

Tersedia online di: <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/jra>

DISTRIBUSI POLUTAN LOGAM BERAT DI PERAIRAN PANTAI YANG DIGUNAKAN UNTUK MEMASOK TAMBAK UDANG TERDEKAT DAN MITIGASINYA DI KECAMATAN JABON PROVINSI JAWA TIMUR

Akhmad Mustafa^{*)#}, Hasnawi^{*)}, Tarunamulia^{*)}, Muhammad Banda Selamat^{**)}, dan Muhammad Farid Samawi^{**)}

^{*)} Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau dan Penyuluhan Perikanan
Jl. Makmur Dg. Sitakka No. 129, Maros 90512, Sulawesi Selatan

^{**)} Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea, Makassar 90245, Sulawesi Selatan

(Naskah diterima: 19 Maret 2019; Revisi final: 1 Agustus 2019; Disetujui publikasi: 1 Agustus 2019)

ABSTRAK

Budidaya tambak merupakan andalan perikanan di Kabupaten Sidoarjo Provinsi Jawa Timur, namun terdapat berbagai kegiatan yang berpotensi menghasilkan bahan pencemar berupa logam berat di kawasan pesisir yang menjadi sumber air bagi budidaya tambak. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi dan distribusi unsur logam berat dalam air dan menyusun rencana mitigasi potensial sehubungan dengan keberlanjutan budidaya tambak yang ada di daerah tersebut. Penelitian dilaksanakan di kawasan pesisir Kecamatan Jabon Kabupaten Sidoarjo dengan mengambil contoh air pada 12 stasiun pengambilan contoh dan selanjutnya dianalisis di laboratorium untuk logam berat As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Pb, dan Zn. Data dari hasil analisis logam berat dianalisis secara deskriptif dan selanjutnya dengan metode *Storage and Retrieval* (Storet) digunakan untuk menentukan status mutu air dari logam berat untuk biota laut. Hasil penelitian yang dilakukan pada tahun 2015 ini menunjukkan bahwa kisaran konsentrasi Co, Hg, Mn, Mo, Pb, dan Zn berturut-turut < 0,001-0,072; < 0,001-0,045; 0,02-0,18; < 0,001-0,011; 0,309-0,835; dan 0,01-0,04 mg/L. Hasil penentuan status mutu air menunjukkan bahwa air di kawasan pesisir Kecamatan Jabon tergolong tercemar berat dari logam berat Hg dan Pb untuk biota laut. Disarankan agar kegiatan yang dapat menjadi sumber pencemar logam berat terutama Hg dan Pb di kawasan pesisir Kecamatan Jabon agar dikurangi dan atau mengaplikasikan Instalasi Pengolahan Air Limbah dan merehabilitasi hutan mangrove untuk menjadi bioakumulator logam berat, serta melakukan pengelolaan berkelanjutan yang meliputi pemantauan, pembinaan, dan penegakan hukum sehingga dapat menjadi sumber air untuk budidaya tambak yang produktif dan berkelanjutan.

KATA KUNCI: logam berat; baku mutu air; tambak; mitigasi; Kabupaten Sidoarjo

ABSTRACT: *Distribution of heavy metal pollutants in coastal waters used to supply nearby shrimp ponds and its mitigation in Jabon Subdistrict, East Java Province. By: Akhmad Mustafa, Hasnawi, Tarunamulia, Muhammad Banda Selamat, and Muhammad Farid Samawi*

Brackishwater aquaculture is one of the major aquaculture activities in Sidoarjo District, East Java Province. Unfortunately, its sustainability is currently threatened by the increased level of heavy metal pollutants in the coastal waters used as the major water source for the fish farming activity. The objective of this study was to determine the concentrations and distribution of heavy metal elements in the coastal water and devised potential mitigation plans in relation to the sustainability of existing brackishwater in the area. Water samples were collected from 12 sampling stations on the coastal waters of Jabon Subdistrict, Sidoarjo District. Laboratory analyses were performed to identify and measure the level of the heavy metal elements including As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Pb, and Zn. The results of the analysis were descriptively discussed. The Storage and Retrieval (Storet) method was used to determine the quality status of the coastal water based on heavy metals standard limits for marine biota. The results of this 2015 research showed that

Korespondensi: Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau dan Penyuluhan Perikanan. Jl. Makmur Dg. Sitakka No. 129, Maros 90512, Sulawesi Selatan, Indonesia.
Tel. + 62 411 371544
E-mail: akhmadmustafa@yahoo.com

the concentrations of Co, Hg, Mn, Mo, Pb, and Zn were < 0.001-0.072; < 0.001-0.045; 0.02-0.18; < 0.001-0.011; 0.309-0.835; and 0.01-0.04mg/L, respectively. These heavy metal levels showed that water quality in the coastal area of Jabon Subdistrict was heavily polluted, particularly by Hg and Pb for marine biota. This research recommended that activities in the coastal area suspected to be the sources of heavy metals contaminants, especially Hg and Pb, have to be controlled or reduced. The application of wastewater treatment plants, rehabilitating mangrove forests as heavy metal bio accumulators as well as the implementation of sustainable water management procedures through monitoring, guidance, and law enforcement are highly recommended to ensure the long term sustainability of brackishwater aquaculture activities in the study area.

KEYWORDS: *heavy metals; water quality standards; pond; mitigation; Sidoarjo District*

PENDAHULUAN

Tambak yang cukup luas di Indonesia dijumpai di Provinsi Jawa Timur yang luasnya mencapai 51.778 ha atau 7,68% dari luas tambak Indonesia, 674.135 ha (BPS, 2017b). Produksi tertinggi budidaya tambak di Provinsi Jawa Timur dijumpai di Kabupaten Sidoarjo yaitu 74.896,80 ton dari produksi total tambak Jawa Timur, 214.014,96 ton (BPS, 2017c). Komoditas andalan produksi budidaya tambak Kabupaten Sidoarjo adalah ikan bandeng (*Chanos chanos*) dan udang terutama udang windu (*Penaeus monodon*), dan udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). Sentra produksi budidaya tambak Kabupaten Sidoarjo tersebar di delapan kecamatan yang berada di muara sungai atau delta yang sangat subur lahannya. Potensi pengembangan budidaya tambak di Kabupaten Sidoarjo sangat besar yaitu seluas 15.513,41 ha yang memberikan kesejahteraan bagi sekitar 3.257 pembudidaya tambak dan sekitar 3.246 pendega tambak (Hijriani, 2018).

Komoditas yang dibudidayakan di tambak termasuk tambak di Kabupaten Sidoarjo merupakan komoditas yang berbasis lahan, yaitu komoditas yang tumbuh dan hidup, serta bereproduksi pada kondisi lahan tertentu. Salah satu aspek lahan, selain topografi, kualitas tanah, vegetasi, dan iklim yang sangat berpengaruh dalam budidaya tambak adalah kualitas air sebab komoditas yang dibudidayakan dalam tambak hidup dalam badan air. Oleh karena itu, kualitas sumber air untuk budidaya tambak menjadi penting untuk ditelaah di kawasan pesisir.

Kawasan pesisir merupakan lingkungan yang dinamis, unik, dan rentan terhadap perubahan lingkungan. Berbagai macam aktivitas manusia yang dilakukan baik di daratan maupun di lautan mendorong terjadinya perubahan lingkungan di kawasan pesisir. Salah satu aktivitas manusia yang berpengaruh adalah kegiatan industri yang seringkali menghasilkan buangan atau limbah yang dialirkan melalui sungai yang akhirnya tertampung di kawasan pesisir. Pada tahun 2017 terdapat 215 industri besar (pekerja > 100 orang) dan 416 industri sedang (pekerja 22-99 orang) di Kabupaten Sidoarjo dengan berbagai macam produk, seperti makanan, minuman, tembakau, tekstil, alas

kaki, barang dari kayu, kertas, pupuk, kimia, karet, sampai barang dari logam dan mesin dihasilkan dalam skala besar (BPS, 2017a). Banyaknya kegiatan industri di Kabupaten Sidoarjo telah berdampak besar terhadap kondisi air di sungai dan kawasan pesisir, terutama dari aspek kualitas air (DLH, 2014). Sumber limbah lain yang dapat tertampung di kawasan pesisir Kabupaten Sidoarjo adalah limbah lumpur Sidoarjo dan diperkirakan sebanyak 40 juta m³ setiap tahunnya dibuang ke Sungai Porong dan Sungai Aloo (BPLS, 2015). Limbah pada awalnya akan diencerkan dan kekuatan pencemarannya secara perlahan-lahan akan diperlemah sehingga menjadi tidak berbahaya, namun bila limbah tersebut semakin banyak dan melampaui daya dukung lingkungan maka limbah tersebut akan menumpuk yang menyebabkan pencemaran serius terhadap lingkungan pesisir. Limbah dari kegiatan industri dan lumpur Sidoarjo tersebut, serta kegiatan rumah tangga (antropogenik) dan pertanian yang dapat memengaruhi kegiatan budidaya tambak yang memanfaatkan sumber air dari kawasan pesisir Kabupaten Sidoarjo.

Salah satu limbah bahan pencemar yang banyak menarik perhatian adalah logam berat. Pencemaran logam berat merupakan salah satu faktor penyebab timbulnya isu perubahan lingkungan terutama dalam hal pencemaran lingkungan oleh logam berat beracun. Logam berat menjadi polutan berbahaya karena tidak dapat terdegradasi dan karenanya terakumulasi di lingkungan, berpotensi untuk mencemari rantai makanan (Paz-Ferreiro *et al.*, 2014), dan cenderung menjadi kontaminan bagi organisme akuatik (Asante *et al.*, 2014; Riani *et al.*, 2018). Logam berat (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Pb, dan Zn) merupakan salah satu polutan penting di lingkungan alami karena toksisitas, persistensi, dan bioakumulasinya (Sthanadar *et al.*, 2015; Guangming *et al.*, 2017). Polusi logam berat dalam sistem perairan berada pada tingkat yang mengkhawatirkan dan telah menjadi masalah penting di seluruh dunia (Favour & Obi, 2014; Olusola & Festus, 2015), terutama di negara-negara sedang berkembang seperti Indonesia.

Di Indonesia, Menteri Negara Lingkungan Hidup (MNLH) telah menerbitkan Keputusan Menteri Negara

Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 Tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air (MNLH, 2003). Agar status mutu air dari logam berat di kawasan pesisir Kabupaten Sidoarjo diketahui maka penentuan status mutu air menjadi penting dilakukan. Penentuan status mutu air merupakan salah satu langkah awal proses pemantauan dan pencegahan terhadap penurunan kualitas air di suatu perairan (Suwari *et al.*, 2010). Logam berat menjadi faktor penting dalam penentuan status mutu suatu perairan (Yayu & Permanawati, 2015). Telah banyak hasil penelitian terbaru (10 tahun terakhir) dilaporkan tentang logam berat di perairan Kabupaten Sidoarjo dan sekitarnya (Parawita *et al.*, 2009; Samsundari & Perwira, 2011; Harlyan & Sari, 2015; Mahalina *et al.*, 2016; Adiwiyono, 2017; Kristianto *et al.*, 2017; Ernawati *et al.*, 2018); tetapi sangat terbatas pada jenis logam berat tertentu dan tanpa ada informasi mengenai status mutu air dari logam berat tersebut.

Oleh karena itu, informasi awal tentang cemaran logam berat sebagai pencemar di kawasan pesisir Kabupaten Sidoarjo yang digunakan sebagai sumber air untuk budidaya tambak, terutama tambak yang mengambil langsung dari perairan kawasan pesisir perlu diketahui. Pengendalian pencemaran lingkungan oleh logam berat merupakan program keamanan pangan nasional yang harus dilaksanakan, terlebih lagi memasuki era perdagangan bebas. Peningkatan kualitas produk perikanan budidaya (akuakultur) lebih diarahkan untuk memberikan jaminan keamanan pangan (*food safety*) mulai bahan baku hingga hasil akuakultur yang bebas dari bahan cemaran termasuk logam berat sesuai persyaratan pasar seperti disebutkan pada Cara Budidaya Ikan yang Baik. Secara umum, logam berat yang ada pada bahan makanan berbahaya bagi kesehatan dan logam berat yang ada pada bahan makanan dari laut dan tambak pada umumnya berasal dari perairan di kawasan pesisir. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi dan distribusi unsur logam berat dalam air dan menyusun rencana mitigasi potensial sehubungan dengan keberlanjutan budidaya tambak yang ada di Kecamatan Jabon Kabupaten Sidoarjo Provinsi Jawa Timur.

BAHAN DAN METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei. Survei di perairan Selat Madura yang termasuk dalam Kecamatan Jabon Kabupaten Sidoarjo Provinsi Jawa Timur dilaksanakan bulan April dan Mei 2015 yang termasuk musim peralihan yaitu peralihan dari musim hujan ke musim kemarau. Pelaksanaan survei pada waktu musim peralihan ini juga telah

dilakukan sebelumnya oleh Parawita *et al.* (2009) dan Samsundari & Perwira (2011) di kawasan pesisir Kabupaten Sidoarjo. Sebanyak 12 stasiun pengambilan contoh air untuk logam berat ditentukan seperti terlihat pada Gambar 1 dengan jarak terdekat dari garis pantai sekitar 0,6 km dan jarak terjauh sekitar 3,1 km. Posisi stasiun diketahui dengan menggunakan *global positioning system* (GPS). Lokasi survei di Kecamatan Jabon dipilih karena telah ditetapkan dalam Subsatuan Wilayah Pengembangan V dengan fungsi utama kawasan akuakultur dan pariwisata dalam Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Sidoarjo (Perda Kabupaten Sidoarjo, 2009).

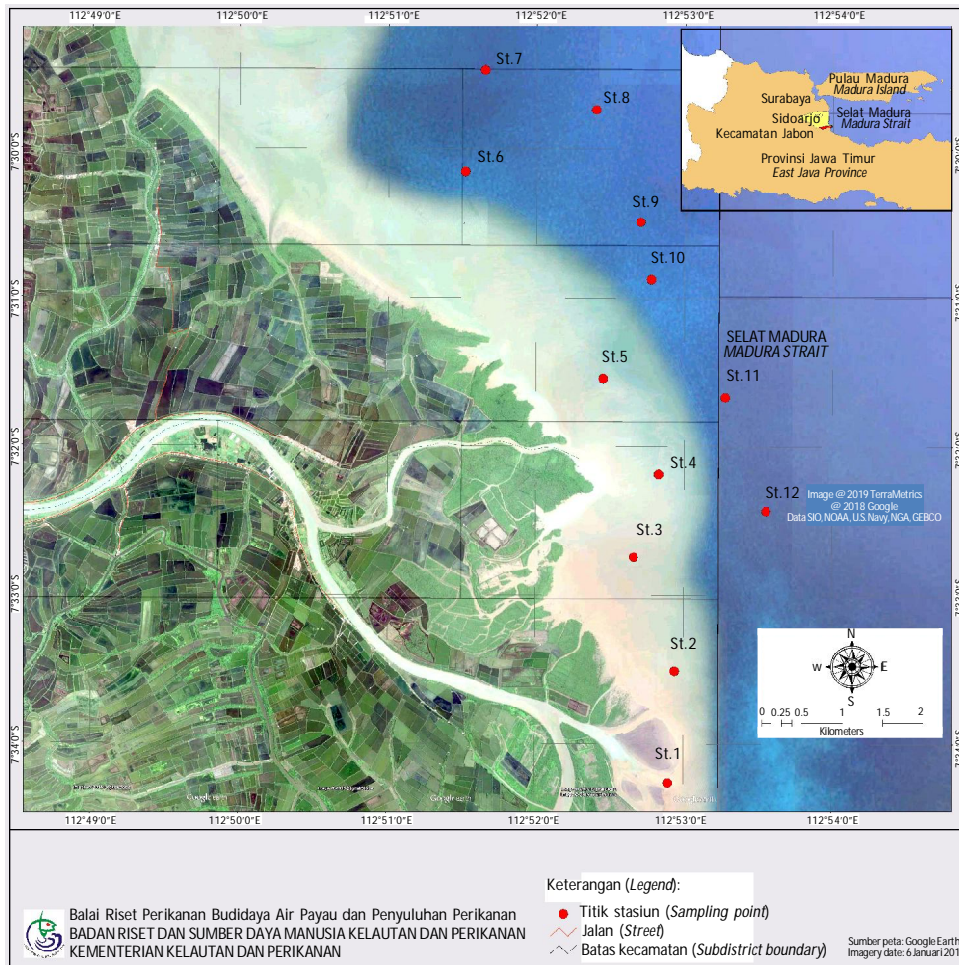
Pengumpulan Data Lapangan

Pengambilan contoh air dilakukan dengan menggunakan *Kemmerer Water Sampler* yang dikompositkan berdasarkan kedalaman perairan, yaitu permukaan (sekitar 0,2 x kedalaman perairan dari permukaan air) dan dasar perairan (sekitar 0,8 x kedalaman perairan dari permukaan air) sesuai petunjuk Hadi (2005). Kedalaman perairan ditentukan dengan menggunakan GPS Map Garmin 585. Pengambilan contoh air dilakukan pada saat pasang dengan asumsi bahwa pengisian air tambak dilakukan pada saat pasang terutama pada tambak yang dikelola dengan teknologi rendah, seperti tradisional dan tradisional plus yang banyak dijumpai di sekitar lokasi survei. Contoh air diambil sekitar 1 L pada tiap stasiun. Contoh air disimpan dalam botol polietilen dan diawetkan dengan asam nitrat (HNO_3) 50% hingga pH mencapai 1,5-2,0 dan disimpan dalam kotak yang berisi es (suhu sekitar 4°C) (APHA-AWWA-WEF, 2012). Contoh air kemudian dibawa ke laboratorium untuk dianalisis. Untuk memperoleh data pasang surut (pasut) dilakukan pengamatan pasut selama 15 piantan (sekitar 15 hari) dengan interval satu jam dengan menggunakan palem atau rambu pengamat pasut yang pengukurannya dilakukan di pulau buatan yaitu Pulau Lusi (Lumpur Sidoarjo) Kecamatan Jabon Kabupaten Sidoarjo.

Persiapan dan Analisis Logam Berat

Prosedur persiapan dan analisis logam berat pada contoh air mengikuti petunjuk APHA-AWWA-WEF (2012). Contoh air disaring dengan kertas saring Whatman Nomor 41. Besarnya konsentrasi logam berat dalam air diukur dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA) atau *atomic absorption spectrophotometry* (AAS) varian Spectra AA 50.

Logam berat yang dianalisis dalam air adalah arsenik (As), kadmium (Cd), kobalt (Co), kromium (Cr), tembaga (Cu), merkuri (Hg), mangan (Mn), molibdenum (Mo), timbal (Pb), dan seng (Zn). Analisis



Gambar 1. Stasiun pengambilan contoh air untuk logam berat di kawasan pesisir Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo, Provinsi Jawa Timur.

Figure 1. Stations of water sampling for heavy metals in coastal area of Jabon Subdistrict, Sidoarjo District, East Java Province.

logam berat dalam air dilakukan di Instalasi Laboratorium Tanah, Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sulawesi Selatan di Maros. Seluruh analisis logam berat diselesaikan sebelum lima minggu setelah pengambilan contoh air sesuai petunjuk APHA-AWWA-WEF (2012).

Analisis Data

Data dari hasil analisis logam berat dianalisis secara deskriptif untuk mendapatkan gambaran nilai minimum, maksimum, dan rata-rata dari data setiap logam berat. Status mutu air ditentukan dengan metode *Storage and Retrieval* (Storet) yang dikembangkan oleh The United States Environmental Protection Agency (USEPA) (2002) dalam MNLH (2003). Hasil analisis tersebut dievaluasi dengan membandingkan baku mutu air laut dari Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut (KLH, 2004) untuk biota laut. Penentuan skor

mengikuti pendapat Canter (1982), yaitu didasarkan pada jumlah contoh dan didasarkan hanya pada peubah kimia. Penghitungan skor tidak dilakukan terhadap Co, Mn, dan Mo yang tidak ada baku mutunya sesuai petunjuk MNLH (2003). Status mutu air diklasifikasikan dalam empat kelas, yaitu (1) kelas A: baik sekali, skor = 0: memenuhi baku mutu; (2) kelas B: baik, skor = -1 sampai dengan -10: tercemar ringan; (3) kelas C: sedang, skor = -11 sampai dengan -30: tercemar sedang; dan (4) kelas D: buruk, skor \leq -31: tercemar berat.

HASIL DAN BAHASAN

Konsentrasi Logam Berat

Setelah dilakukan analisis logam berat dalam air, dari 10 jenis logam berat dalam air dari kawasan pesisir Kecamatan Jabon yang dianalisis ternyata didapatkan enam jenis logam berat yang terdeteksi, yaitu Co,

Hg, Mn, Mo, Pb, dan Zn; dan ada empat jenis logam berat yang hasilnya tidak terdeteksi atau konsentrasinya < 0,001 mg/L, yaitu As, Cd, Cr, dan Cu (Tabel 1).

Co merupakan logam berat yang juga merupakan nutrisi esensial untuk ikan dan organisme lainnya. Dalam hal ini, keberadaannya dalam jumlah sedikit sangat diperlukan makhluk hidup termasuk ikan dan merupakan bagian dari vitamin B12 (Cyraniak & Bolzan, 2014). Co terdeteksi di enam stasiun dari 12 stasiun pengambilan contoh air di kawasan pesisir Kecamatan Jabon (Tabel 1). Konsentrasi Co di kawasan pesisir Kecamatan Jabon dari tidak terdeteksi (< 0,001 mg/L) sampai 0,072 mg/L. Keberadaan Co di perairan dapat berasal dari limbah industri cat, kimia, elektronik, elektroplating (proses pelapisan dengan logam melalui arus listrik), baterai, dan petroleum (Suharto, 2011). Industri yang menghasilkan tekstil, pupuk, kimia, logam, dan mesin yang menghasilkan limbah Co tersebut dijumpai di Kabupaten Sidoarjo sehingga diduga menjadi sumber keberadaan Co di kawasan pesisir Kecamatan Jabon. Belum ditetapkan baku mutu Co dalam KLH (2004). Nilai konsentrasi mematikan yang diperkirakan dapat menyebabkan efek kematian sebesar 50% terhadap populasi setelah pemaparan selama 216 jam (LC₅₀-216 jam) dari Co adalah 0,225 mg/L untuk larva lobster *Homarus vulgaris* dan 0,045 mg/L untuk larva udang *Palaemon serratus* (Amiard, 1976).

Hg termasuk logam berat yang menduduki urutan pertama dalam hal sifat racunnya dibandingkan dengan logam berat lainnya terhadap organisme akuatik. Konsentrasi Hg berkisar dari tidak terdeteksi (< 0,001 mg/L) sampai 0,045 mg/L (Tabel 1 dan 2). Hg hanya terdeteksi pada empat stasiun dari 12 stasiun pengambilan contoh air (Tabel 1) dan konsentrasinya telah melebihi baku mutu yang ditetapkan KLH (2004) untuk biota laut. Konsentrasi Hg dalam air di perairan pesisir Kecamatan Jabon juga sudah melebihi konsentrasi Hg dalam air laut secara alamiah yang menurut Waldichuck (1974) sebesar 0,00015 mg/L. Hg tidak hanya terdeteksi dalam air sumber untuk budidaya tambak, tetapi juga terdeteksi dalam air tambak di Kabupaten Sidoarjo yang konsentrasinya berkisar antara 0,011 dan 0,024 mg/L seperti telah dilaporkan sebelumnya oleh Samsundari & Perwira (2011) (Lampiran 1). Ernawati *et al.* (2018) telah menyimpulkan bahwa perairan Desa Kaliyantar, Kecamatan Bangil, Kabupaten Pasuruan, Provinsi Jawa Timur yang lokasinya terhubung langsung dengan Sungai Porong yang merupakan tempat pembuangan lumpur Sidoarjo, telah tercemar Hg dengan konsentrasi 0,08-0,12 mg/L yang juga melebihi baku mutu yang ditetapkan KLH (2004) untuk biota laut. Hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kawasan pesisir di Kecamatan Jabon dan sekitarnya mengandung Hg dalam air yang telah melampaui baku mutu untuk biota laut, baik sebelum maupun sesudah

Tabel 1. Konsentrasi logam berat pada setiap stasiun pengambilan contoh air di kawasan pesisir Kecamatan Jabon Kabupaten Sidoarjo Provinsi Jawa Timur

Table 1. Concentration of heavy metals at each water sampling station in the coastal area of Jabon Subdistrict Sidoarjo District East Java Province

Stasiun Stations	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Co (mg/L)	Cr (mg/L)	Cu (mg/L)	Hg (mg/L)	Mn (mg/L)	Mo (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)
1	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.045	0.16	< 0.001	0.309	0.02
2	< 0.001	< 0.001	0.020	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.06	0.005	0.835	0.03
3	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.05	< 0.001	0.322	0.01
4	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.18	< 0.001	0.474	0.02
5	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.05	< 0.001	0.426	0.02
6	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.013	0.02	< 0.001	0.661	0.01
7	< 0.001	< 0.001	0.025	< 0.001	< 0.001	0.002	0.05	0.005	0.704	0.04
8	< 0.001	< 0.001	0.020	< 0.001	< 0.001	0.006	0.03	0.011	0.43	0.03
9	< 0.001	< 0.001	0.072	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.04	< 0.001	0.387	0.01
10	< 0.001	< 0.001	0.025	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.04	0.007	0.700	0.03
11	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.06	< 0.001	0.487	0.03
12	< 0.001	< 0.001	0.038	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.05	0.005	0.591	0.02

Tabel 2. Konsentrasi dan baku mutu air untuk logam berat di kawasan pesisir Kecamatan Jabon Kabupaten Sidoarjo Provinsi Jawa Timur

Table 2. Concentration and water quality standards for heavy metals in the coastal area of Jabon Subdistrict Sidoarjo District East Java Province

Logam berat Heavy metals	Minimum	Maksimum Maximum	Rata-rata Average	Baku mutu Quality standard
As (mg/L)	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.012*
Cd (mg/L)	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001*
Co (mg/L)	< 0.001	0.072	0.0167	nd
Cr (mg/L)	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.005*
Cu (mg/L)	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.008*
Hg (mg/L)	< 0.001	0.045	0.0055	0.001*
Mn (mg/L)	0.02	0.18	0.066	nd
Mo (mg/L)	< 0.001	0.011	0.0028	nd
Pb (mg/L)	0.309	0.835	0.5272	0.008*
Zn (mg/L)	0.01	0.04	0.022	0.05*

keterangan (Note):

* KLH (2004) untuk biota laut / KLH (2004) for marine biota

nd: tidak ada data dalam KLH (2004) untuk biota laut / no data in KLH (2004) for marine biota

penelitian ini dilaksanakan. Sumber limbah Hg berasal dari industri kimia, elektronik, farmasi, dan cat (Suharto, 2011) dan industri tersebut dapat dijumpai di Kabupaten Sidoarjo yang diduga menjadi sumber Hg di perairan pesisir Kecamatan Jabon. Sumber Hg mungkin juga dapat berasal dari lumpur Sidoarjo yang mengandung Hg dengan rata-rata 0,02041 mg/L yang walaupun semburannya berada di Desa Siring Kecamatan Porong tetapi dibuang melalui Sungai Porong dan Sungai Aloo yang bermuara di kawasan pesisir Kabupaten Sidoarjo (Suprpto *et al.*, 2007). Nilai LC₅₀-96 jam dari Hg untuk beberapa spesies yang dibudidayakan di tambak adalah 0,0840 mg/L untuk pascalarva udang windu (*Penaeus monodon*) (Rachmansyah *et al.*, 1998); 1,23 mg/L untuk pascalarva udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) (Frías-Espericueta *et al.*, 2009); 0,68 mg/L untuk kepiting bakau (*Scylla serrata*) dewasa (Krishnaja *et al.*, 1987); dan 1,5444 mg/L untuk nener ikan bandeng (*Chanos chanos*) (Rachmansyah *et al.*, 1998).

Mn merupakan salah satu dari tiga elemen penting, namun beracun apabila memiliki konsentrasi yang terlalu tinggi di dalam tubuh, tetapi juga diperlukan oleh manusia untuk bertahan hidup (Frías-Espericueta *et al.*, 2009). Mn dijumpai di semua stasiun pengambilan contoh air di kawasan pesisir Kecamatan Jabon pada konsentrasi dari 0,02 sampai 0,18 mg/L. Lumpur Sidoarjo mengandung Mn dari 317 sampai 1.095 mg/L dengan rata-rata 653,78 mg/L (Suprpto *et*

al., 2007) juga dapat menjadi sumber Mn dalam air di kawasan pesisir Kecamatan Jabon. Walaupun dalam KLH (2004) tidak tersedia baku mutu untuk Mn, tetapi sebelumnya Palupi (1994) merekomendasikan standar konsentrasi Mn dalam air di Indonesia sebesar 0,5 mg/L. Pencemaran Mn berasal dari bahan zat aktif di dalam batu baterai yang telah habis digunakan dan dibuang ke sungai maupun pesisir (Palar, 2008). Dengan berdasar pada rekomendasi dari Palupi (1994) maka konsentrasi Mn dalam air di kawasan pesisir Kecamatan Jabon masih tergolong baik sebagai sumber air untuk budidaya tambak.

Mo merupakan logam esensial yang penting bagi manusia, hewan, dan tanaman dan telah memainkan peran penting dalam evolusi kehidupan di bumi (Smedley & Kinniburgh, 2017). Di kawasan pesisir Kecamatan Jabon dijumpai Mo dalam air dengan konsentrasi dari tidak terdeteksi (< 0,001 mg/L) sampai 0,011 mg/L. Mo merupakan logam transisi paling melimpah di air laut terbuka dengan konsentrasi sekitar 0,010 mg/L (Smedley & Kinniburgh, 2017). Konsentrasi Mo dalam air di kawasan pesisir Kecamatan Jabon masih lebih rendah dari yang dijumpai secara alami di perairan laut terbuka seperti dilaporkan sebelumnya. Belum ada informasi mengenai konsentrasi Mo dalam air di perairan Kabupaten Sidoarjo sebelumnya dan juga tidak ada informasi baku mutu untuk Mo dalam KLH (2004). Namun dikatakan oleh Knothe & van Riper (1988)

bahwa Mo relatif tidak beracun dengan LC_{50} -96 jam sebesar 1.849 mg/L untuk udang *Penaeus duorarum*.

Pb termasuk logam berat nonesensial, yaitu logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya dan bahkan bersifat racun (Cyranik & Bolzan, 2014). Di kawasan pesisir Kecamatan Jabon dijumpai konsentrasi Pb dari 0,309 sampai 0,835 mg/L. Konsentrasi Pb yang didapatkan ini lebih tinggi daripada baku mutu yang telah ditetapkan oleh KLH (2004) yaitu sebesar 0,008 mg/L. Konsentrasi Pb di kawasan pesisir Kecamatan Jabon relatif sama dengan yang dilaporkan sebelumnya seperti terlihat pada Lampiran Tabel 1. Waldichuck (1974) menyatakan bahwa konsentrasi Pb yang normal dalam air laut sebesar 0,00003 mg/L. Sumber pencemaran Pb dapat berasal dari industri baterai, kimia, elektronik, dan cat (Suharto, 2011). Lumpur Sidoarjo mengandung Pb dari 37 sampai 72 mg/L dengan rata-rata 49,40 mg/L (Suprpto *et al.*, 2007) yang dapat berkontribusi terhadap keberadaan Pb di kawasan pesisir Kecamatan Jabon. Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan oleh Murphy (1979) diketahui bahwa organisme akuatik seperti krustasea akan mengalami kematian setelah 245 jam, apabila dalam badan perairan di mana biota itu berada terlarut Pb pada konsentrasi 2,75-49,00 mg/L. Rachmansyah *et al.* (1998) mendapatkan nilai LC_{50} -96 jam dari Pb untuk pascalarva udang windu dan nener ikan bandeng berturut-turut 14,5267 dan 245,7488 mg/L. Nilai LC_{50} -96 jam dari Pb untuk pascalarva udang vaname sebesar 134 mg/L dan kepiting bakau dewasa sebesar 370 mg/L (Frias-Espericueta *et al.*, 2009).

Zn merupakan unsur esensial bagi pertumbuhan makhluk hidup dan bersifat racun dalam konsentrasi tinggi, namun dalam konsentrasi rendah dibutuhkan oleh organisme akuatik sebagai koenzim (Cyranik & Bolzan, 2014). Konsentrasi Zn dalam air di kawasan pesisir Kecamatan Jabon berkisar dari 0,01 sampai 0,04 mg/L dan lebih tinggi daripada konsentrasi normal Zn dalam air laut yang menurut Waldichuck (1974) sebesar 0,002 mg/L. Konsentrasi Zn pada perairan alami lebih kecil dari 0,05 mg/L; namun pada perairan yang asam konsentrasinya mencapai 50 mg/L (Moore, 1991). Konsentrasi Zn di kawasan pesisir Kecamatan Jabon ini lebih rendah dibandingkan dengan temuan sebelumnya di kawasan yang sama seperti dilaporkan oleh Harlyan & Sari (2015) sebesar 0,3555 mg/L. Konsentrasi Zn dalam air di kawasan pesisir Kecamatan Jabon juga masih lebih rendah daripada baku mutu yang telah ditetapkan oleh KLH (2004) sebesar 0,05 mg/L. Nilai LC_{50} -96 jam dari Zn untuk ikan, udang, dan kerang dari laut berturut-turut 60; 0,5-50; dan 10-50 mg/L (Palar, 2008). Dikatakan pula oleh Kumar (2012) bahwa nilai LC_{50} -96 jam dari Zn untuk pascalarva udang

windu sebesar 2,36 mg/L. Sumber pencemaran Zn adalah industri baterai, elektronik, dan elektroplating (Suharto, 2011); serta adanya aktivitas pembuangan limbah rumah tangga, limbah pertanian yang banyak menggunakan pupuk dan pestisida, dan adanya aktivitas pembuangan limbah domestik lain yang mengandung Zn. Dilaporkan oleh Suprpto *et al.* (2007) bahwa lumpur Sidoarjo mengandung Zn dari 77 sampai 142 mg/L dengan rata-rata 96,29 mg/L yang diduga juga menyumbang keberadaan Zn di kawasan pesisir Kecamatan Jabon. Beberapa industri yang menggunakan Zn dalam produksinya, seperti industri elektronik dan elektroplating berlokasi di sekitar Sungai Porong yang berpotensi menghasilkan limbah Zn (Harlyan & Sari, 2015).

Telah disebutkan sebelumnya bahwa ada empat jenis logam berat yang hasilnya tidak terdeteksi atau konsentrasinya < 0,001 mg/L; yaitu As, Cd, Cr, dan Cu di kawasan pesisir Kecamatan Jabon (Tabel 1). Konsentrasi As, Cd, Cr, dan Cu dalam air laut secara alamiah berturut-turut 0,0026; 0,00011; 0,0002; dan 0,002 mg/L (Waldichuck, 1974). Tidak terdeteksinya keempat logam berat tersebut dalam air di kawasan pesisir Kecamatan Jabon diduga sebagai akibat dari tingkat ketelitian pembacaan alat yang besarnya 0,001 mg/L. Menurut Suharto (2011), sumber utama limbah As adalah industri percetakan, tetapi juga digunakan dalam industri aditif logam, kabel, baterai, dan tabung boiler (ketel uap). Dikatakan pula bahwa limbah Cd dapat berasal dari limbah industri baterai dan industri cat. Banyak jenis industri yang menjadi limbah bagi Cr dan Cu, yaitu dari limbah industri kimia, percetakan, elektroplating, tekstil, dan cat (Suharto, 2011). Diduga kegiatan industri, rumah tangga, pertanian, dan berbagai kegiatan lainnya yang ada di Kabupaten Sidoarjo belum menghasilkan limbah atau menghasilkan limbah yang relatif sedikit yang mengandung As, Cd, Cr, dan Cu sehingga tidak terdeteksi dalam air di kawasan pesisir.

Status Mutu Air dari Logam Berat

Hasil analisis penentuan status mutu air diperoleh nilai skor total -36 di kawasan pesisir Kecamatan Jabon (Tabel 3). Skor total yang diperoleh ini menunjukkan bahwa kawasan pesisir Kecamatan Jabon termasuk kelas D (buruk) atau termasuk tercemar berat yang sumbernya berasal dari Hg dan Pb. Walaupun telah disebutkan sebelumnya bahwa logam berat yang terdeteksi dalam air di kawasan pesisir Kecamatan Jabon meliputi Co, Hg, Mn, Mo, Pb, dan Zn, tetapi yang berkontribusi pada penentuan status mutu air hanyalah Hg dan Pb dengan nilai skor masing-masing -16 dan -20 (Tabel 3). Penentuan status mutu air dengan metode Storet telah banyak dilakukan di kawasan

Tabel 3. Status mutu kualitas air menurut metode Storet di kawasan pesisir Kecamatan Jabon Kabupaten Sidoarjo Provinsi Jawa Timur

Table 3. Water quality status for the coastal waters of Jabon Subdistrict based on the Storet index

Logam berat <i>Heavy metals</i>	Skor pada level (Score at level of -)			Skor subtotal <i>Subtotal score</i>
	Minimum	Maksimum	Rata-rata	
As	0	0	0	0
Cd	0	0	0	0
Cr	0	0	0	0
Cu	0	0	0	0
Hg	0	-4	-12	-16
Pb	-4	-4	-12	-20
Zn	0	0	0	0
Skor total (<i>Total score</i>)				-36
Status mutu (<i>Quality status</i>)			Kelas D (buruk) atau tercemar berat <i>D class (poor) or heavily polluted</i>	

pesisir Indonesia seperti dilaporkan oleh Angraheni (2015) dan dikatakan bahwa metode Storet memiliki kelebihan, yaitu metode penghitungannya sederhana dan lebih cepat, mudah untuk mengidentifikasi bahan pencemar, serta lebih sensitif dan terwakilkan. Metode Storet adalah salah satu metode selain indeks pencemaran yang disarankan digunakan dalam penentuan status mutu air di Indonesia oleh MNLH (2003). Pada Tabel 2 terlihat bahwa konsentrasi Mn, Zn, dan Co lebih tinggi daripada Hg, tetapi daya racun Hg yang lebih tinggi menyebabkan Hg berkontribusi dalam penentuan status mutu air. Di kawasan pesisir Kabupaten Sidoarjo, Pb dalam air dijumpai dengan konsentrasi tertinggi dan As, Cd, Cr, dan Cu dengan konsentrasi terendah atau tidak terdeteksi atau < 0,001 mg/L dengan urutan konsentrasi Pb > Mn > Zn > Co > Hg > Mo > As/Cd/Cr/Cu. Telah dilaporkan sebelumnya oleh Harlyan & Sari (2015) bahwa secara umum, konsentrasi logam berat di air di muara Sungai Porong dengan urutan Zn > Cu > Pb. Di antara semua logam berat, Hg menduduki urutan pertama dalam hal sifat racunnya, kemudian diikuti oleh logam berat antara lain Cd, Ag, Ni, Pb, As, Cr, Sn, dan Zn (Waldichuk, 1974).

Berdasarkan pendapat Wibisono (1987) bahwa konsentrasi aman untuk organisme akuatik dari suatu logam berat sebesar $0,1 \times LC_{50}^{-96}$ jam sehingga berdasarkan hasil penelitian Rachmansyah *et al.* (1998) maka konsentrasi aman Hg dan Pb untuk pascalarva udang windu berturut-turut 0,0084 dan 1,4527 mg/L dan untuk nener ikan bandeng berturut-turut 0,1544 dan 24,5749 mg/L. Hal yang sama dengan berdasarkan hasil penelitian Frías-Espéricueta *et al.* (2009) dan Krishnaja *et al.* (1987) maka konsentrasi aman Hg untuk pascalarva udang vaname dan kepiting bakau dewasa berturut-turut 0,123 dan 0,068 mg/L. Demikian juga dengan berdasarkan hasil penelitian Krishnaja *et al.*

(1987) maka konsentrasi aman Pb untuk kepiting bakau dewasa sebesar 37,0 mg/L dan dengan berdasarkan hasil penelitian Frías-Espéricueta *et al.* (2009) maka konsentrasi aman Pb untuk pascalarva udang vaname sebesar 13,4 mg/L. Konsentrasi Hg dan Pb dalam air di kawasan pesisir Kecamatan Jabon masih di bawah konsentrasi aman untuk komoditas air payau secara umum di tambak, kecuali Hg yang telah melampaui konsentrasi aman untuk udang windu di stasiun pengambilan contoh air tertentu, yaitu stasiun-1 (stasiun terdekat dari muara Sungai Porong) dan stasiun-6 (stasiun terdekat dari muara Sungai Aloo) (Gambar 1). Konsentrasi aman adalah konsentrasi maksimum bahan toksik yang tidak membahayakan organisme setelah bersentuhan dengan bahan tersebut dalam periode lama, setidaknya-tidaknya satu generasi (Rand *et al.*, 2003). Oleh karena sudah tergolong tercemar berat oleh Hg dan Pb dan konsentrasi Hg yang sudah melampaui konsentrasi aman untuk udang windu, serta mengingat logam berat tersebut bersifat racun tinggi sehingga kondisi ini dapat dijadikan sebagai peringatan dini dari adanya potensi logam berat terutama Hg dan Pb sebagai pencemar di kawasan pesisir Kecamatan Jabon untuk digunakan sebagai sumber air untuk budidaya tambak.

Rencana Mitigasi

Dalam rangka menjaga kualitas air di sungai dan kawasan pesisir di Kabupaten Sidoarjo diperlukan upaya-upaya untuk mencegah dan mengurangi kegiatan yang berpotensi mencemari sumber air dan atau menerapkan Instalasi Pengolah Air Limbah (IPAL) agar sumber air tersebut dapat dimanfaatkan untuk budidaya tambak. Provinsi Jawa Timur termasuk Kabupaten Sidoarjo memiliki kawasan industri yang sangat padat sehingga wajib dibangun instalasi pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3)

yang terintegrasi (Dardak, 2019). Upaya yang juga dapat dilakukan untuk meminimalisir konsentrasi logam berat dalam air adalah menerapkan pengelolaan kawasan pesisir dengan merehabilitasi hutan mangrove (bakau) untuk menjadi bioakumulator logam berat. Hutan mangrove melalui sistem perakarannya yang menghunjam ke tanah dan menyebar luas akan mampu menyerap polutan terutama jenis logam berat (Cr, Cu, Zn, Ni, Pb, Cd, dan Hg) di lingkungan perairan sekitarnya sehingga daya racun polutan tersebut pada lingkungan hutan mangrove dapat berkurang (Heriyanto & Suharti, 2013; Zhongzheng *et al.*, 2017). Oleh karena itu, rehabilitasi hutan mangrove menjadi penting yang minimum dapat memenuhi persyaratan yang tertuang pada Pasal 27 Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 1990 Tentang Pengelolaan Kawasan Lindung (Keppres RI No. 32, 1990). Dengan berdasar pada Pasal 27 tersebut dan hasil pengukuran pasut yang didapatkan tunggang pasut untuk rata-rata pasang dapat mencapai 1,77 m maka lebar jalur hijau atau kawasan pantai berhutan bakau di kawasan pesisir Kabupaten Sidoarjo minimum 230,1 m diukur dari garis air surut terendah ke arah darat. Untuk jalur hijau atau sempadan sungai di Kabupaten Sidoarjo berdasarkan Pasal 16 Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 1990 (Keppres RI No. 32, 1990) sekurang-kurangnya 100 m dari kiri kanan sungai besar yang berada di luar pemukiman. Terserapnya dan tertahannya logam berat oleh lapisan rhizosfer di sekitar akar mangrove akan menyebabkan terjadinya penurunan tajam konsentrasi logam berat pada permukaan atas lapisan sedimen dan mencegah perpindahan ke kawasan pesisir di sekitarnya (Supriyantini *et al.*, 2017).

Upaya lain adalah melakukan pemantauan kualitas air secara berkesinambungan yang memerlukan pengelolaan secara terintegrasi dan menyeluruh. Sebagai tahap awal diperlukan adanya kegiatan identifikasi dan inventarisasi sumber pencemar yang berpotensi mencemari atau membuang limbahnya yang menjadi sumber pencemar logam berat, terutama Hg dan Pb dengan harapan kegiatan perikanan termasuk budidaya tambak dapat meningkat produksinya, baik kuantitas maupun kualitas dan berkelanjutan di Kecamatan Jabon secara khusus dan Kabupaten Sidoarjo secara umum. Selain pemantauan, upaya lain yang dapat dilakukan dari pengelolaan berkelanjutan adalah pembinaan dan penegakan hukum untuk meminimalisir terjadinya pencemaran logam berat di kawasan pesisir.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian tahun 2015 ini menunjukkan bahwa kisaran konsentrasi logam berat Co, Hg, Mn, Mo, Pb, dan Zn berturut-turut < 0,001-0,072; < 0,001-0,045;

0,02-0,18; < 0,001-0,011; 0,309-0,835; dan 0,01-0,04 mg/L di kawasan pesisir Kecamatan Jabon Kabupaten Sidoarjo Provinsi Jawa Timur. Hasil penentuan status mutu air menunjukkan bahwa air di kawasan pesisir Kecamatan Jabon tergolong tercemar berat dari logam berat Hg dan Pb untuk biota laut. Disarankan agar kegiatan yang dapat menjadi sumber pencemar logam berat terutama Hg dan Pb di kawasan pesisir Kecamatan Jabon agar dikurangi dan atau mengaplikasikan Instalasi Pengolahan Air Limbah dan merehabilitasi hutan mangrove untuk menjadi bioakumulator logam berat, serta melakukan pengelolaan berkelanjutan yang meliputi pemantauan, pembinaan, dan penegakan hukum sehingga kegiatan perikanan termasuk budidaya tambak dapat dilaksanakan secara terus-menerus.

UCAPAN TERIMA KASIH

Diucapkan terima kasih kepada Bapak Hakim Madeng dan Muhammad Arnol, serta Ibu Rahmiyah atas bantuannya dalam pengambilan contoh air di lapangan. Terima kasih juga disampaikan kepada Kepala dan Staf Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Sidoarjo atas bantuannya selama pelaksanaan penelitian di Kabupaten Sidoarjo. Penelitian ini dibiayai dari Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran yang ada di Balai Penelitian dan Pengembangan Budidaya Air Payau Tahun Anggaran 2015.

DAFTAR ACUAN

- Adiwiyono, R. (2017). *Studi kandungan logam berat timbal (Pb) pada keong macan (Babylonia spirata) di wilayah perairan Sedati, Kabupaten Sidoarjo*. Skripsi S1. Surabaya: Universitas Airlangga, 39 hlm.
- American Public Health Association [APHA]-American Water Works Association [AWWA]-Water Environment Federation [WEF]. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22nd Edition. Washington, D.C.: American Public Health Association - American Water Works Association - Water Environment Federation, 1496 pp.
- Amiard, J.-C. (1976). Experimental study of the acute toxicity of cobalt, antimony, strontium, and silver salts in some crustacea and their larvae and in some teleosteans. *Revue Internationale d'Océanographie Médicale*, 43, 79-95.
- Angraheni, W. (2015). *Status pencemaran perairan pesisir Tanjung Pasir, Kabupaten Tangerang, Banten*. Skripsi S1. Bogor: Institut Pertanian Bogor, 41 hlm.
- Asante, F., Agbeko, E., Addae, G., & Quainoo, A.K. (2014). Bioaccumulation of heavy metals in water, sediments and tissues of some selected fishes

- from the Red Volta, Nangodi in the upper east region of Ghana. *British Journal of Applied Science and Technology*, 4(4), 594-603. DOI: 10.9734/BJAST/2014/5389.
- Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo [BPLS]. (2015). 9 tahun semburan lumpur lapindo: BPLS Intensifkan Pembuangan Lumpur ke Kali Porong. detikNews, Kamis, 28 Mei 2015. <https://news.detik.com/berita-jawa-timur/d-2927319/bpls-intensifkan-pembuangan-lumpur-ke-kali-porong>. [Diakses 17 Juni 2017].
- Badan Pusat Statistik [BPS]. (2017a). Kabupaten Sidoarjo dalam Angka 2017. Sidoarjo: Badan Pusat Statistik Kabupaten Sidoarjo, 404 hlm.
- Badan Pusat Statistik [BPS]. (2017b). Luas area budidaya perikanan menurut provinsi dan jenis budidaya (ha), 2005-2016. Badan Pusat Statistik, Jakarta. <https://www.bps.go.id/statictable/2014/09/08/1712/luas-area-usaha-budidaya-perikanan-menurut-provinsi-dan-jenis-budidaya-ha-2005-2016.html>. [Diakses 12 Februari 2018].
- Badan Pusat Statistik [BPS]. (2017c). Produksi perikanan budidaya menurut kabupaten/kota dan subsektor di Provinsi Jawa Timur (ton), 2016. Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur, Surabaya. <https://jatim.bps.go.id/statictable/2017/06/15/528/produksi-perikanan-budidaya-menurut-kabupaten-kota-dan-subsektor-di-provinsi-jawa-timur-ton-2016-.html>. [Diakses 12 Februari 2018].
- Canter, L.W. (1982). Environmental impact assessment. *Journal of Impact Assessment*, 1(2), 6-40. <https://doi.org/10.1080/07349165.1982.9725447>.
- Cyraniak, E. & Bolzan, B.D. (2014). Heavy metals in circulation biogeochemical. *World Scientific News*, 6, 30-36.
- Dardak, E. (2019). Emil Dardak: Basis industri Jatim terlalu besar untuk tidak punya pengolahan limbah B3. Kompas, 26 Februari 2019. [Diakses 26 Februari 2019].
- Dinas Lingkungan Hidup [DLH]. (2014). Selamat datang. Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sidoarjo, Sidoarjo. <http://www.geolingkungan.com/>. [Diakses 12 Februari 2018].
- Ernawati, Suprayitno, E., & Yanuhar, U. (2018). Kajian pencemaran ekosistem mangrove jenis *Rhizophora mucronata* di Perairan Desa Kalianyar Bangil Pasuruan, Jawa Timur. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian AGRIKA*, 12(1), 61-72.
- Favour, V.-A.I. & Obi, Y.L. (2014). Levels of lead, iron and cadmium contamination in fish, water and sediment from Iwofe site on New Calabar River, Rivers State. *International Journal of Extensive Research*, 3, 10-15.
- Frías-Espericueta, M.G., Voltolina, D., Osuna-López, J.I., & Izaguirre-Fierro, G. (2009). Toxicity of metal mixtures to the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* postlarvae. *Marine Environmental Research*, 68, 223-226. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2009.06.011>.
- Guangming, Z., Siyuan, Y., Hongming, Y., Xigui, D., & Jin, W. (2017). Surface sediment properties and heavy metal pollution assessment in the Pearl River Estuary, China. *Environmental Science and Pollution Research International*, 24(3), 2966-2979. DOI: 10.1007/s11356-016-8003-4.
- Hadi, A. (2005). Prinsip pengelolaan pengambilan sampel lingkungan. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 135 hlm.
- Harlyan, L.I. & Sari, S.H.J. (2015). Konsentrasi logam berat Pb, Cu, dan Zn pada air dan sedimen permukaan ekosistem mangrove di muara Sungai Porong, Sidoarjo, Jawa Timur. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 20(1), 52-60.
- Heriyanto, N.M. & Suharti, S. (2013). Kandungan logam berat dan plankton pada ekosistem tambak bermangrove dan tambak tanpa mangrove (Kasus di Tegal Tangkil, Cikiong, Poponcol, dan Kedung Peluk). *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 10(2), 121-133.
- Hijriani, P.R. (2018). Program minapolitan pada perkembangan perikanan tambak di Kabupaten Sidoarjo tahun (2005-2015). *AVATARA, e-Journal Pendidikan Sejarah*, 6(1), 157-165.
- Kementerian Lingkungan Hidup [KLH]. (2004). Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004, Tanggal 8 April 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup, 7 hlm.
- Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 32 [Keppres RI No. 32]. (1990). Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 1990 Tentang Pengelolaan Kawasan Lindung. Jakarta: Sekretariat Negara, 14 hlm.
- Knothe, D.W. & van Riper, G.G. (1988). Acute toxicity of sodium molybdate dihydrate (Molyhibit 100) to selected saltwater organisms. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 40, 785-790.
- Krishnaja, A.P., Rege, M.S., & Joshi, A.G. (1987). Toxic effects of certain heavy metals (Hg, Cd, Pb, As, and Se) on the intertidal crab *Scylla serrata*. *Marine Environmental Research*, 21, 109-119.
- Kristianto, S., Wilujeng, N.S., & Wahyudiarto, D. (2017). Analisis logam berat kromium (Cr) pada Kali Pelayaran sebagai bentuk upaya penanggulangan pencemaran di wilayah Sidoarjo. *Jurnal Biota*, 3(2), 66-70.

- Kumar, R.J.S.I. (2012). Acute toxicity of cadmium, copper, lead and zinc to tiger shrimp *Penaeus monodon* postlarvae. *International Journal of Environmental Sciences*, 3(1), 305-311.
- Mahalina, W., Tjandrakirana, & Purnomo, T. (2016). Analisis kandungan logam berat timbal (Pb) dalam ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang hidup di Sungai Kali Tengah, Sidoarjo. *LenteraBio*, 5(1), 43-47.
- Menteri Negara Lingkungan Hidup [MNLH]. (2003). Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: 115 Tahun 2003 Tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Jakarta: Menteri Negara Lingkungan Hidup, 15 hlm.
- Moore, J.W. (1991). Inorganic contaminants of surface water. New York: Springer-Verlag, 334 pp. DOI:10.1007/978-1-4612-3004-5.
- Murphy, M. (1979). A manual for toxicity tests with freshwater macroinvertebrates and a review of the effects of specific toxicants. Cardiff: University of Wales, Institute of Science and Technology, 249 pp.
- Olusola, J.O. & Festus, A.A. (2015). Assessment of heavy metals in some marine fish species relevant to their concentration in water and sediment from coastal waters of Ondo State, Nigeria. *Journal of Marine Science: Research & Development*, 5(2), 1-6. DOI: 10.4172/2155-9910.1000163.
- Palar, H. (2008). Pencemaran dan toksikologi logam berat. Jakarta: Rineka Cipta, 151 hlm.
- Palupi, K. (1994). Cisadane River water pollution. *Buletin Penelitian Kesehatan*, 22(1), 41-47.
- Parawita, D., Insafitri, & Nugraha, A.W. (2009). Analisis konsentrasi logam berat timbal (Pb) di muara Sungai Porong. *Jurnal Kelautan*, 2(2), 1907-1931.
- Paz-Ferreiro, J., Lu, H., Fu, S., Mendez, A., & Gasco, G. (2014). Use of phytoremediation and biochar to remediate heavy metal polluted soils: A review. *Solid Earth*, 5, 65-75. <https://doi.org/10.5194/se-5-65-2014>.
- Peraturan Daerah [Perda] Kabupaten Sidoarjo. (2009). Peraturan Daerah Kabupaten Sidoarjo Nomor 6 Tahun 2009 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Sidoarjo Tahun 2009-2029. Sidoarjo: Pemerintah Kabupaten Sidoarjo, 61 hlm.
- Rachmansyah, Dalfiah, Pongmasak, P.R., & Ahmad, T. (1998). Uji toksisitas logam berat terhadap benur udang windu (*Penaeus monodon*) dan nener bandeng (*Chanos chanos*). *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, IV(1), 55-66.
- Rand, G.M., Wells, P.G., & McCarty, L.S. (2003). Introduction to aquatic toxicology. In Rand, G.M. (Ed.), *Fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate, and risk assessment*. 2nd Edition. London: Taylor & Francis, p. 3-70.
- Riani, E., Cordova, M.R., & Arifin, Z. (2018). Heavy metal pollution and its relation to the malformation of green mussels cultured in Muara Kamal waters, Jakarta Bay, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 664-670. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.06.029.
- Samsundari, S. & Perwira, I.Y. (2011). Kajian dampak pencemaran logam berat di daerah sekitar luapan lumpur Sidoarjo terhadap kualitas air dan budidaya perikanan. *Gamma*, 6(2), 129-136.
- Smedley, P.L. & Kinniburgh, D.G. (2017). Molybdenum in natural waters: A review of occurrence, distributions and controls. *Applied Geochemistry*, 84, 387-432. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.05.008>.
- Sthanadar, I.A., Sthanadar, A.A., Begum, B., Nair, M.J., Ahmad, I., Muhammad, A., Zahid, M., & Ullah, S. (2015). Aquatic pollution assessment using skin tissues of mulley (*Wallago attu*, Bloch & Schneider, 1801) as a bio-indicator in Kalpani River at District Mardan, Khyber Pakhtunkhwa. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 6, 57-66.
- Suharto, I. (2011). Limbah Kimia dalam Pencemaran Udara dan Air. Yogyakarta: Penerbit Andi, 518 hlm.
- Suprpto, S.J., Gunradi, R., & Ramli, Y.R. (2007). Geokimia sebaran unsur logam pada endapan lumpur Sidoarjo. Laporan Hasil Penelitian. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi, 9 hlm.
- Supriyantini, E., Nuraini, R.A.T., & Dewi, C.P. (2017). Daya serap mangrove *Rhizophora* sp. terhadap logam berat timbal (Pb) di perairan Mangrove Park, Pekalongan. *Jurnal Kelautan Tropis*, 20(1), 16-24.
- Suwari, Riani, E., Pramudya, B., & Djuwita, I. (2010). Penentuan status mutu air kali Surabaya dengan metode Storet dan indeks pencemaran. *Majalah Ilmiah Widya*, 27(297), 59-63.
- Waldichuck, M. (1974). Some biological concern in heavy metals pollution. In Vernberg, F.J. & Vernberg, W.B. (Eds.), *Pollution and physiology of marine organisms*. New York: Academic Press, p. 1-57.
- Wibisono, M.S. (1987). Tingkat toksisitas minyak bumi naphthenic intermediate terhadap beberapa jenis biota akuatik pantai. *Majalah Lembaran Publikasi LEMIGAS*, 21(3), 218-229.
- Yayu, G.N. & Permanawati, Y. (2015). Kandungan logam berat (Cd, Cu, Pb, dan Zn) dalam air laut di perairan pantai timur Pulau Rote. *Jurnal Geologi Kelautan*, 13(2), 99-108.
- Zhongzheng, Y., Xiangli, S., Yan, X., Qiqiong, Z., & Xiuzhen, L. (2017). Accumulation and tolerance of mangroves to heavy metals: A review. *Current Pollution Reports*, 3(4), 302-317.

Lampiran 1. Kisaran dan atau rata-rata konsentrasi logam berat dalam air di Kabupaten Sidoarjo, Provinsi Jawa Timur dan sekitarnya dari berbagai referensi

Appendix 1. The range and or average concentration of heavy metals in water of Sidoarjo District, East Java Province and its surroundings from various references

Lokasi Location	Logam berat (Heavy metals)										Referensi References
	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Co (mg/L)	Cr (mg/L)	Cu (mg/L)	Hg (mg/L)	Mn (mg/L)	Mo (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	
Muara Sungai Porong, Kecamatan Jabon Mouth of Porong River, Jabon Subdistrict	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	< 0.001-0.490	nd	Parawita <i>et al.</i> (2009)
Tambak Kabupaten Sidoarjo Brackishwater ponds of Sidoarjo District	nd	0.002-0.014	nd	nd	0.036-0.165	0.011-0.024	nd	nd	0.030-0.064	nd	Samsundari & Perwira (2011)
Sungai Porong Kecamatan Jabon Porong River Jabon Subdistrict	nd	nd	nd	nd	0.0226	nd	nd	nd	< 0.0044	0.3555	Harlyan & Sari (2015)
Kali Tengah Kecamatan Tanggulangin Tengah River Tanggulangin Subdistrict	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.699	nd	Mahalina <i>et al.</i> (2016)
Kawasan pesisir Kecamatan Sedati Coastal area of Sedati Subdistrict	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.073-0.230	nd	Adiwiyono (2017)
Kali Pelayaran Kecamatan Taman Pelayaran River Taman Subdistrict	nd	nd	nd	0.94-1.12	nd	nd	nd	nd	nd	nd	Kristianto <i>et al.</i> (2017)
Perairan Desa Kallanyar, Kabupaten Pasuruan Waters of Kallanyar Village, Pasuruan District	nd	0.055-0.098	nd	nd	1.18-1.22	0.08-0.12	nd	nd	0.79-0.81	nd	Emawati <i>et al.</i> (2018)
Kawasan pesisir Kecamatan Jabon Coastal area of Jabon Subdistrict	< 0.001	< 0.001	0.015	< 0.001	< 0.001	0.0051	0.067	0.003	0.8012	0.022	Penelitian ini This research

Keterangan (Note): nd = tidak ada data (no data)