

DISTRIBUSI DAN PERILAKU Pb DAN Zn TERLARUT DAN PARTIKULAT DI PERAIRAN ESTUARIA JENEBERANG, MAKASSAR

DISTRIBUTION AND BEHAVIOUR OF DISSOLVED AND PARTICULATE Pb AND Zn IN JENEBERANG ESTUARY, MAKASSAR

Najamuddin^{1*}, Tri Prartono², Harpasis S. Sanusi², dan I Wayan Nurjaya²

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Khairun, Ternate

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

*E-mail:najamuddin313@gmail.com

ABSTRACT

Dissolved and particulate heavy metals play a role in geochemical cycle as an agent in adsorption-desorption, deposition-resuspension, and dispersion mechanisms of heavy metals in water environment. The objectives of this research were to determine the distribution and behaviour of dissolved and particulate heavy metals Pb and Zn in different seasons (west and east seasons) at Jeneberang Estuary of Makassar. Concentrations of Pb and Zn were analysed using Atomic Adsorption Spectrophotometry based on APHA, AWWA, WEF (2005). The concentration of dissolved Pb in the riverine, estuarine, and marine waters were in the range (average) of <0.002 mg/L (below detectable limit), 0.013-0.144 mg/L (0.047 mg/L), 0.016-0.198 mg/L (0.079 mg/L); and the concentration of dissolved Zn were in the range (average) of <0.002 mg/L (below detectable limit), <0.002-0.014 mg/L (0.005 mg/L), <0.002-0.083 mg/L (0.017 mg/L). Meanwhile, the concentration of particulate Pb were in the range (average) of 1.807-2.569 mg kg⁻¹ (2.215 mg kg⁻¹), 0.521-1.272 mg kg⁻¹ (0.911 mg kg⁻¹), 0.465-2.182 mg kg⁻¹ (1.033 mg kg⁻¹), and the concentration of particulate Zn were in the range (average) of 19.151-90.942 mg kg⁻¹ (51.710 mg kg⁻¹), 16.999-63.059 mg kg⁻¹ (31.694 mg kg⁻¹), 19.439-80.283 mg kg⁻¹ (45.554 mg kg⁻¹) in the riverine, estuarine and marine waters, respectively. Behaviour of dissolved heavy metals Pb and Zn showed that the concentrations tended to increase (desorption) along the gradient of high salinity as a result of the higher heavy metals input from coastal region than that riverine regimes.

Keywords: *distribution, behaviour, dissolved, particulate, heavy metal, Jeneberang Estuary*

ABSTRAK

Logam berat dalam bentuk terlarut dan partikulat berperan dalam siklus geokimia, sebagai agen dalam mekanisme adsorpsi-desorpsi, deposisi-resuspensi dan dispersi logam berat di lingkungan perairan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi dan perilaku Pb dan Zn terlarut dan partikulat pada musim berbeda (musim barat dan timur) di perairan Estuaria Jeneberang, Makassar. Analisis konsentrasi logam berat Pb dan Zn ditentukan dengan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) berdasarkan APHA, AWWA, WEF (2005). Kisaran dan rata-rata konsentrasi Pb terlarut pada perairan tawar (sungai) <0,002 mg/L (di bawah batas deteksi), perairan payau (estuaria) 0,013-0,144 mg/L (0,047 mg/L), perairan asin (pantai) 0,016-0,198 mg/L (0,079 mg/L), dan Zn terlarut pada perairan tawar (sungai) <0,002 mg/L, perairan payau (estuaria) <0,002-0,014 mg/L (0,005 mg/L), perairan asin (pantai) <0,002-0,083 mg/L (0,017 mg/L). Kisaran dan rata-rata konsentrasi Pb partikulat pada perairan tawar (sungai) 1,807-2,569 mg kg⁻¹ (2,215 mg kg⁻¹), perairan payau (estuaria) 0,521-1,272 mg kg⁻¹ (0,911 mg kg⁻¹), perairan asin (pantai) 0,465-2,182 mg kg⁻¹ (1,033 mg kg⁻¹), dan Zn partikulat pada perairan tawar (sungai) 19,151-90,942 mg kg⁻¹ (51,710 mg.kg⁻¹), perairan payau (estuaria) 16,999-63,059 mg kg⁻¹ (31,694 mg kg⁻¹), perairan asin (pantai) 19,439-80,283 mg kg⁻¹ (45,554 mg kg⁻¹). Perilaku logam berat terlarut Pb dan Zn menunjukkan kecenderungan peningkatan konsentrasi (desorpsi) di sepanjang gradien salinitas tinggi karena input logam berat terlarut yang bersumber dari perairan pantai lebih tinggi dibanding input dari sungai.

Kata kunci: distribusi, perilaku, terlarut, partikulat, logam berat, Estuaria Jeneberang

I. PENDAHULUAN

Logam berat dalam perairan terdiri dari dua bentuk yaitu terlarut dan partikulat. Logam berat terlarut akan senantiasa berada dalam kolom air dan tersebar sesuai pola aliran air, sedang logam berat partikulat akan mengalami deposisi (pengendapan) dan sebagian menyebar dalam kolom air terutama partikel yang berukuran sangat halus dan kemudian mengendap dalam kondisi air yang tenang.

Keberadaan dan efek logam berat dalam suatu sistem perairan ditentukan oleh beberapa faktor utama seperti kuantitas logam berat dan komposisi fraksi terlarut dan partikulat logam berat di dalam perairan (Hamad *et al.*, 2012). Studi dan publikasi terkait polutan logam berat selama ini masih lebih banyak difokuskan hanya pada analisis kuantitas (konsentrasi) logam terlarut dan konsentrasinya di dalam sedimen dasar perairan tanpa dilengkapi kajian logam berat bentuk partikulat.

Kajian logam berat terlarut dan partikulat perlu dilakukan karena karakteristik keduanya sangat berbeda, dimana karakter tersebut menentukan perilakunya di dalam perairan melalui interaksi keduanya dengan parameter lingkungan perairan. Salah satu perilaku yang penting untuk dikaji adalah proses adsorpsi-desorpsi yang berperan menentukan *fate* dan fluks logam berat dalam sistem lingkungan perairan (Hatje *et al.*, 2003; Kontas, 2012; Sanusi, 2006). Mekanisme adsorpsi-desorpsi yang terjadi antara logam berat terlarut dan partikulat akan mempengaruhi distribusi, akumulasi, dan efek logam berat dalam perairan dan selanjutnya berimplikasi terhadap kualitas lingkungan dan kelangsungan hidup biota akuatik. Mekanisme adsorpsi-desorpsi ini secara umum sangat intensif terjadi di perairan estuaria.

Peranan partikulat sangat nyata terlihat terutama pada perairan estuaria yang dicirikan sebagai perairan dengan tingkat kekeruhan yang tinggi karena keberadaan partikel

tersuspensi yang tinggi di dalam perairan dan proses pengadukan (turbulensi) yang intensif terjadi akibat pertemuan dua massa air yang berbeda densitasnya. Percampuran dua massa air yang berbeda tersebut menyebabkan terjadinya perubahan karakteristik massa air terutama salinitas dan pH yang kemudian memicu terjadi proses adsorpsi-desorpsi dalam perairan estuaria.

Karakteristik massa air yang berbeda pada perairan sungai, estuaria, dan pantai menyebabkan perbedaan perilaku logam berat pada masing-masing zona perairan tersebut. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan pembagian wilayah sampling dalam tiga zona perairan tersebut. Pembagian zona perairan tersebut membantu mengidentifikasi sumber polutan dan mengungkap perilaku logam berat terlarut dan partikulat berdasarkan gradien salinitas melalui pendekatan *theoretical dilution line* untuk melihat proses adsorpsi-desorpsi yang terjadi di dalam perairan.

Beberapa penelitian dan publikasi menunjukkan fakta tersebut, seperti Rastina (2012) yang melakukan penelitian di sekitar perairan Kota Makassar, Hamzah dan Setiawan (2010) di Teluk Jakarta, Lestari (2011) di perairan pantai Semarang, Arifin (2011) di Teluk Kelabat Pulau Bangka, Ahmad (2013) di perairan Pulau Bangka, dan Sagala *et al.* (2014) di perairan Pulau Natuna.

Aspek lain yang juga penting dianalisis adalah pengaruh perbedaan musim dan kondisi pasang surut dalam mempengaruhi distribusi dan perilaku logam berat terlarut dan partikulat serta hubungannya dengan parameter fisika kimia perairan. Distribusi dan perilaku logam berat dalam perairan estuaria selain di pengaruhi oleh sumber atau input logam berat berat, karakteristik estuaria dan dinamika perairan, juga dipengaruhi oleh perbedaan musim (Chester, 1990, Al-Najjar *et al.*, 2008, Turekian, 2010, Hamad *et al.*, 2012).

Rastina (2012) pada penelitiannya di Estuaria Tallo Makassar menemukan adanya perbedaan distribusi konsentrasi logam berat

terlarut dan konsentrasi logam berat di dalam sedimen pada musim barat dan musim timur. Namun riset tersebut belum mengkaji logam berat bentuk partikulatnya. Demikian pula Al-Najjar *et al.* (2008) di Teluk Aqaba Jordania yang merupakan wilayah subtropics, juga menemukan adanya perbedaan konsentrasi logam berat pada empat periode musim, namun hanya menganalisis logam berat bentuk partikulatnya saja.

Estuaria Jeneberang adalah muara aliran sungai terbesar di Kota Makassar yang terbentang dari Kabupaten Gowa hingga Kota Makassar. Aliran sungai Jeneberang membentang di wilayah urban dan sangat dekat dengan aktivitas pelabuhan Internasional Soekarno-Hatta dan kawasan bisnis kota Makassar menyebabkan estuaria Jeneberang berpotensi mendapat masukan limbah yang dapat menimbulkan permasalahan lingkungan. Kawasan di sekitar Estuaria Jeneberang merupakan kawasan strategis yang diperuntukkan sebagai kawasan bisnis global terpadu sehingga perairan sekitar kawasan estuaria akan terancam mengalami penurunan kualitas lingkungan yang kemudian berdampak terhadap penurunan sumber daya hayati (Rencana Tata Ruang Kota Makassar 2010-2030).

Pada penelitian ini, logam berat yang dianalisis adalah Pb dan Zn dengan beberapa pertimbangan bahwa logam berat Pb dan Zn memiliki karakter yang berbeda sehingga dapat mewakili karakter beberapa logam berat lainnya. Karakter tersebut seperti Pb bersifat non-esensial sedang Zn bersifat esensial, Pb memiliki kelarutan yang tinggi sedang Zn kelarutannya rendah, secara alami konsentrasi Pb di dalam kerak bumi kecil sedang Zn cukup besar, dan adanya potensi sumber pencemar logam berat Pb dan Zn di sekitar perairan Estuaria Jeneberang.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi dan perilaku logam berat Pb dan Zn terlarut dan partikulat berdasarkan perbedaan musim (musim barat dan musim timur) dan pengaruh pasang surut serta menentukan tingkat pencemaran lo-

gam berat di perairan sekitar Estuaria Jeneberang.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Pengumpulan data penelitian dilaksanakan pada bulan Desember 2014 sampai Agustus 2015. Tempat penelitian di perairan Estuaria Jeneberang, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan yang terletak pada posisi geografis antara 5°08'40'' sampai 5°12'40'' LS dan 119°21'00'' sampai 119°24'10'' BT. Pengukuran parameter dan pengambilan sampel air dilakukan pada 17 titik sampling yang dibagi dalam tiga zona perairan yaitu perairan tawar atau sungai (R1-R3), payau atau estuaria (E1-E7), dan pantailaut (CS1-CS7) seperti disajikan pada Gambar 1.

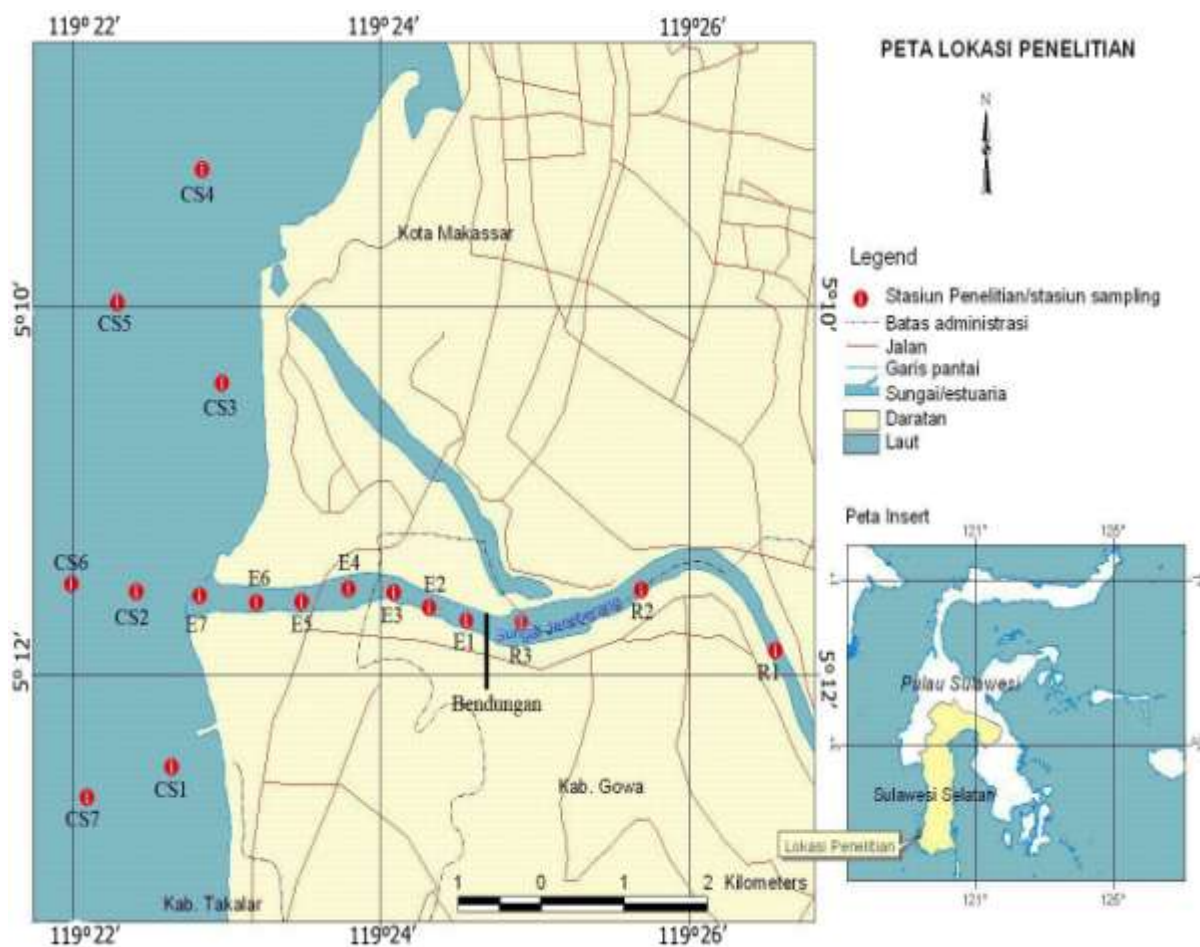
2.2. Pengambilan Sampel

Sampel air diambil pada lapisan permukaan dengan pertimbangan tipe estuaria dilokasi penelitian adalah tipe tercampur sempurna (massa air tidak terstratifikasi secara vertikal) dan kedalaman maksimal perairan sungai dan estuaria hanya 3 meter. Sampel air diambil dengan alat *Van Dorn Water Sampler* yang terbuat dari bahan PVC dengan kapasitas 2 liter. Sampel air diambil pada dua periode waktu yang berbeda yaitu; 1) saat air pasang dan surut dan 2) musim barat (puncak musim barat yaitu bulan Januari) dan timur (puncak musim timur yaitu bulan Agustus). Total sampling sebanyak empat kali yaitu dua kali di musim barat dan dua kali di musim timur. Sampel air yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam botol sampel dengan volume 1 liter dan selanjutnya disimpan dalam *ice box*. Botol sampel sebelumnya telah dibersihkan dengan cara direndam dengan HCl 2 N selama 24 jam dan setelah itu dibilas dengan air suling sebanyak tiga kali. Sampel partikel diperoleh dengan menyaring air sebanyak 50 liter dengan kertas saring miliopore 0.45 μm yang dilengkapi *vacuum pump*.

Konsentrasi logam berat ditentukan dengan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) berdasarkan APHA, AWWA, WEF (2005). Konsentrasi logam berat terlarut ditentukan dengan menyaring sampel air menggunakan kertas miliopore ukuran pori 0,45 μm . Sampel air hasil saringan diekstraksi dengan larutan APDC (ammonium pirolidin dithio carbamat) dan MIBK (metil isobutil keton). Adapun partikel tersaring diekstraksi dengan asam florida (HF) untuk menentukan konsentrasi logam berat bentuk partikulat dan selanjutnya diukur dengan AAS varian Shimadzu-6300 dengan limit deteksi terkecil sebesar 0,002. Satuan untuk konsentrasi logam berat bentuk terlarut adalah mg/L karena merupakan fase cair (liquid phase) sedang partikulat satuannya mg kg^{-1} karena merupa-

kan fase padat (solid phase). Analisis logam berat dilakukan di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Provinsi Sulawesi Selatan (terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional dengan nomor LP-400-IDN).

Penentuan total partikel tersuspensi (TSS) menggunakan metode gravimetri dengan tahapan homogenisasi sampel, penyaringan, pencucian, pengeringan dan penimbangan. Karbon organik terlarut dianalisis menggunakan titrasi KMnO_4 . Titrasi dilakukan dengan melihat perubahan warna (merah jambu) dan mencatat volume titran yang dipakai. Beberapa parameter lingkungan yang diukur secara *in situ* adalah salinitas dengan hand-refraktometer, suhu dengan termometer, pH dengan pH Meter, oksigen terlarut dengan DO Meter.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian dan sebaran titik sampling di perairan Estuaria Jeneberang, Sulawesi Selatan.

2.3. Analisis Data

Distribusi logam berat Pb dan Zn dianalisis secara deskriptif, perilaku logam berat dianalisis menggunakan pendekatan *theoretical dilution line* untuk mengungkap proses adsorpsi-desorpsi logam berat dalam estuaria, hubungan antara distribusi logam berat dengan parameter fisika kimia perairan dianalisis dengan regresi dan korelasi, pengaruh perbedaan musim dan kondisi pasang surut terhadap distribusi logam berat dianalisis dengan uji T sampel berpasangan menggunakan perbandingan rata-rata (*compare means*).

Tingkat pencemaran logam berat dianalisis menggunakan indeks beban pencemaran (*pollution load index*) berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 tahun 2003 tentang status mutu air dan indeks pencemaran air dengan persamaan;

$$PLI = \sum (C_1/L_1, C_2/L_2, \dots, C_n/L_n)$$

dimana C_n adalah konsentrasi logam berat terlarut hasil pengukuran dan L_n adalah konsentrasi alami. Total indeks pencemaran menggunakan persamaan Numerow (1991);

$$TPLI = \sqrt{\frac{(C_n/L_n)_M^2 + (C_n/L_n)_R^2}{2}}$$

dimana $(C_n/L_n)_M$ adalah indeks beban pencemaran maksimum dan $(C_n/L_n)_R$ adalah indeks beban pencemaran rata-rata. Kategori tingkat pencemaran dibagi dalam empat kelas yaitu $PLI < 1$ tidak tercemar, $1 < PLI < 5$ tercemar ringan, $5 < PLI < 10$ tercemar sedang, $PLI > 10$ tercemar berat.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Distribusi Pb dan Zn

Distribusi logam berat Pb dan Zn terlarut dan partikulat menunjukkan pola yang berbeda. Pola distribusi logam berat Pb dan Zn terlarut dari sungai ke laut cenderung meningkat, sebaliknya Pb partikulat cenderung menurun dan Zn partikulat polanya

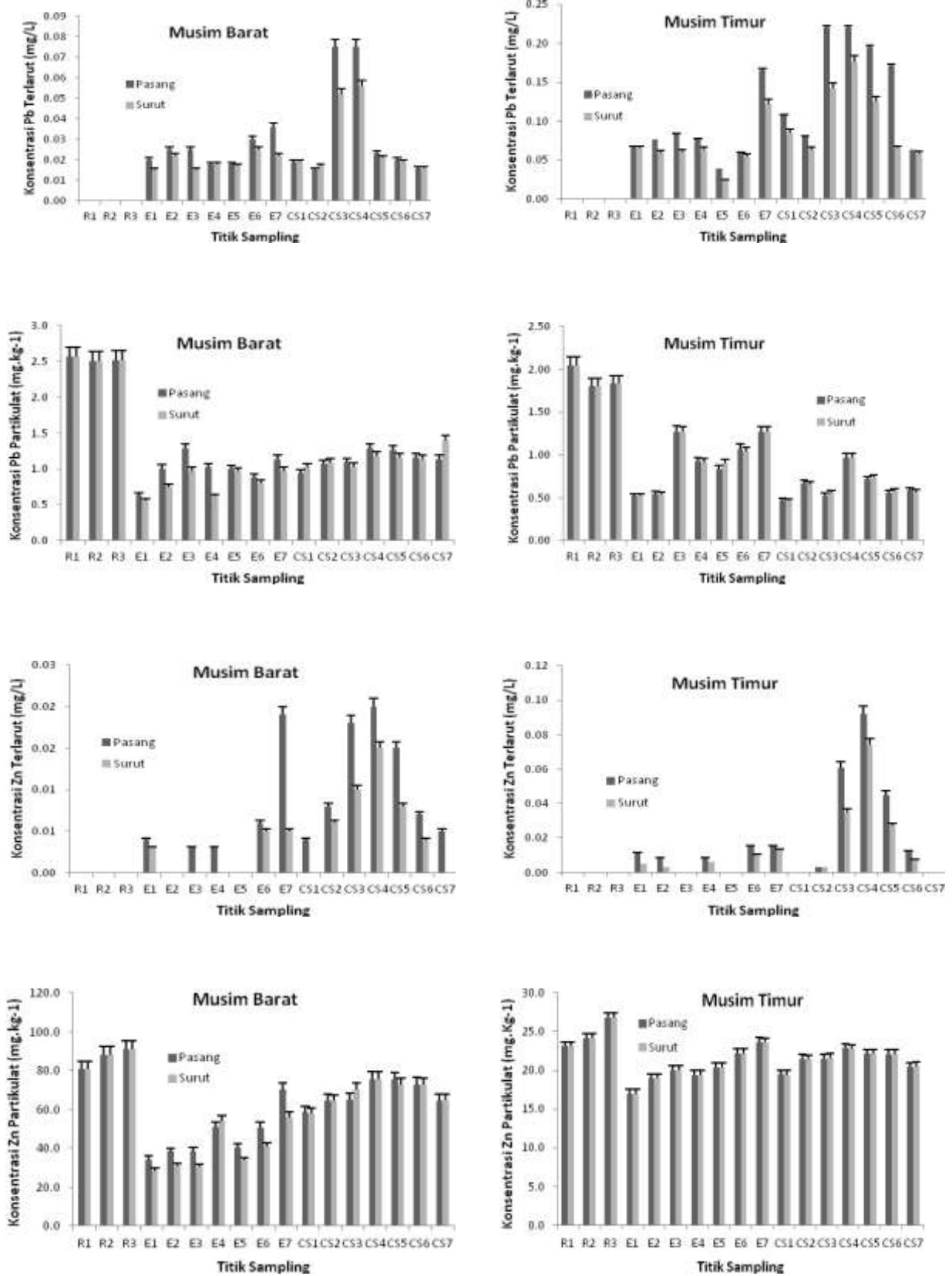
cenderung membentuk garis mendatar dari sungai ke laut seperti disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan pola distribusinya maka logam berat Pb dan Zn terlarut menunjukkan sumber logam berat terlarut dominan berasal dari perairan pantai/laut (*coastal based sources*), sedang sumber logam berat Pb dan Zn partikulat berasal dari sungai dan laut (*river and coastal based sources*).

Distribusi kisaran dan rata-rata konsentrasi logam berat Pb terlarut pada musim barat (musim hujan) masing-masing saat pasang dan surut berdasarkan zona perairan adalah di perairan sungai $< 0,002$ mg/L (tidak dipengaruhi pasang surut), estuaria 0,018-0,037 mg/L (0,025 mg/L) dan 0,015-0,025 mg/L (0,019 mg/L), pantai 0,015-0,075 mg/L (0,035 mg/L) dan 0,016-0,056 mg/L (0,029 mg/L) sedang pada musim timur (musim kemarau) adalah di perairan sungai $< 0,002$ mg/L (tidak dipengaruhi pasang surut), estuaria 0,039-0,166 mg/L (0,081 mg/L) dan 0,024-0,122 mg/L (0,064 mg/L), pantai 0,063-0,221 mg/L (0,151 mg/L) dan 0,058-0,175 mg/L (0,102 mg/L). Konsentrasi $< 0,002$ mg/L menunjukkan nilai konsentrasi di bawah batas deteksi alat.

Kisaran dan rata-rata konsentrasi logam berat Zn terlarut pada musim barat (musim hujan) masing-masing saat pasang dan surut berdasarkan zona perairan adalah di perairan sungai $< 0,002$ mg/L (tidak dipengaruhi pasang surut), estuaria $< 0,002$ -0,019 mg/L (0,005 mg/L) dan $< 0,002$ -0,005 mg/L (0,002 mg/L), pantai 0,004-0,020 mg/L (0,011 mg/L) dan $< 0,002$ -0,015 mg/L (0,006 mg/L), sedang pada musim timur (musim kemarau) adalah di perairan sungai $< 0,002$ mg/L (tidak dipengaruhi pasang surut), estuaria $< 0,002$ -0,015 mg/L (0,008 mg/L) dan $< 0,002$ -0,013 mg/L (0,005 mg/L), pantai $< 0,002$ -0,092 mg/L (0,030 mg/L) dan $< 0,002$ -0,074 mg/L (0,021 mg/L).

Sebaran logam berat Pb dan Zn terlarut berdasarkan titik sampling dan zona perairan menunjukkan konsentrasi logam berat Pb terlarut tertinggi pada titik CS4 yang merupakan zona perairan pantai dan terendah

Distribusi dan Perilaku Pb dan Zn . . .



Gambar 2. Sebaran konsentrasi Pb dan Zn terlarut (mg/L) dan partikulat (mg kg⁻¹) pada musim barat-timur dan kondisi pasang-surut.

pada titik E1 zona perairan tawar (sungai). Pola distribusi logam berat Zn terlarut juga serupa dengan pola distribusi logam berat Pb terlarut, dimana konsentrasi Zn terlarut yang tertinggi dan terendah ditemukan pada titik atau zona yang sama dengan konsentrasi Pb terlarut.

Konsentrasi logam berat Pb dan Zn terlarut yang lebih tinggi pada titik CS4 (zona perairan pantai) diduga berasal dari berbagai aktivitas di sekitar perairan pantai seperti kegiatan di pelabuhan Internasional Soekarno Hatta dan aktivitas domestik perairan pantai Losari Kota Makassar seperti rumah sakit, rumah makan, hotel, tempat hiburan, dan pemukiman. Sumber potensinya berasal dari buangan knalpot mobil dan kapal/perahu nelayan, debu yang berasal dari jalan dan pemukiman, buangan limbah rumah sakit dan hotel, buangan hasil pencucian dari rumah makan, rumah tangga dan hotel serta buangan dari lokasi rekreasi pantai. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Werolangi *et al.* (2013) yang juga menemukan konsentrasi Pb terlarut yang tinggi di sekitar perairan pantai Losari yang dijustifikasi berasal dari sumber antropogenik.

Distribusi konsentrasi logam berat Pb dan Zn terlarut pada kondisi pasang dan surut menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat antara kondisi pasang dan surut berbeda, sebaliknya untuk logam berat partikulat tidak ada perbedaan distribusi konsentrasi pada kondisi pasang dan surut, yang diperoleh dari hasil uji t menggunakan Perbandingan Rata-rata (Compare Means). Konsentrasi logam berat Pb dan Zn terlarut saat air laut pasang cenderung lebih tinggi dibanding pada saat air laut surut. Hal ini disebabkan karena sumber logam berat terlarut berasal dari perairan pantai bagian utara yang terba-wa oleh arus pasang ke wilayah pantai Jeneberang dan masuk ke dalam estuaria. Kecepatan aliran massa air saat pasang di wilayah pantai juga lebih tinggi menyebabkan terjadinya pengadukan massa air (turbulensi) sehingga terjadi resuspensi sedimen dasar ke kolom air yang diikuti proses desorpsi logam

berat sehingga terjadi penambahan (addition) logam berat terlarut dalam kolom air. Hal ini sesuai dengan Tengeberg *et al.* (2003) dan Lenzi (2008) bahwa resuspensi sedimen dasar dapat menyebabkan peningkatan logam berat terlarut akibat desorpsi.

Perbedaan besaran nilai konsentrasi logam berat Pb dan Zn terlarut menunjukkan bahwa sifat atau karakteristik kedua logam tersebut berbeda. Konsentrasi logam berat Pb terlarut yang cukup tinggi dalam kolom air menggambarkan sifat logam berat Pb sebagai logam dengan kelarutan yang cukup tinggi sedang konsentrasi logam berat Zn terlarut yang sangat kecil menjelaskan bahwa sifat logam berat Zn merupakan logam berat dengan tingkat kelarutan yang rendah. Hal ini pula dibuktikan dengan tingginya konsentrasi logam berat Zn dalam bentuk partikulat dan dalam sedimen dibanding konsentrasi logam berat Pb. Pernyataan ini senada dengan Effendi (2003) bahwa kelarutan unsur seng dan oksida seng dalam air relative rendah.

Distribusi kisaran (rata-rata) konsentrasi logam berat Pb partikulat pada musim barat (musim hujan) dan saat pasang dan surut berdasarkan zona perairan adalah di perairan sungai 2,513-2,569 mg kg⁻¹ (2,534 mg kg⁻¹) (tidak dipengaruhi pasang surut), estuaria 0,639-1,283 mg kg⁻¹ (0,996 mg kg⁻¹) dan 0,560-0,971 mg kg⁻¹ (0,805 mg kg⁻¹), pantai 0,945-1,288 mg kg⁻¹ (1,136 mg kg⁻¹) dan 1,022-1,395 mg kg⁻¹ (1,143 mg kg⁻¹), sedang pada musim timur (musim kemarau) adalah di perairan sungai 1,807-2,046 mg kg⁻¹ (1,896) (tidak dipengaruhi pasang surut), estuaria 0,521-1,273 mg kg⁻¹ (0,921 mg kg⁻¹) dan 0,520-1,270 mg kg⁻¹ (0,921 mg kg⁻¹), pantai 0,470-0,965 mg kg⁻¹ (0,640 mg kg⁻¹) dan 0,459-0,966 mg kg⁻¹ (0,642 mg kg⁻¹).

Kisaran dan rata-rata konsentrasi logam berat Zn partikulat pada musim barat (musim hujan) masing-masing saat pasang dan surut berdasarkan zona perairan adalah di perairan sungai 60,946-90,942 mg kg⁻¹ (80,021 mg kg⁻¹) (tidak dipengaruhi pasang surut), estuaria 34,235-70,308 mg kg⁻¹ (46,235 mg kg⁻¹) dan 28,536-55,810 mg kg⁻¹

(39,181 mg kg⁻¹), pantai 58,613-75,634 mg kg⁻¹ (68,112 mg kg⁻¹) dan 57,684-75,732 mg kg⁻¹ (68,263 mg kg⁻¹), sedang pada musim timur (musim kemarau) adalah di perairan sungai 19,151-26,876 mg kg⁻¹ (23,399 mg kg⁻¹) (tidak dipengaruhi pasang surut), estuaria 17,005-26,643 mg kg⁻¹ (20,684 mg kg⁻¹) dan 16,992-26,636 mg kg⁻¹ (20,676 mg kg⁻¹), pantai 19,467-22,877 mg kg⁻¹ (21,419 mg kg⁻¹) dan 19,410-22,775 mg kg⁻¹ (21,424 mg kg⁻¹).

Konsentrasi logam berat partikulat Pb dan Zn dalam kolom air ditemukan tertinggi pada zona perairan tawar (sungai) kemudian perairan pantai dan konsentrasi terendah terdapat pada zona perairan payau (estuaria). Sebaran konsentrasi logam berat Pb dan Zn partikulat cenderung lebih rendah pada saat surut di zona perairan estuaria (daerah turbulensi massa air) karena mekanisme desorpsi (lepasnya ikatan logam berat pada permukaan partikel). Adapun di wilayah perairan tawar (sungai) konsentrasi logam berat terlarut dan partikulat Pb dan Zn tidak berubah karena tidak dipengaruhi oleh pergerakan air pasang dan surut air laut.

Konsentrasi logam berat bentuk partikulat dalam kolom air sangat erat kaitannya dengan konsentrasi partikel tersuspensi. Partikel tersuspensi dengan konsentrasi yang tinggi dalam kolom air menyebabkan semakin banyak partikel tersuspensi mengadsorpsi logam berat terlarut sehingga terjadi penurunan konsentrasi logam berat terlarut dan peningkatan logam berat partikulat dalam kolom air. Pernyataan ini diperkuat oleh pernyataan (Hatje *et al.*, 2003, Kontas, 2012, Sanusi, 2006) bahwa di dalam kolom air, partikel tersuspensi memiliki kemampuan mengadsorpsi material terlarut pada lapisan permukaannya (*surface hydrophobic adsorption*) melalui proses fisika kimia. Proses adsorpsi akan mengurangi kadar senyawa kimia terlarut dalam kolom air dan meningkatkan kadar logam partikulat dan pada sedimen.

Sumber potensial logam berat partikulat dari lahan atas (upstream) berasal hasil

pelapukan batuan atau erosi tanah dan limpasan permukaan dari berbagai aktivitas di daratan di sepanjang jalur yang dilalui aliran Sungai Jeneberang seperti aktivitas pertanian, pemukiman, dan transportasi darat kemudian masuk ke dalam perairan melalui aliran sungai. Sumber logam berat partikulat yang berasal dari pantai diduga berasal dari debu dari aktivitas bongkar muat barang di pelabuhan dan aktivitas domestik di sekitar pantai Losari.

Padatnya aktivitas transportasi baik laut maupun darat di sekitar kawasan pelabuhan dan kawasan urban Pantai Losari menjadi sumber polutan Pb terutama dari buangan asap karena TEL (tetra ethyl lead) digunakan sebagai peningkat nilai oktan bahan bakar sehingga buangan dari asap pembakaran mesin meningkatkan Pb dalam lingkungan. Hal ini didukung oleh pernyataan Syakti *et al.* (2012) bahwa konsentrasi Pb terlarut dalam lingkungan akuatik yang mendapat input dari aktivitas manusia terutama berasal dari asap kendaraan bermotor yang mengandung TEL (tetra ethyl lead) yang digunakan sebagai peningkat nilai oktan bahan bakar sehingga konsentrasinya meningkat.

Hasil uji T menggunakan perbandingan rata-rata diketahui bahwa perbedaan musim barat dan timur (musim hujan dan kemarau) mempengaruhi distribusi konsentrasi logam berat Pb dan Zn terlarut dan partikulat. Hasil penelitian ini sama dengan beberapa hasil penelitian lainnya yang juga membuktikan bahwa perbedaan musim mempengaruhi distribusi konsentrasi logam berat di dalam suatu sistem perairan secara umum.

Penurunan konsentrasi logam berat terlarut pada musim hujan disebabkan adanya peningkatan massa air yang masuk ke dalam badan air, baik yang berasal dari aliran sungai, limpasan permukaan, maupun hasil presipitasi dari atmosfer sehingga terjadi pengenceran dalam badan air. Peningkatan konsentrasi logam berat partikulat pada musim hujan dalam perairan berasal dari peningkatan konsentrasi partikel tersuspensi

yang mengikat logam berat akibat tingginya intensitas erosi dan pengikisan di darat. Hal ini sesuai dengan pernyataan yang dikemukakan oleh Al-Najjar *et al.* (2008) bahwa faktor musim juga mempengaruhi distribusi konsentrasi logam berat.

Satu hal yang menarik dan berbeda di lokasi penelitian ini adalah keberadaan bendungan karet yang menjadi batas antara perairan tawar (sungai) dan perairan payau (estuaria). Bendungan ini digunakan oleh perusahaan daerah air minum setempat sebagai sumber bahan baku air. Keberadaan bendungan tersebut mengakibatkan jumlah masukan air tawar dan partikel yang masuk ke dalam estuaria menjadi terbatas karena hanya mengalir dibagian atas atau permukaan bendungan sehingga mempengaruhi pola percampuran massa air di dalam estuaria dan transpor polutan logam berat dari sungai ke dalam estuaria.

Keberadaan bendungan menyebabkan pula gerakan massa air di batas atas bendungan menjadi cukup kecil sehingga deposisi partikel menjadi tinggi dan kemudian berpengaruh terhadap transpor atau fluks polutan logam berat partikulat ke dalam estuaria menjadi berkurang karena sebagian telah terdeposisi bersama partikel. Indikasi ini terlihat pada data yang diperoleh dimana konsentrasi logam berat Pb dan Zn partikulat cukup tinggi dalam partikel (Gambar 2). Perubahan sebaran logam berat terlihat adanya penurunan yang cukup signifikan konsentrasi logam berat partikulat dan dalam sedimen setelah bendungan sedang bentuk terlarut terdapat peningkatan. Hal ini sesuai dengan Chester (1990) yang menyatakan bahwa perilaku logam berat dalam perairan sangat dipengaruhi oleh interaksi antara fase terlarut dan partikulat (padatan) serta input polutan.

Bendungan di lokasi penelitian memberikan pengaruh terhadap transpor dan distribusi polutan logam berat dalam perairan khususnya logam berat partikulat dengan menurunnya laju transpor polutan dari sungai ke estuaria akibat terdeposit bersama partikel ke

dasar perairan. Dengan demikian, konsentrasi Pb dan Zn yang cukup tinggi dalam bentuk partikulat dan rendah dalam bentuk terlarut mengakibatkan mobilitas logam berat Pb dan Zn cukup kecil sehingga menurunkan dampak resiko lingkungan yang bisa timbul.

Distribusi temporal dan spasial polutan logam berat terlarut sangat ditentukan oleh dua proses yaitu 1) hidrodinamika lokal berperan dalam dispersi polutan, dan 2) interaksi antara partikel dan air yang ditentukan oleh partisi logam antara fase partikel dan terlarut karena mekanisme transpor antara partikel dan zat terlarut berbeda (Turekian, 2010). Oleh karena itu, konsentrasi partikel tersuspensi dan karakteristiknya sangat berperan mengontrol fraksi logam partikel. Logam seng (Zn) yang memiliki koefisien partisi (K_D) yang besar cenderung membentuk ikatan kompleks dengan grup karboksil dan hidroksil yang biasanya dominan pada permukaan partikel alami sehingga konsentrasi bentuk partikulatnya selalu cukup besar. Logam timbal (Pb) mempunyai K_D yang tidak terlalu besar memiliki kemampuan membentuk senyawa kompleks dengan ion klorida di dalam air.

Perbandingan konsentrasi logam berat Pb dan Zn terlarut dengan hasil penelitian Rastina (2012) di Estuaria Tallo dan Samawi (2007) di perairan pantai Kota Makassar menunjukkan konsentrasi yang diperoleh dilokasi penelitian ini lebih kecil. Konsentrasi Pb dan Zn terlarut lebih tinggi di Estuaria Tallo karena sangat dekat dengan wilayah industri sedang Estuaria Jeneberang merupakan wilayah urban. Bila dibandingkan dengan hasil penelitian lain di beberapa perairan di Indonesia yang terpublikasi maka cenderung terlihat memiliki nilai konsentrasi yang tidak jauh berbeda seperti disajikan pada Tabel 1.

Distribusi konsentrasi logam berat Pb dan Zn di lokasi penelitian diuji dengan uji normalitas menggunakan Kolmogorov-Smirnov dan hasilnya menunjukkan bahwa data terdistribusi secara normal. Artinya bahwa

Tabel 1. Perbandingan konsentrasi Pb dan Zn terlarut (mg/L) dan partikulat (mg kg⁻¹) di beberapa lokasi perairan di Indonesia.

Nama Peneliti	Lokasi Penelitian	Terlarut		Partikulat	
		Pb	Zn	Pb	Zn
Penelitian ini	Estuaria Jeneberang	<0,002-0,221	<0,002-0,092	0,465-2,569	16,998-
Samawi, 2007	Pantai Kota Makassar	0,158-0,167	-	-	90,942
Rastina, 2012	Estuaria Tallo, Makassar	<0,002-0,492	0,009-0,087	-	-
Sagala <i>et al.</i> , 2014	Perairan Pulau	<0,005	-	-	-
Arifin, 2011	Natuna Teluk Kelabat, Pulau	0,001-0,0026	0,001-0,004	-	-
Sanusi <i>et al.</i> , 2005	Bangka	0,0024-0,0121	-	0,0002-0,007	-
Mokoagouw, 2000	Teluk Jakarta Pantai Bitung	<0,0001- 0,0025	<0,0001-0,0240	-	-

stasiun terpilih telah mewakili populasi Estuaria Jeneberang dan data empirik yang didapatkan dari lapangan tersebut sesuai dengan distribusi teoritiknya sehingga hasil penelitian bisa digeneralisasikan terhadap keseluruhan perairan sekitar Estuaria Jeneberang. Analisis distribusi normal menunjukkan nilai absolut (D) sebesar 0,218 dan 0,129 masing-masing untuk logam berat Pb dan Zn atau nilai Kolmogorov-Smirnov (Z) sebesar 0,899 dan 0,530 masing-masing untuk logam berat Pb dan Zn lebih kecil dari nilai t table pada selang kepercayaan 95 %.

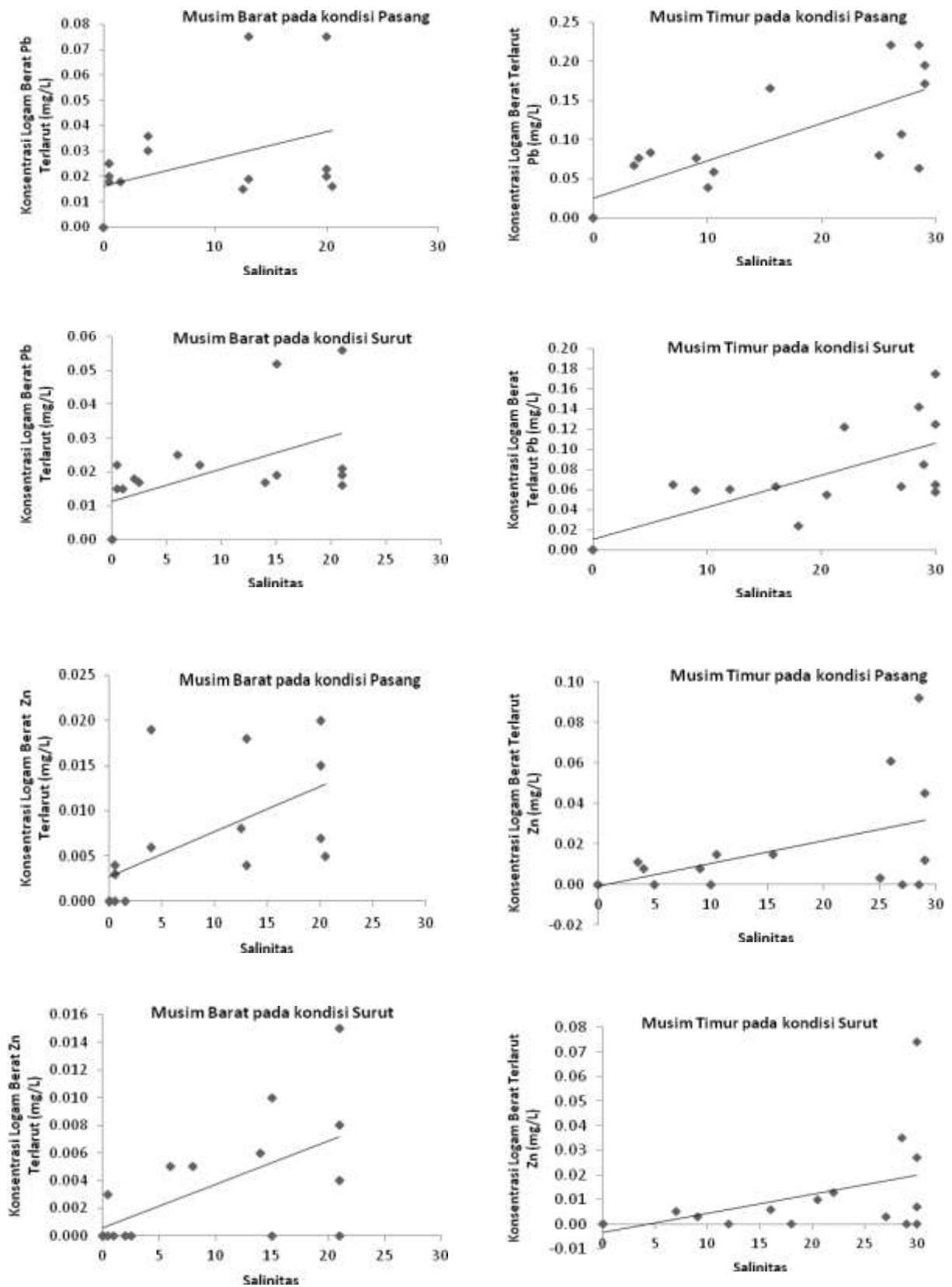
3.2. Perilaku Pb dan Zn Terlarut dan Partikulat

Perilaku logam berat dalam lingkungan perairan selain dipengaruhi oleh karakteristik logamnya juga dipengaruhi oleh parameter fisika kimia lingkungan perairan. Logam berat dalam perairan bersifat non-konservatif atau reaktif (mengalami perubahan konsentrasi) karena adanya proses *removal* (adsorpsi) atau *addition* (desorpsi), deposisi-resuspensi, dan dispersi namun tidak mengalami proses degradasi oleh aktivitas mikrobiologi dan fotolisis. Perilaku logam berat terlarut dan partikulat dalam perairan dapat diamati melalui hubungan antara konsentrasi logam berat dengan salinitas. Logam berat yang mengalami adsorpsi ditandai dengan konsentrasinya yang berada di bawah nilai *theoretical dilution line* (TDL) dan sebaliknya mengalami desorpsi jika konsen-

trasinya berada di atas garis TDL (Chester, 1990).

Perilaku logam berat terlarut secara umum pada perairan estuaria memperlihatkan kecenderungan dimana grafik *theoretical dilution line* menurun di sepanjang gradien peningkatan salinitas. Kondisi tersebut menggambarkan bahwa konsentrasi logam berat terlarut dalam perairan estuaria terutama bersumber dari sungai, sebagaimana yang dikemukakan oleh Burton & Liss (1976), Libes (2009), dan Chester (1990). Namun, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perilaku logam berat Pb dan Zn terlarut berbeda dari perilaku umum logam berat tersebut. Pola hubungan konsentrasi logam berat Pb dan Zn terlarut di lokasi penelitian pada musim barat dan musim timur dalam kondisi air pasang dan surut menunjukkan kecenderungan konsentrasi logam berat terlarut meningkat seiring peningkatan nilai salinitas seperti terlihat pada Gambar 3.

Perilaku logam berat terlarut yang berbeda di lokasi penelitian dengan perilaku umum logam berat terlarut di wilayah estuaria disebabkan karena kecilnya input polutan logam berat terlarut yang masuk ke dalam perairan estuaria yang berasal dari sungai sedang masukan logam berat terlarut ke dalam perairan estuaria yang bersumber dari perairan pantai cukup tinggi. Perbedaan perilaku logam berat terlarut di lokasi penelitian juga disebabkan karena proses adsorpsi (*removal*) logam berat terlarut oleh partikel



Gambar 3. Hubungan konsentrasi logam berat Pb dan Zn terlarut dengan salinitas di Estuaria Jeneberang.

lebih kecil dibanding dengan desorpsi (*addition*) ke dalam badan air di zona perairan payau (estuaria) dan perairan asin (pantai). Penambahan (*addition*) logam berat terlarut yang cukup tinggi dari perairan laut/pantai dibanding yang berasal dari sungai menyebabkan perilaku umum logam berat terlarut di lokasi penelitian berbeda dengan perairan estuaria lainnya.

Pada Gambar 3 terlihat bahwa desorpsi (*addition*) logam berat terlarut terjadi di sepanjang salinitas yang lebih besar dari 0,5 yaitu pada perairan estuaria dan pantai dan desorpsi semakin tinggi dengan meningkatnya salinitas. Adapun proses adsorpsi (*removal*) terjadi pada salinitas yang lebih tinggi yaitu pada salinitas lebih besar dari 10. Pada musim barat dalam kondisi pasang terlihat bahwa logam berat Pb terlarut mengalami proses adsorpsi pada salinitas 12-21 sedang pada kondisi surut adsorpsi terlihat pada salinitas 14-21 yang ditunjukkan dengan nilai konsentrasi terlarut Pb berada di bawah nilai TDL (*theoretical dilution line*). Pada musim timur dalam kondisi pasang terlihat bahwa proses adsorpsi logam berat terlarut oleh partikel terjadi pada salinitas 10-30 sedang pada kondisi surut adsorpsi terlihat terjadi pada salinitas 18-30.

Logam berat Zn terlarut mengalami adsorpsi pada salinitas yang lebih rendah dibanding pada logam berat terlarut Pb. Pada musim barat, adsorpsi terlihat terjadi pada salinitas 0,5-21 baik pada kondisi pasang maupun surut. Sedang pada musim timur, adsorpsi terlihat terjadi pada salinitas 5-30 pada kondisi pasang dan pada salinitas 9-30 untuk kondisi surut.

Fenomena tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan karakteristik antara logam berat Pb dan Zn. Karakteristik logam berat Zn memiliki tingkat kelarutan yang lebih kecil dibanding logam berat Pb sehingga Zn dapat mengalami proses adsorpsi pada salinitas yang lebih rendah. Hal ini sesuai dengan Effendi (2003) bahwa kelarutan unsur seng dan oksida seng dalam air relatif lebih rendah dibanding kelarutan timbal.

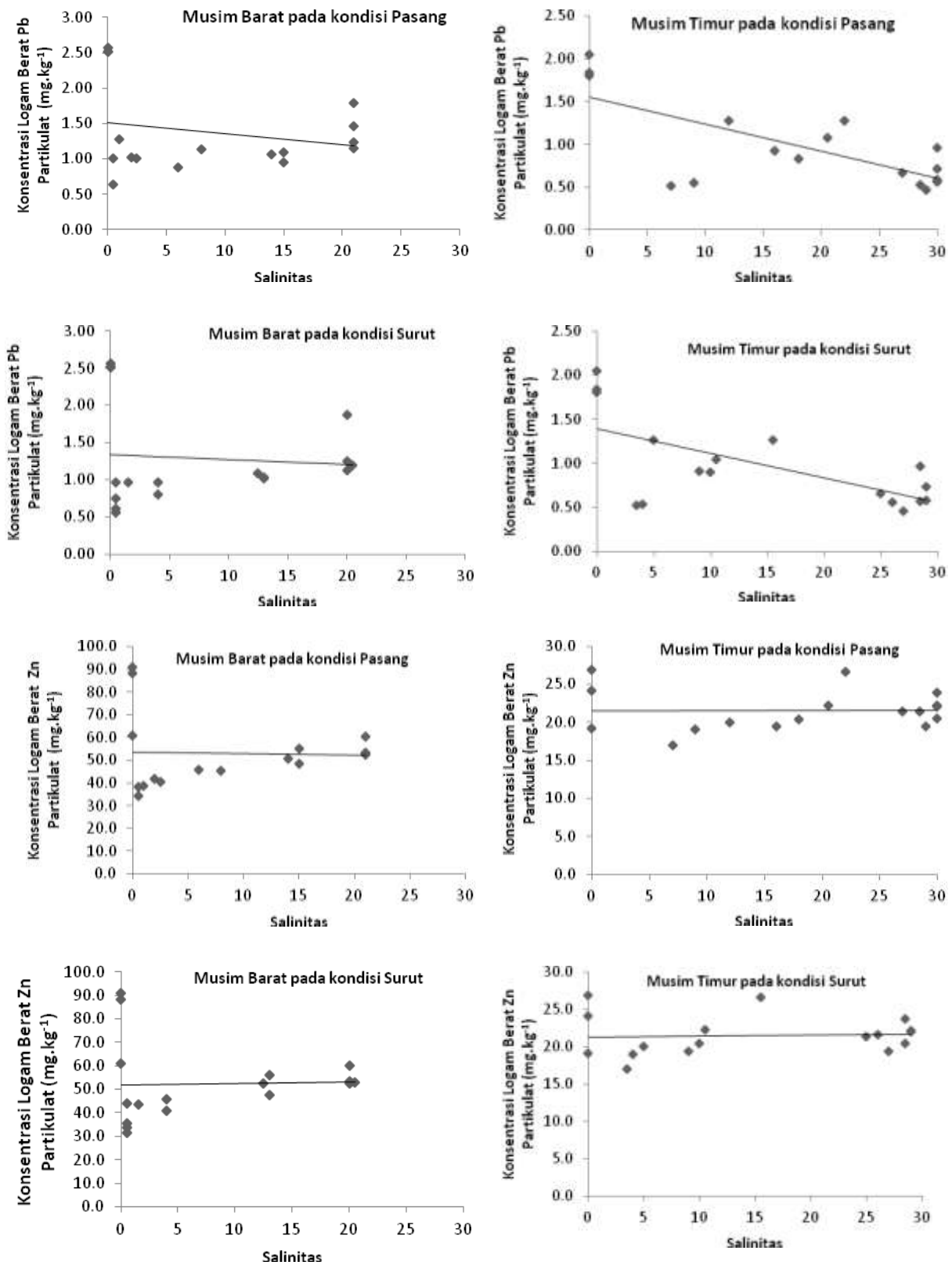
Perilaku logam berat Pb dan Zn bentuk partikulat berbeda dengan bentuk terlarutnya. Logam berat Pb partikulat cenderung menunjukkan grafik *theoretical dilution line* menurun di sepanjang gradien peningkatan salinitas. Artinya bahwa terjadi penurunan konsentrasi logam berat partikulat seiring peningkatan nilai salinitas baik pada musim barat-timur maupun kondisi pasang-surut seperti terlihat pada Gambar 4.

Kondisi ini menunjukkan bahwa proses desorpsi lebih besar dibanding proses adsorpsi dalam lingkungan estuaria dan laut. Proses desorpsi menyebabkan menurunnya konsentrasi logam berat partikulat karena lepasnya logam berat partikulat dari permukaan partikel menjadi logam berat terlarut ke dalam air.

Logam berat partikulat Zn menunjukkan grafik *theoretical dilution line* yang lurus mengindikasikan bahwa input logam berat ke dalam estuaria berasal dari sungai dan perairan pantai serta mekanisme adsorpsi dan desorpsi berlangsung dalam kondisi seimbang. Artinya bahwa jumlah logam berat partikulat yang lepas dari permukaan partikel seimbang dengan jumlah logam berat terlarut yang terserap oleh partikel.

Namun perlu dipahami bahwa perilaku logam berat terlarut dan partikulat dalam perairan tidak hanya dipengaruhi oleh proses adsorpsi-desorpsi tetapi juga ditentukan oleh besarnya input logam berat terlarut dan partikulat yang masuk ke dalam perairan yang dapat bersumber dari daratan maupun dari laut.

Beberapa penelitian menunjukkan adanya perilaku logam berat terlarut yang berbeda di perairan estuaria seperti; Duinker dan Notling (1978), di Estuaria Rhine yang telah tercemar logam berat dimana Cu, Zn dan Cd mengalami proses *removal* (teradsorpsi). Boyle *et al.* (1982), di Estuari Amazon dengan karakter estuaria yang mengandung bahan organik rendah namun partikel tersuspensi tinggi menunjukkan Cu bersifat konservatif sementara Cd bersifat non-konservatif dimana Cd mengalami desorpsi



Gambar 4. Hubungan konsentrasi logam berat Pb dan Zn partikulat dengan salinitas di Estuaria Jeneberang.

pada salinitas rendah. Hal yang sama terlihat pada penelitian Edmond *et al.* (1985), di Estuari Changjiang dimana Cu bersifat konservatif dan Cd mengalami desorpsi pada salinitas rendah.

Windom *et al.* (1983) di Savannah dan Ogeechee (USA) yang menunjukkan bahwa Cu bersifat non-konservatif dimana proses *addition* (desorpsi) pada salinitas yang lebih kecil dari 5 dan lebih besar dari 20 serta bersifat *removal* (adsorpsi) pada salinitas intermediet (5–20). Peningkatan konsentrasi Cu pada salinitas <5 terjadi karena adanya pelepasan (desorpsi) dari partikel tersuspensi yang dibawa oleh air sungai dan peningkatan pula terjadi pada salinitas >20 karena hasil resuspensi sedimen. Sejalan dengan hal tersebut Li *et al.* (1984) menyatakan bahwa Cd dan Zn akan terdesorpsi dari material tersuspensi yang berasal dari sungai di sistem estuaria.

Lim *et al.* (2012) yang melakukan penelitian di Sungai Langat Malaysia, menemukan bahwa logam Pb mempunyai kecenderungan lebih tinggi konsentrasinya di dalam sedimen dibanding di dalam kolom air. Fenomen ini menunjukkan bahwa logam Pb memiliki kapasitas adsorpsi yang cukup besar. Adapun Hamad *et al.* (2012) pada penelitiannya di Sungai Tigris menyatakan bahwa logam Pb memiliki kecenderungan dimana konsentrasinya dalam bentuk terlarut dan partikulat cenderung seimbang. Fakta tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan karakteristik logam berat antara di Sungai Langat Malaysia dengan Sungai Tigris Irak. Perbedaan tersebut disebabkan oleh perbedaan karakteristik partikel tersuspensi (komposisi, ukuran, dan konsentrasi) yang berperan dalam mekanisme adsorpsi dan desorpsi dan perbedaan karakteristik fisika kimia perairan.

Keberadaan bendungan dekat hilir (muara sungai) juga menyebabkan perubahan pola perilaku logam berat terlarut di lokasi penelitian karena perubahan suplai air tawar yang masuk ke estuaria menjadi sangat kecil sehingga massa air laut sangat dominan di

dalam estuaria. Kondisi ini menyebabkan pola pencampuran massa air tawar dan asin dalam estuaria bercampur secara sempurna sehingga Estuaria Jeneberang memiliki tipe tercampur sempurna (*well mixed estuary*). Pendapat ini diperkuat oleh Chester (1990) bahwa perilaku logam berat dalam perairan estuaria ditentukan pula oleh karakteristik atau tipe estuaria. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa proses *removal* (adsorpsi) logam terlarut Pb dan Zn tidak berlangsung secara efektif di Estuari Gota, Swedia, dimana tipe estuarinya baji garam (*salt wedge*) dan relatif tidak tercemar.

3.3. Hubungan Distribusi Pb dan Zn Terlarut dan Partikulat dengan Parameter Fisika Kimia Perairan

Distribusi logam berat dalam perairan selain dipengaruhi oleh sifat atau karakteristik logam berat, perbedaan musim, dan karakteristik perairan seperti yang dijelaskan pada bagian sebelumnya. Distribusi logam berat juga dipengaruhi oleh beberapa parameter fisika kimia perairan seperti salinitas, pH, oksigen terlarut, konsentrasi TSS, dan kandungan organik terlarut dalam air.

Analisis hubungan konsentrasi logam berat Pb dan Zn bentuk terlarut dan partikulat dengan parameter fisika kimia perairan menunjukkan nilai korelasi yang sangat kuat ditandai dengan nilai *R square* yang cukup besar yaitu sebesar 0,933 dan 0,877 untuk logam berat Pb terlarut dan Pb partikulat, sedang untuk logam berat Zn bentuk terlarut dan partikulatnya masing-masing dengan nilai *R square* sebesar 0,941 dan 0,845. Selain itu, hubungan konsentrasi logam berat dengan parameter fisika kimia perairan dapat pula ditunjukkan melalui analisis korelasi dengan merujuk pada nilai koefisien korelasi Pearson seperti pada Tabel 2.

Parameter fisika kimia perairan yang memiliki nilai korelasi paling kuat dengan konsentrasi logam berat Pb dan Zn bentuk terlarut dan partikulatnya masing-masing berturut-turut salinitas, oksigen terlarut, karbon organik terlarut, pH, konsentrasi par-

tikel tersuspensi, dan suhu. Namun perlu ditegaskan bahwa parameter fisika-kimia yang berpengaruh dalam suatu kompartemen lingkungan bukan merupakan kerja dari komponen tunggal tetapi merupakan kerja dari sejumlah komponen secara bersama-sama sehingga perilaku komponen kimia (logam berat) di dalam lingkungan sering berbeda antara suatu wilayah perairan.

Sebaran salinitas yang diperoleh dari hasil pengukuran di lokasi penelitian pada musim barat dan musim timur masing-masing berkisar antara 0,2-21 dan 02-30. Salinitas pada musim barat lebih rendah disebabkan oleh adanya input massa air tawar yang cukup besar dari aliran sungai oleh tingginya curah hujan maupun dari presipitasi secara langsung dari atmosfer masuk ke dalam perairan estuaria dan laut.

Distribusi parameter oksigen terlarut, pH, suhu, konsentrasi total padatan tersuspensi, dan kandungan karbon organik terlarut

cukup bervariasi baik pada musim barat maupun musim timur. Kisaran oksigen terlarut pada musim barat dan timur masing-masing antara 3,35-6,77 mg/L dan 3,24-6,26 mg/L, pH berada pada kisaran masing-masing pada musim barat dan timur adalah 5,50-7,25 dan 6,70-7,50, kisaran suhu pada musim barat dan timur antara 25-29,7 °C dan 27,5-32 °C, konsentrasi total padatan tersuspensi pada musim barat dan timur masing-masing berada pada kisaran antara 30-316 mg/L dan 10-31 mg/L, dan konsentrasi karbon organik terlarut berkisar antara 1,23-27,68 mg/L dan 6,48-31,91 mg/L masing-masing pada musim barat dan musim timur.

Kisaran nilai dari keseluruhan parameter fisika kimia kualitas perairan masih berada pada sebaran nilai yang cukup baik kecuali nilai TSS yang cukup tinggi pada musim barat yang berada di atas ambang baku mutu kualitas perairan untuk kelangsungan hidup biota.

Tabel 2. Matriks nilai koefisien korelasi Pearson antara konsentrasi Pb dan Zn terlarut dan partikulat dengan parameter fisika kimia perairan.

	Pb_T	Pb_P	Zn_T	Zn_P	Salinitas	Suhu	pH	DO	TSS	DOC
Pb_T	1									
Pb_P	-,375	1								
Zn_T	,872**	-,002	1							
Zn_P	,126	,637**	,341	1						
Salinitas	,720**	-,370	,549*	,287	1					
Suhu	-,269	-,012	-,218	-,444	-,725**	1				
pH	,671**	-,446	,467	,226	,989**	-,701**	1			
DO	,675**	-,331	,501*	,326	,975**	-,761**	,965**	1		
TSS	-,335	-,206	-,328	-,662**	-,726**	,746**	-,673**	-,724**	1	
DOC	,848**	-,445	,722**	,090	,898**	-,528*	,872**	,825**	-,532*	1

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Pb_T = Pb terlarut

Pb_P = Pb partikulat

Zn_T = Zn terlarut

Zn_P = Zn partikulat

DO = oksigen terlarut

TSS = total partikel tersuspensi

DOC = karbon organik terlarut

3.4. Penilaian Tingkat Pencemaran Logam Berat

Hasil perhitungan tingkat pencemaran oleh logam berat di Estuaria Jeneberang di peroleh nilai indeks beban pencemaran (PLI) untuk logam berat Pb adalah 6,108 (tercemar sedang) dan 18,940 (tercemar berat) masing-masing untuk musim barat dan timur. Adapun untuk logam berat Zn di peroleh nilai indeks beban pencemaran (PLI) masing-masing untuk musim barat dan timur sebesar 0,255 (tidak tercemar) dan 1,188 (tercemar ringan).

Jika lokasi penelitian dibagi berdasarkan zona perairan, maka diperoleh indeks beban pencemaran masing-masing zone adalah: 1) zona perairan sungai dengan PLI= 0 (tidak tercemar) baik logam berat Pb maupun Zn pada kedua musim, 2) zona perairan estuaria dengan PLI= 3,210 (tercemar ringan) dan 14,250 (tercemar berat) untuk logam berat Pb musim barat dan timur dan untuk logam berat Zn diperoleh PLI= 0,175 (tidak tercemar) dan 0,220 (tidak tercemar) untuk musim barat dan timur, 3) zona perairan pantai dengan PLI= 6,430 (tercemar sedang) dan 20,768 (tercemar berat) untuk logam berat Pb musim barat dan timur dan untuk logam berat Zn diperoleh PLI= 0,272 (tidak tercemar) dan 1,229 (tercemar ringan).

IV. KESIMPULAN

Distribusi logam berat Pb dan Zn terlarut dari sungai ke laut cenderung meningkat yang mengindikasikan sumber Pb dan Zn terlarut di perairan Estuaria Jeneberang berasal dari perairan pantai (coastal based sources), sebaliknya Pb dan Zn partikulat cenderung menurun dan membentuk pola garis mendatar yang mengindikasikan sumber Pb dan Zn partikulat di perairan Estuaria Jeneberang berasal dari perairan sungai dan pantai (river and coastal based sources). Berdasarkan hasil uji T sampel berpasangan menggunakan perbandingan rata-rata diketahui bahwa distribusi Pb dan Zn terlarut dipengaruhi oleh perbedaan musim dan kondisi

pasang surut, namun bentuk partikulat hanya dipengaruhi oleh perbedaan musim.

Proses adsorpsi Pb dan Zn terlarut lebih kecil dibanding desorpsinya dan sebaliknya pada logam berat partikulat. Proses adsorpsi logam berat Zn terlarut terjadi pada salinitas yang lebih rendah yaitu pada kisaran salinitas 0,5-30 sedang Pb terlarut teradsorpsi pada kisaran salinitas 12-30. Mekanisme adsorpsi desorpsi dipengaruhi oleh perbedaan musim dan kondisi pasang surut. Tingkat pencemaran perairan Estuaria Jeneberang oleh logam berat Pb termasuk kategori tercemar sedang sampai berat dan oleh logam berat Zn tergolong tercemar ringan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Ristek Dikti, Direktorat Jenderal Sumberdaya Iptek dan Dikti untuk pembiayaan penelitian ini melalui Program Hibah Kompetitif Nasional dalam Skema Hibah Penelitian Disertasi Doktor dengan nomor kontrak 003/PEN-DD/PL/2015. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada para reviewer yang telah banyak memberikan komentar dan saran untuk memperbaiki paper ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, F. 2013. Distribusi dan prediksi tingkat pencemaran logam berat (Pb, Cd, Cu, Zn, dan Ni) dalam sedimen di perairan Pulau Bangka menggunakan indeks beban pencemaran dan indeks geoakumulasi. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 5(1):170-181.
- Al-Najjar, T., J.B. Fawaz, R. Manasrah, M. Al-Zibdah, and A. Abu-Hilal. 2008. Variations of heavy metals concentration in suspended matter and physiochemical properties in the coastal surface water of the Gulf of Aqaba. *Jordan J. Biological Sciences* 1(4): 153-158.

- APHA, AWWA, WEF. 2005. Standard methods for the examination of water and waste water. 21st edition. American public health association-American water works association-water environment federation, Washington DC. 2.1-5.74pp
- Arifin, Z. 2011. Konsentrasi logam berat di air, sedimen, dan biota di Teluk Kelabat, Pulau Bangka. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 3(1):104-114.
- Boyle, E.A., S.S. Husted, and B. Grant. 1982. The chemical mass balance of the Amazon plu-II. Copper, nickel and cadmium. *Deep Sea Res.*, 29: 1355-1364.
- Burton, J.D and P.S. Liss. 1976. Estuarine chemistry. Academic Press. New York. 229p.
- Chester, R. 1990. Marine geochemistry. Unwin Hyman, London. 698p.
- Desmit, X., K. Ruddick, and G. Lacroix. 2015. Salinity predict the distribution of chlorophyll a spring peak in the southern North Sea continental waters. *J. Sea Res.*, 103:59-74.
- Duinker, J.C. and R.F. Notling. 1978. Mixing, removal and mobilization of trace metals in The Rhine Estuary. *Neth. J. Sea Res.*, 12:205-223.
- Edmond, J.M., A. Spivack, B.C. Grant, H. Ming-Hui, C. Zexiam, C. Sung, and Z. Xiushau. 1985. Chemical dynamics of the Changjiang estuary. *Cont. Shelf Res.*, 4:17-36.
- Effendi, H. 2003. Telaah kualitas air. Bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan. Penerbit Kanisius, Yogyakarta. 258hlm.
- Hamad, S.H., J.J. Schauer, M.M. Shafer, Al-Raheem, A.E., and H. Satar. 2012. The distribution between the dissolved and the particulate forms of 49 metals across the Tigris river, Baghdad, Iraq. *The Scientific World J.* 2012:1-13.
- Hamzah, F. dan A. Setiawan. 2010. Akumulasi logam berat Pb, Cu, dan Zn di hutan mangrove Muara Angke, Jakarta Utara. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 2(2):41-52.
- Hatje, V., T.E. Payne, D.M. Hill, G. McOrist, G.F. Birch, and R. Szymczak, 2003. Kinetics of trace element uptake and release by particles in estuarine waters: Effects of pH, salinity, and particle loading. *Environ. International*, 29:619-629.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 Tahun 2003 tentang Status Mutu Air dan Indeks Pencemaran Air. 15 hlm.
- Kontas, A. 2012. A case study of trace metals in suspended particulate matter and biota before wastewater treatment plant from the Izmir Bay, Turkey. *Environ Monit Assess* 184:2605–2616.
- Lestari. 2011. Distribusi dan geokimia logam berat dalam sedimen di perairan Semarang, Jawa Tengah. Prosiding pertemuan ilmiah tahunan VIII ISOI, Hotel Sahid, Makassar, 25-27 September 2011. Hlm.:204-217.
- Li, Y.H., L. Burkhard and H. Teroaka. 1984. Desorption and coagulation of trace elements during estuarine mixing. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 48: 1879-1884
- Libes, S. 2009. Introduction to marine biogeochemistry. Academic press. 909p.
- Mokoagouw, D. 2000. Kajian peredaran logam berat (Hg, Pb, Cd, Cu, dan Zn) pada perairan pantai Kodya Bitung Provinsi Sulawesi Utara. Disertasi. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor, Bogor. 310hlm.
- Numerow. 1991. Stream lake, estuary and ocean pollution. Second edition. Van Nostrand Reinhold. New York. 513p
- Peraturan daerah Kota Makassar tahun 2010 tentang rencana tata ruang wilayah Kota Makassar tahun 2010-2030. 70hlm

- Rastina. 2012. Strategi pengelolaan lingkungan berdasarkan pemodelan kualitas air di perairan estuaria Tallo, Sulawesi Selatan. Disertasi. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor, Bogor. 141hlm.
- Sagala, S.L., R. Bramawanto, A.R.T.D. Kuswardani, dan W. S. Pranowo. 2014. Distribusi logam berat di Pulau Natuna. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 6(2):297-310.
- Samawi, M. F. 2007. Desain sistem pengendalian pencemaran perairan pantai kota. Studi kasus perairan pantai Kota Makassar. Disertasi. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor. 139hlm.
- Sanusi, H.S., Fitriati M., dan Haeruddin. 2005. Peranan padatan tersuspensi mereduksi logam berat Hg, Pb, dan Cd terlarut dalam kolom air Teluk Jakarta. *Ilmu Kelautan*, 10(2):72-77.
- Sanusi, H.S. 2006. Kimia laut. Proses fisik kimia dan interaksinya dengan lingkungan. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan. IPB, Bogor. 188hlm.
- Syakti, A.D., Hidayati, N.V., dan Siregar, A.S. 2012. Agen pencemaran laut. IPB Press, Bogor. 254hlm.
- Turekian, K.K. 2010. Marine chemistry and geochemistry. A derivative of encyclopedia of ocean sciences, 2nd (ed.) Academic Press. 631p.
- Werorilangi, S., A. Tahir, A. Noor, dan M.F. Samawi. 2013. Status pencemaran dan potensi bioavailibilitas logam di sedimen perairan pantai Kota Makassar. Prosiding seminar nasional kelautan dan perikanan, Universitas Hasanuddin, Makassar. Hlm.:1-18.
- Windom, H.L., G. Wallace, R. Smith, N. Dudek, M. Maeda, R. Dulmage and F. Storti. 1983. Behaviour of copper in southeastern United States estuary. *Mar. Chem.*, 12:183-194.

Diterima: 8 Desember 2015

Direview: 14 April 2016

Disetujui: 8 Mei 2016