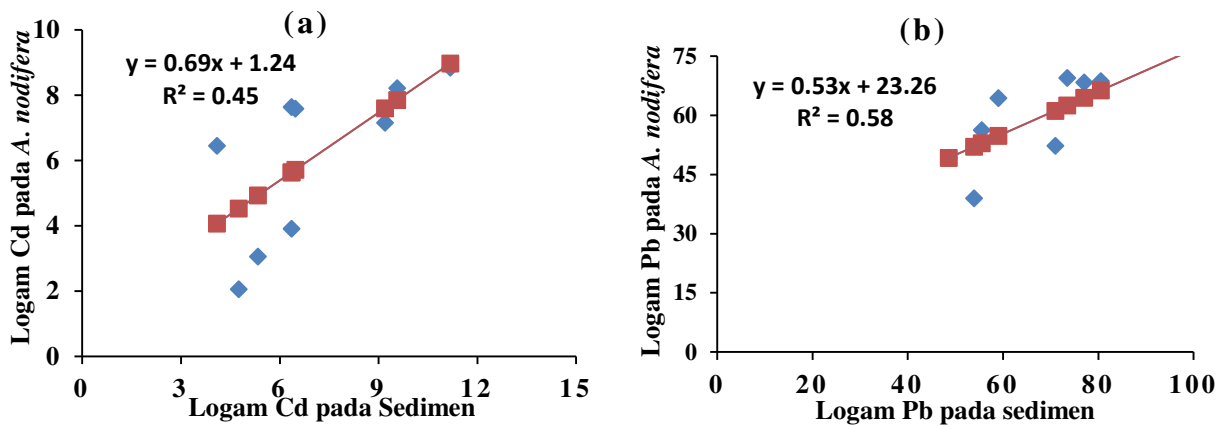
Gambar 7. Hasil analisis koresponden (CA) hubungan logam Cd dan Pb dengan bivalvia di 5 lokasi perairan Selat Madura bagian barat pada sumbu 1 (F1) dan sumbu 2 (F2).

Hasil analisis regresi linier (Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10) pada seluruh uji mendapatkan nilai *R Square* antara 0,4587 sampai 0,8307. Hasil ini menunjukkan bahwa variabel konsentrasi logam Cd dan Pb di sedimen mampu menerangkan atau memprediksi nilai variabel terikat (konsentrasi logam Cd dan Pb di bivalvia) sebesar 45 sampai 83 %. Nilai signifikansi berkisar 0,0001 sampai 0,045 (kurang dari 0,05). Hasil ini menunjukkan bahwa persamaan regresi linier ($y = a + bx$) sudah tepat dan dapat digunakan. Nilai uji *t* lebih kecil dari 0,05 yang berarti terdapat pengaruh signifikan dari variabel bebas terhadap variabel terikat.

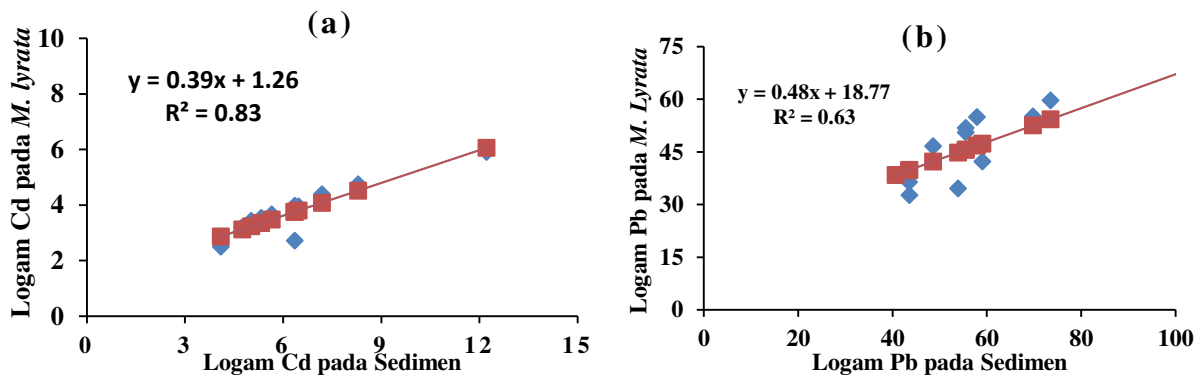
Nilai koefisien dari regresi antara logam Cd sedimen dengan Cd jenis *Anadara nodifera* sebesar 0,6914, pada jenis *Meretrix lyrata* sebesar 0,3928, dan pada jenis *Solen lamarckii* sebesar 0,2224. Nilai koefisien menginterpretasikan bahwa jika variabel *x*

naik satu satuan, maka variabel y naik sebesar nilai satuan koefisien. Artinya, jika Cd pada sedimen naik 1 mg/kg maka Cd pada *M. lyrata* naik sebesar 0,3928 mg/kg. Sedangkan konstanta sebesar 1,2608 satuan menjadi nilai variabel y ketika variabel $x = 0$. Interpretasi ini juga berlaku untuk masing-masing persamaan

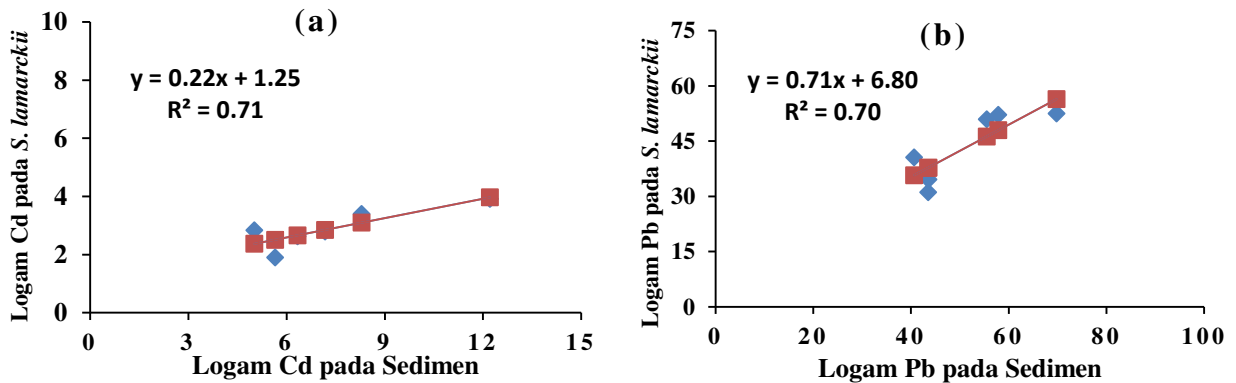
regresi antara logam Pb sedimen dan logam Pb pada ketiga jenis bivalvia. Nilai koefisien regresi antara konsentrasi logam Pb sedimen dan jenis *A. nodifera* sebesar 0,5346, jenis *M. lyrata* sebesar 0,4833, dan jenis *S. lamarckii* sebesar 0,7108.



Gambar 8. Regresi linier antara konsentrasi logam berat pada sedimen (x) dan bivalvia jenis *Anadara nodifera* (y); a) logam kadmium/ Cd, dan b) logam timbal/ Pb.



Gambar 9. Regresi linier antara konsentrasi logam berat pada sedimen (x) dan *Meretrix lyrata* (y); a) logam kadmium/ Cd, dan b) logam timbal/ Pb.



Gambar 10. Regresi linier antara konsentrasi logam berat pada sedimen (x) dan bivalvia jenis *Solen lamarckii* (y); a) logam kadmium/ Cd, dan b) logam timbal/ Pb.

3.2. Pembahasan

Konsentrasi logam Cd dan Pb di air cenderung rendah berdasarkan PP No. 82 Tahun 2001 dimana baku mutu Cd sebesar 0,01 mg/L dan Pb sebesar 0,03 mg/L. Hasil penelitian Nugraha (2009) menyebutkan bahwa konsentrasi logam Cd di perairan Socah dan Kwanyar berkisar antara 0,0001 – 0,018 mg/L, jika dibandingkan dengan hasil penelitian yang didapatkan menunjukkan bahwa konsentrasi logam Cd cenderung tidak terlalu jauh perbedaannya meskipun dilakukan pada waktu yang berbeda yaitu tahun 2009 dan 2016. Begitu juga dengan konsentrasi logam Pb, dimana nilainya berada pada kisaran 0,00001 - 0,00002 mg/L. Logam Pb cenderung lebih rendah daripada Cd di air, hal ini sama dengan yang didapatkan pada penelitian ini, dimana konsentrasi Pb berada di bawah deteksi limit untuk seluruh lokasi.

Beberapa wilayah lain di perairan Selat Madura seperti perairan Gresik, juga terindikasi mengandung cemaran logam berat Cd dan Pb yang tinggi, seperti hasil penelitian Lestari dan Budiyo (2013) pada daerah perairan Gresik, menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat Cd berkisar antara 0,08 sampai 3,05 mg/kg sedangkan Pb yaitu 1,74 – 12,7 mg/kg. Hasil penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa cemaran logam berat tersebar di sebagian besar wilayah perairan Selat Madura. Selain logam Cd dan Pb, konsentrasi logam Hg, Cu, dan Zn juga sangat tinggi di wilayah perairan Gresik dan sekitarnya (Lestari dan Budiyo, 2013).

Sebaran logam berat pada air dan sedimen di masing-masing stasiun tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Berdasarkan hasil uji Anova untuk logam Cd di air nilai *P-value* sebesar 0,19 atau lebih besar dari 0,05, pada sedimen sebesar 0,11, sedangkan untuk logam Pb di sedimen sebesar 0,27. Hasil ini menggambarkan bahwa konsentrasi Cd dan Pb masing-masing stasiun tidak berbeda nyata dan menunjukkan bahwa unsur logam berat Cd dan Pb di sepanjang pesisir Selat Madura tersebar secara merata. Apabila diurutkan konsentrasi Cd sedimen yang

tertinggi sampai terendah yaitu Kamal > Kenjeran > Labang > Socah > Lajing. Sementara lokasi dengan konsentrasi Pb yaitu Kamal > Lajing > Socah > Kenjeran > Labang. Secara keseluruhan konsentrasi Cd dan Pb yang tertinggi adalah di Kamal, hal ini kemungkinan disebabkan karena daerah Kamal berdekatan dengan muara Sungai Kalimas dan Teluk Lamong Surabaya yang merupakan muara dari beberapa sungai yang mengalir dari Kota Surabaya, selain itu daerah ini merupakan pusat aktivitas perkapalan.

Rendahnya konsentrasi logam berat dapat disebabkan oleh beberapa faktor fisik dan kimia. Berdasarkan hasil analisis PCA, salah satu faktor fisik yang memiliki korelasi kuat terhadap F1 yaitu arus (0,84). Arus di lokasi penelitian cukup tinggi (0,53 sampai 1,00 ms⁻¹), hal ini menyebabkan proses adveksi dan difusi menjadi lebih cepat dan efektif, sehingga pertukaran massa air yang mengandung bahan pencemar lebih cepat menyebar ke lautan lepas, arus sangat efektif sebagai media penyebaran dan pengenceran polutan dan bahan organik (Mukhtasor, 2007).

Nilai pH juga memiliki korelasi kuat (-0,76) terhadap F1, dimana rendahnya konsentrasi logam berat di seluruh lokasi berbanding terbalik dengan nilai pH yang cenderung cukup tinggi (7,9 sampai 8,4). Penelitian Putri (2015) menunjukkan hal yang sama, dimana kelarutan Pb di perairan cukup rendah terutama di daerah dengan nilai pH tinggi. Kelarutan Pb di perairan berkisar < 1 µg/L pada pH 8,5-11 (Weiner, 2008), pada pH > 8 kelarutan Pb berkisar 10 µg/L dan pada pH sekitar 6,5 kelarutannya > 100 µg/L (Manahan, 2001). Keadaan tersebut disebabkan adanya proses adsorpsi, absorpsi, dan desorpsi (Chester, 1990).

Akar ciri kumulatif pada sumbu F1 PCA juga memperlihatkan korelasi antara variabel C-Organik, kelarutan oksigen (DO), TSS, dan Salinitas. Sebaran bahan organik yang cukup rendah di sedimen (0,41 sampai 0,80 %) mengindikasikan rendahnya aktivitas bakteri aerobik dalam pemecahan bahan

organik. Hal ini menyebabkan kadar DO di lokasi penelitian cenderung stabil (5,12 sampai 6,62 mg/L) dan masih berada di atas baku mutu (>5 mg/L).

TSS yang cukup rendah (0,54 sampai 0,93 mg/L) juga memberikan pengaruh terhadap kondisi perairan di lokasi penelitian, dimana padatan tersuspensi yang rendah meningkatkan penetrasi cahaya sehingga akifitas fotosintesis, konsentrasi oksigen, dan produktivitas primer menjadi optimal. Proses fotosintesis yang optimal mampu meningkatkan DO dan secara bersamaan menurunkan CO₂, selanjutnya karbonat dan bikarbonat mengganti CO₂ yang hilang dan meningkatkan nilai pH.

Salinitas juga mempengaruhi tinggi rendahnya konsentrasi logam berat yang terlarut di perairan. Penelitian oleh Kusuma (2015) menunjukkan pola distribusi logam berat terlarut di perairan terhadap nilai salinitas untuk logam Pb, Cu dan Zn mengalami penurunan seiring bertambahnya nilai salinitas sedangkan logam Cd dan Ni mengalami peningkatan seiring bertambahnya nilai salinitas. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian, dimana konsentrasi Cd (0,006 sampai 0,009 mg/L) lebih tinggi dibandingkan Pb (<0,006 mg/L) yang terlarut di air.

Konsentrasi logam Cd dan Pb di dasar perairan (sedimen) jauh lebih tinggi dibandingkan di air dan melebihi ambang batas toleransi biota (0,01 mg/L), berdasarkan Kepmen LH No. 51 tahun 2004. Tingginya konsentrasi logam berat di sedimen dapat disebabkan oleh berbagai faktor, salah satunya adalah proses *sinking* (penenggelaman), logam berat yang masuk ke dalam perairan ukuran dan beratnya bertambah besar karena proses adsorpsi, kemudian jatuh dan mengendap di dasar perairan karena perbedaan massa jenis (Mukhtasor, 2007). Hasil penelitian Putri *et al.* (2015) dan Sany *et al.* (2011) menyebutkan bahwa konsentrasi logam berat di sedimen pada 2 musim berbeda tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, hal ini mengindikasikan bahwa logam berat terikat kuat pada sedimen dan menegaskan

fungsi sedimen sebagai reservoir bagi semua komponen pencemar termasuk logam berat.

Limbah yang mengandung banyak unsur kadmium umumnya berasal dari industri kendaraan, pigmen, peleburan logam, baterai, dan pestisida. Kandungan Cd di laut terbuka berkisar 0,01 - 0,05 mg/L, sedangkan di pantai dan pulau berkisar 0,05 - 1,0 mg/L (Mukhtasor, 2007). Penelitian Suwari (2010) menyebutkan bahwa terdapat 5 (lima) industri besar di daerah Surabaya dan sekitarnya yang menghasilkan limbah dominan berupa logam Cd, industri tersebut yaitu industri korek api dan industri keramik.

Sumber pencemar Pb berasal dari berbagai industri yang menggunakan timbal atau persenyawaannya sebagai bahan baku, penelitian Suwari (2010) menyebutkan bahwa terdapat 8 (delapan) industri besar di daerah Surabaya yang menghasilkan limbah dominan berupa logam Pb, diantaranya industri keramik, kawat, sepeda, porselen, dan industri mur dan baut. Logam berat Pb secara alami berasal dari proses pelapukan (*weathering*) tanah dan batuan, serta aktivitas vulkanik dalam berbagai bentuk senyawa. Intensitas kegiatan perkapalan seperti pelayaran dan aktivitas nelayan di daerah Selat Madura juga merupakan penyumbang keberadaan Pb di perairan. Aktivitas perkapalan yang menggunakan bahan bakar minyak menggunakan bahan tambahan seperti zat *tetraetyl* yang mengandung Pb untuk meningkatkan mutu bahan bakar khususnya bensin sebagai anti *knocking* (anti letup), pencegah korosi, anti oksidan, diaktifator logam, anti pengembunan dan zat pewarna (Putri, 2015).

Pencemaran logam Cd dan Pb juga dapat berasal dari aktivitas pertanian, dimana daerah Kabupaten Bangkalan Madura merupakan lahan pertanian dengan luas lahan pertanian padi sebesar 43,544 Ha dan pertanian jagung sebesar 59,282 Ha (BPS Kab. Bangkalan, 2013). Obat-obat pertanian seperti kelompok fungisida biasanya mengandung logam Cd, Fe, Mn, dan Hg, sementara kelompok insektisida biasanya mengandung Pb, Cl, dan Mg (Sastrawijaya, 2000). Pupuk

fosfat dan nitrat juga terindikasi mengandung logam Pb sebesar 7 sampai 225 mg/kg (Alloway, 1995). Penelitian Khatimah (2006) menyebutkan bahwa kandungan Cd dalam pupuk pertanian sebesar 0,56 – 1,42 ppm, sedangkan Pb sebesar 8,50-22,81 ppm.

Tiga jenis bivalvia yang digunakan dalam penelitian ini (*Anadara nodifera*, *Meretrix lyrata*, dan *Solen lamarckii*) tidak dapat ditemukan secara bersamaan dalam satu lokasi pengambilan sampel (sub stasiun sampling). Hal tersebut disebabkan karena setiap jenis bivalvia memiliki karakteristik habitat yang berbeda. Hasil penelitian Akhrianti *et al.* (2014) menunjukkan bahwa distribusi spasial dan preferensi habitat bivalvia sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel substrat, C-Organik, arus, oksigen terlarut, TSS, suhu dan salinitas.

Kandungan logam Pb dan Cd pada ketiga jenis bivalvia yang diteliti di seluruh lokasi pengamatan sudah tidak layak untuk dijadikan sebagai bahan pangan dalam jumlah asupan tertentu, sesuai dengan beberapa standar baku mutu (SNI 2009), yang menunjukkan bahwa konsentrasi logam Cd dan Pb yang terkandung dalam tiga jenis kerang yang ditemukan telah melebihi ambang batas. Batas maksimum cemaran logam berat Pb dan Cd pada beberapa jenis *mollusca* termasuk bivalvia dalam pangan menurut SNI (2009) yaitu 1,0 mg/kg untuk Cd dan 1,5 mg/kg untuk Pb. Dibandingkan dengan hasil penelitian Sumiyani *et al.* (2006) akumulasi logam Cd dan Pb pada bivalvia jenis *Anadara antiquata* (Cd sebesar 1,1 mg/kg dan Pb sebesar 29,6 mg/kg), pada jenis *Meretrix meretrix* (Cd sebesar 0,25 mg/kg dan Pb sebesar 23,4 mg/kg) yang dilakukan di daerah Kenjeran, hasil penelitian tersebut tidak terlalu berbeda dengan konsentrasi logam Cd dan Pb yang didapatkan (melebihi baku mutu) dalam penelitian ini, hal ini juga menunjukkan bahwa akumulasi logam berat pada bivalvia telah berlangsung dalam kurun waktu yang cukup lama di daerah ini.

Secara berurutan, konsentrasi logam pada kerang yang paling tinggi adalah

Anadara nodifera > *Meretrix lyrata* > *Solen lamarckii*. Konsentrasi logam berat pada tiga bivalvia berbeda, mengindikasikan bahwa setiap spesies memiliki daya akumulasi logam berat yang berbeda, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Azlin *et al.* (2014) dan Takarina (2014) tentang perbandingan bioakumulasi logam pada beberapa jenis bivalvia.

Hasil analisis regresi linier menunjukkan persamaan dengan nilai koefisien positif yang berarti konsentrasi logam Cd dan Pb pada sedimen dan kerang berbanding lurus, dimana semakin tinggi konsentrasi logam Cd dan Pb sedimen maka kandungan logam pada kerang juga akan meningkat. Nilai *R Square* tertinggi ada pada persamaan regresi *Meretrix lyrata* sebesar 0,8307, yang berarti bahwa 83 % variable konsentrasi logam berat di sedimen mampu memprediksi konsentrasinya pada jenis kerang *Meretrix lyrata*. Hasil ini, menunjukkan bahwa bioakumulasi logam berat pada bivalvia terindikasi lebih banyak dipengaruhi oleh konsentrasi logam berat pada sedimen.

IV. KESIMPULAN

Konsentrasi logam berat Cd di kolom perairan pesisir Selat Madura bagian barat berkisar antara 0,006 sampai 0,009 mg/L, sedangkan logam Pb seluruhnya berada di bawah deteksi limit analisis (<0,006 mg/L). Konsentrasi logam berat di dasar perairan (sedimen) nilainya jauh lebih tinggi, konsentrasi Cd berkisar antara 5,64 sampai 8,37 mg/kg, sedangkan Pb berkisar antara 47,51 sampai 76,16 mg/kg. Sebaran logam Cd dan Pb pada 5 lokasi pengamatan tidak berbeda signifikan, yang berarti bahwa sebarannya cenderung merata di sepanjang perairan pesisir Selat Madura bagian barat.

Kandungan logam Cd pada jenis kerang *Anadara nodifera* adalah (3,01 – 8,07 mg/kg), *Meretrix lyrata* (3,06 – 4,33 mg/kg), dan *Solen lamarckii* (2,88 – 2,94 mg/kg). Kandungan logam Pb pada jenis *A. nodifera* adalah (57,63 sampai 63,11 mg/kg), *M. lyrata*

(40,27 – 53,09 mg/kg), dan *S. lamarckii* (38,86 – 48,39 mg/kg). Kandungan logam Cd dan Pb pada tiga jenis kerang telah melebihi batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan (Cd sebesar 1,0 mg/kg dan Pb sebesar 1,5 mg/kg).

DAFTAR PUSTAKA

- Abbot, R.T. and S.P. Dance. 2000. Compendium of seashells. 2th ed. Odyssey Publishing. California. 424p.
- Akhrianti, I., D.G. Bengen, dan I. Setyobudiandi. 2014. Distribusi spasial dan preferensi habitat bivalvia di pesisir perairan kecamatan Simpang Pesak kabupaten Belitung Timur. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 6(1):171-185.
- American Public Health Association (APHA). 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. APHA. Washington. 541p.
- Alloway, B.J. 1995. Heavy metal in soil. John Wiley and Sons. New York. 339p.
- Amiard, J.C., S. Barka, J. Pellerin, and R.S. Rainbow. 2006. Metallothioneins in aquatic invertebrates: Their role in metal detoxification and their use as biomarkers. *J. Aquatic Toxicology*, 7(6):160–202.
- Azlin, N., N. Ariffin, S.M. Yunus, N.A.A. Hamzan, N.M. Nasir, N.A. Aziz, W.N.M. Musa, and Z. Ismail. 2014. Assessment of heavy metal accumulation in selected bivalve species from Kuala Selangor Malaysia. *J. Advances in Environmental Biology*, 8(18):8-14.
- Bengen, D.G. 2000. Teknik pengambilan contoh dan analisis data biofisik sumberdaya pesisir. IPB Press. Bogor. 88hlm.
- Badan Pusat Statistik Bangkalan (BPS). 2017. Lahan pertanian kabupaten Bangkalan. [Http://bangkalan.kab.bps.go.id](http://bangkalan.kab.bps.go.id). [Retrieved on 4 June 2016].
- Campbell, P.G.C. 2006. Cadmium - a priority pollutant. *J. Env. Chem.*, 3(3):387–388.
- Chester, R. 1990. Marine geochemistry. Unwin Hyman Ltd. London. 681p.
- Darmono. 2006. Lingkungan hidup dan pencemaran. Universitas Indonesia Press. Jakarta. 179hlm.
- Dharma, B. 1988. Siput dan kerang Indonesia. PT. Sarana Graha. Jakarta. 112p.
- Draszawka, B., and Bolzan. 2014. Effect of heavy metals on living organisms. *J. World Sci. News*, 5(4):26-34
- Effendi, E., Y. Wardiatno, M. Kawaroe, Mursalin, and D.F. Lestari. 2017. Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metal on surface sediment in west part of Java Sea. *J. Earth and Envir. Sci.*, 54:1-10.
- Moselhy, K.M., and M.H. Yassien. 2005. Accumulation patterns of heavy metals in Venus clams, *Paphia undulata* (Born, 1780) and *Grafiarium pectinatum* (Linnaeus, 1785), from Lake Timsah, Suez Canal, Egypt. *Egyptian J. Aqu. Res.*, 31(1):13-28.
- Fauziah, A.R., B.S. Rahardja, and Y. Cahyoko. 2012. Korelasi ukuran kerang darah (*Anadara granosa*) dengan konsentrasi logam berat Merkuri (Hg) di muara Sungai Ketingan, Sidoarjo Jawa Timur. *J. Marine and Coastal Sci.*, 1(1):34–44.
- Fujii, T. 2007. Spatial patterns of benthic macrofauna in relation to environmental variables in an intertidal habitat in the Humber estuary, UK: Developing a tool for estuarine shoreline management. *J. Est. Coas. Shelf Sci.*, 75(7):101-119.
- Govind P. and S. Madhuri. 2014. Heavy metals causing toxicity in animals and fishes. *J. Ani. Vet. Fish. Sci.*, 2(2):17-23.
- Gray, L.J.S. and M. Elliot. 2009. Ecology of marine sediments, from science to management. 2th ed. Oxford University Press. London. 225p.

- Jakfar, Agustono, dan A. Manan. 2014. Deteksi logam Timbal (Pb) pada ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) di sepanjang Sungai Kalimas Surabaya. *J. Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 6(1):43-51.
- Järup, L. 2003. Hazards of heavy metal contamination. *British Med. Bull.*, 6(8):167-182.
- Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup (KMNLH). 2004. Pedoman penetapan baku mutu lingkungan, keputusan menteri negara lingkungan hidup: Kep-51/MENEG LH/2004. Sekretariat Negara. Jakarta. 10hlm.
- Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup (KMNLH). 2014. Peraturan menteri lingkungan hidup republik indonesia nomor 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah. Sekretariat Negara. Jakarta. 85hlm.
- Khatimah, H. 2006. Perubahan konsentrasi timbal dan kadmium akibat perlakuan pupuk organik dalam sistem budi daya sayuran organik. Tesis. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. 93hlm.
- Kusuma, A.H. 2015. Variabilitas senyawa logam berat (Pb, Cd, Cu, Ni dan Zn) terlarut dan sedimen di perairan Teluk Jakarta. Tesis. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. 95hlm.
- Lestari, dan F. Budiyanto. 2013. Konsentrasi Hg, Cd, Cu, Pb, dan Zn dalam sedimen di perairan Gresik. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 5(1):182-191.
- Manahan, S.E. 2001. Water pollution, in fundamentals of environmental chemistry. 2th ed. CRC Lewis Publisher Press. Florida. 1003p.
- Masduqi, A. and E. Apriliani. 2008. Estimation of Surabaya river water quality using Kalman filter algorithm. *J. Tech. Sci.*, 19(3):87-91.
- Moselhy, K.M. and Yassien MH. 2005. Accumulation patterns of heavy metals in Venus clams, *Paphia undulata* (Born, 1780) and *Graffarium pectinatum* (Linnaeus, 1785), from Lake Timsah, Suez Canal, Egypt. *Egyptian J. Aqu. Res.*, 31(1):13-28.
- Mukhtasor. 2007. Pencemaran pesisir dan laut. Pradnya Paramita. Jakarta. 147hlm.
- Neff, J.M. 2002. Bioaccumulation in marine organisms: effect of contaminant from oil well produced water. Elsevier. Amsterdam. 468p.
- Nugraha, W.A. 2009. Kandungan logam berat pada air dan sedimen di perairan socah dan kwanyar kabupaten bangkalan. *J. Kelautan*, 2(2):158-164.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PPRI). 2001. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air. Sekretariat Negara. Jakarta. 67hlm.
- Putri, W.A.E, D.G. Bengen, T. Pratono, dan E. Riani. 2015. Konsentrasi logam berat (Cu dan Pb) di Sungai Musi Bagian Hilir. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 7(2):453-463.
- Poutiers, J.M. 1998. Bivalves: introduction to tropical fish stock assessment. FAO Fisheries Department. Rome.152p.
- Raffaelli, D. and S. Hawkins. 1999. Intertidal ecology. 2th ed. Kluwer Academic Publishers. London. 356p.
- Rankin, W.J. 2011. Minerals, metals and sustainability: meeting future material needs. CSIRO. Victoria. 419p.
- Sany, B.T., A.H. Sulaiman, G.H. Monazami, and A. Salleh. 2011. Assessment of sediment quality according to heavy metal status in the West Port of Malaysia. *J. Biol. Biomol. Agri. Food Biotech. Eng.*, 5(2):4-8.
- Sastrawijaya, W. 2001. Dampak pengolahan limbah cair PT. Pupuk Sriwidjaja terhadap kualitas air Sungai Musi Kota Palembang. Tesis. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. 91hlm.

- Soegianto, A., N. Moehammadi, B. Irawan, M. Affandi, and Hamami. 2010. Mercury concentrations in edible species harvested from Gresik coast, Indonesia and its health risk assessment. *Cahiers de Biologie Marine*, 51 :1-8
- Suwari. 2010. Model pengendalian pencemaran air pada wilayah kali surabaya. Tesis. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. 293hlm.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2004. Standar nasional Indonesia nomor 06-6989.3-2004 tentang cara uji padatan tersuspensi total (TSS) secara Gravitometri. Badan Standar Nasional. Jakarta. 10hlm.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2009. Standar nasional Indonesia nomor 7387.2009 tentang batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan. Jakarta. Badan Standar Nasional. Jakarta. 29hlm.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2009. Standar nasional Indonesia nomor 7387.2009 tentang batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan. Badan Standar Nasional. Jakarta. 29hlm.
- Sumiyani, R., S. Soediman, dan A. Moesriati. 2006. Kadar logam berat biota pantai Kenjeran Surabaya dibandingkan biota dari taman nasional Baluran Pagerungan Madura. Simposium Nasional ke-3, hasil penelitian dan pengembangan bidang kesehatan, Jakarta, 30 Nopember – 1 Desember 2006. Hlm.; 21-32.
- Taftazani, A. 2007. Distribusi konsentrasi logam berat Hg dan Cr pada sampel lingkungan perairan Surabaya. Puslitbang Batan. Yogyakarta. 45hlm.
- Takarina, N.D. 2014. Keterkaitan antara taurina (Tau), glisina (Gli), rasio Tau/Gli, dan bioavailabilitas dengan bioakumulasi logam berat (Cd, Pb, Cu, Zn) pada jenis kerang *Anadara* spp. (kasus di perairan muara Sungai Garapan, Cibungur dan Ciliman, Provinsi Banten). Disertasi. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. 103hlm.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). 2000. Bioaccumulation testing and interpretation for the purpose of sediment quality assesment, status and needs, chemical-specific, summary tables. USEPA Bioaccumulation Analysis Workgroup. Washington. 801p.

Diterima : 18 Juli 2017

Direview : 02 Agustus 2017

Disetujui : 30 November 2017

