

Distribusi dan Status Kontaminasi Logam Berat pada Sedimen di Sepanjang Pantai Barat Perairan Selat Bali, Banyuwangi

Distribution and Contamination Status of Heavy Metals in the Surface Sediments along Western Coast of Bali Strait, Banyuwangi

Defri Yona^{1,2✉}, Syarifah Hikmah Julinda Sari^{1,2}, Anedathama Kretarta¹, Citra Ravena Putri Effendy¹, Misba Nur Aini¹, dan M. Arif As`Adi¹

¹Program Studi Ilmu Kelautan, FPIK, Universitas Brawijaya

²Marine Resources Exploration and Management Research Group, FPIK, Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang, Jawa Timur

✉corresponding authr: defri.yona@ub.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa distribusi dan status kontaminasi logam berat (Cu, Fe dan Zn) di sepanjang pantai barat Perairan Selat Bali yang terletak di wilayah Kabupaten Banyuwangi. Selat Bali termasuk salah satu selat dengan aktifitas perikanan yang sangat tinggi yang berpotensi untuk menyumbangkan pencemaran logam berat. Terdapat lima lokasi penelitian dari ujung utara pantai barat Selat Bali yaitu Pantai Watu Dodol, Pantai Kalipuro, Pelabuhan Ketapang, Pantai Boom dan Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Muncar. Masing-masing lokasi penelitian memiliki karakteristik aktifitas yang berpotensi menyumbangkan pencemaran logam berat, seperti aktifitas wisata, aktifitas penangkapan ikan, aktifitas pengolahan produk perikanan maupun dari aktifitas domestik. Faktor kontaminasi (CF), indeks geo-akumulasi (Igeo) dan juga faktor pengkayaan (EF) masing-masing logam berat dianalisa untuk mengetahui status kontaminasinya. Konsentrasi logam berat Fe ditemukan berada pada kisaran tertinggi (1.5-129.9 mg/kg) yang diikuti oleh Zn (13.2-23.5 mg/kg) dan Cu (2.2-7.8 mg/kg). Distribusi logam berat Cu, Fe dan Zn menunjukkan variasi konsentrasi antar lokasi penelitian dimana konsentrasi Cu dan Zn tertinggi ditemukan di Pelabuhan Ketapang sedangkan konsentrasi Fe ditemukan tinggi pada hampir semua daerah penelitian. Berdasarkan faktor kontaminasi dan indeks geo-akumulasi menunjukkan seluruh stasiun penelitian belum tercemar logam berat Cu, Fe dan Zn (CF < 1 dan Igeo < 1). Namun indeks faktor pengkayaan menunjukkan nilai EF > 50 untuk Cu dan Zn. Tingginya nilai EF ini akibat tingginya background value Fe yang digunakan dikarenakan tidak adanya referensi konsentrasi alami besi di sekitar daerah penelitian.

Kata kunci: logam berat, indeks pencemaran, faktor kontaminasi, indeks geo-akumulasi, Selat Bali

Abstract

This study attempted to analyze the distribution and contamination status of heavy metals (Cu, Fe and Zn) along western coast of Bali Strait in Banyuwangi, East Java. Bali Strait is one of the many straits in Indonesia with high fisheries activities that could potentially contributed to high heavy metal pollution. There were five sampling areas from the north to south: Pantai Watu Dodol, Pantai Kalipuro, Ketapang Port, Pantai Boom and Muncar as the fish landing area. Heavy metal pollution in these locations comes from many different activities such as tourism, fish capture and fish industry and also domestic activities. Contamination factor (CF), geo-accumulation index (Igeo) and enrichment factor (EF) of each heavy metal were calculated to obtain contamination status of the research area. The concentrations of Fe were observed the highest (1.5-129.9 mg/kg) followed by Zn (13.2-23.5 mg/kg) and Cu (2.2-7.8 mg/kg). The distribution of Cu, Fe and Zn showed variability among the sampling locations in which high concentrations of Cu and Zn were higher in Ketapang Port, whereas high concentration of Fe was high in almost all sampling locations. According to the pollution index, contamination factors of Cu, Fe and Zn were low (CF < 1 and Igeo < 1). However, high index of EF (> 50) showed high influence of the anthropogenic activities to the contribution of the metals to the environment. This could also because of the high background value used in the calculation of the index due to the difficulties in finding background value from the sampling areas.

Keywords: heavy metals, pollution index, contamination factor, geo-accumulation index, Bali Strait

Pendahuluan

Potensi pencemaran logam berat akibat aktifitas manusia terus mengalami peningkatan. Karakteristik logam berat yang persisten dan sulit terdegradasi mengakibatkan logam berat dapat terakumulasi dalam waktu yang lama di lingkungan terutama sedimen. Akumulasi logam berat pada sedimen dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya kondisi lingkungan yang mencakup parameter-parameter perairan (Salas *et al.*, 2017), jenis logam berat dan juga sumber masuknya logam berat (Song *et al.*, 2017). Akumulasi logam berat pada sedimen dalam waktu lama ini dapat menjadi salah satu metode yang tepat untuk mengetahui status pencemaran suatu wilayah (Marchand *et al.*, 2006; Saher and Siddiqui, 2016).

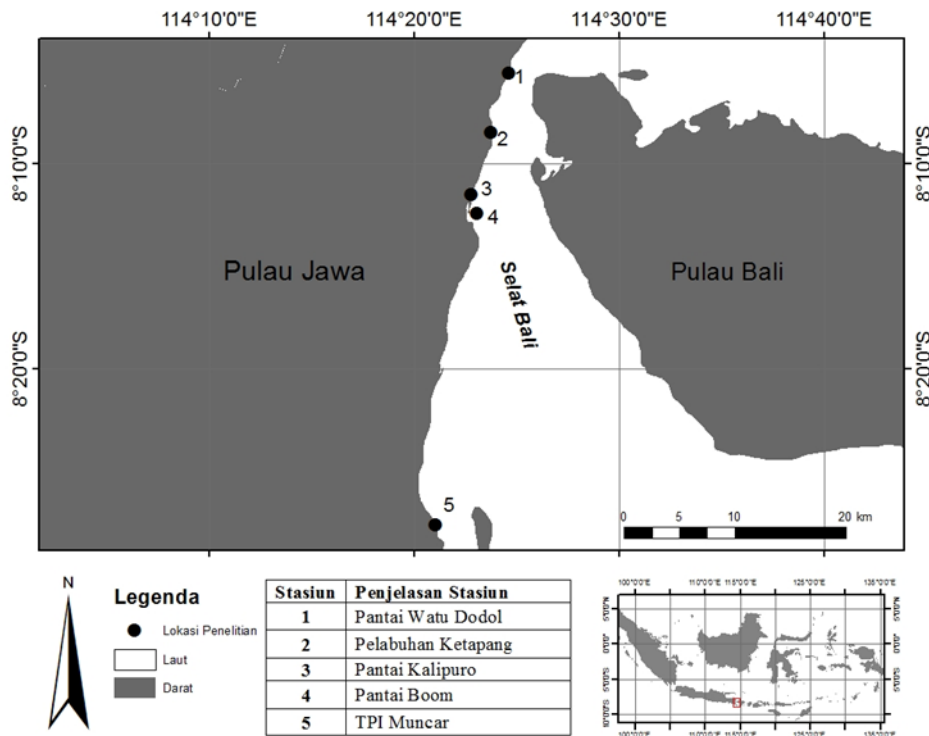
Telah banyak penelitian tentang status pencemaran dan kontaminasi logam berat pada suatu perairan dengan menggunakan beberapa indeks (Bastami *et al.*, 2014; Ho *et al.*, 2010; Nethaji *et al.*, 2017; Peña-Icart *et al.*, 2017; Sundararajan *et al.*, 2017). Beberapa indeks yang digunakan diantaranya faktor kontaminasi (Contamination Factor-CF), indeks geoakumulasi (Geoaccumulation Index-Igeo), faktor pengkayaan (Enrichment Factor-EF) dan juga indeks ekologi seperti Potential Ecological Risk Index (PERI). Semua indeks tersebut menggunakan konsentrasi alami logam berat di alam (background value) sebagai standar referensi untuk mengetahui penambahan jumlah konsentrasi logam berat di suatu lingkungan.

Selat Bali termasuk salah satu selat atau perairan yang padat aktifitas manusia baik industri, domestik maupun aktifitas perikanan di Indonesia. Selain itu, Selat Bali juga merupakan penghubung antara Pulau Jawa dan Pulau Bali yang selalu dipenuhi oleh kapal-kapal pelayaran. Hal ini menimbulkan potensi masuknya polutan seperti logam berat di perairan Selat Bali. Kurangnya penelitian dan juga publikasi kandungan logam berat dan juga status pencemaran di Selat Bali melatar belakangi penelitian ini. Fokus penelitian dilakukan di sepanjang pantai barat perairan Selat Bali yang berada di area Banyuwangi, Jawa Timur karena wilayah ini memiliki beragam aktifitas mulai dari industri perikanan, pariwisata dan juga pelabuhan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi logam berat Cu, Fe dan Zn dan juga status pencemaran ketiga jenis logam berat tersebut di perairan Selat Bali bagian barat.

Bahan dan Metode

Penelitian ini dilaksanakan pada lima lokasi berbeda di sepanjang pantai barat Selat Bali yang meliputi Pantai Watu Dodol di lokasi paling utara, Pelabuhan Ketapang, Pantai Kalipuro, Pantai Boom dan Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Muncar (Gambar 1). Pengambilan sampel dilakukan pada Bulan Januari 2017. Setiap lokasi pengambilan data memiliki

karakteristik aktifitas yang dapat menyumbangkan masukan logam berat ke perairan seperti aktifitas wisatawan, pemukiman dan juga perikanan.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di sepanjang pantai barat Selat Bali

Metode Pengumpulan Data

Sampel sedimen diambil dengan menggunakan pipa PVC sepanjang 20 cm. Sedimen diambil pada kedalaman 0-5 cm sebanyak 2 kg pada setiap lokasi penelitian yang akan digunakan untuk analisa butir sedimen dan juga untuk mengetahui konsentrasi logam berat. Sampel sedimen selanjutnya dimasukkan dalam plastik klip dan diletakkan pada cool box yang sudah dilengkapi dengan es untuk dibawa ke laboratorium.

Sampel sedimen selanjutnya dikeringkan pada kondisi ruang dan dihaluskan dengan mortar. Sebanyak 1 g sampel direndam dalam 70 % asam kuat (HNO_3) sebanyak 10 ml selama 24 jam. Hasil rendaman tersebut kemudian disaring dengan menggunakan kertas Whatman dan dianalisa dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

Analisis Data

Analisa data dilakukan dengan menghitung indeks faktor kontaminasi (*contamination factor-CF*) yaitu ratio antara konsentrasi logam berat pada sampel dengan konsentrasi logam berat di alam (background value) (Ali *et al.*, 2016; Bastami *et al.*, 2014). Selain menggunakan indeks faktor kontaminasi (CF), tingkat pencemaran logam berat pada suatu

daerah juga dapat dihitung dengan menggunakan indeks geo-akumulasi (*geoaccumulation index-Igeo*). Igeo dihitung dengan mengalikan *background value* dengan sebuah bilangan (konstanta) 1.5 sebagai faktor koreksi terhadap perbedaan konsentrasi logam berat di alam akibat pengaruh lithogenic (proses pembentukan batu-batuan) (Esmailzadeh *et al.*, 2016; Saher and Siddiqui, 2016). Pengaruh aktifitas manusia terhadap peningkatan konsentrasi logam berat di lingkungan dihitung dengan menggunakan indeks faktor pengkayaan (*enrichment factor-EF*). Indeks ini dihitung dengan menggunakan Fe sebagai faktor normalisasi karena besi termasuk salah satu logam berat yang banyak ditemukan di alam. Selain besi, EF dapat dihitung dengan menggunakan Al, Mn atau Sc sebagai faktor normalisasi (Salas *et al.*, 2017; Song *et al.*, 2017). Background value setiap logam berat yang digunakan pada penelitian ini mengacu kepada Turekian dan Wedepohl (1961) dengan konsentrasi masing-masing untuk Cu, Fe dan Zn berturut-turut adalah 45 ppm, 47200 ppm dan 95 ppm. Klasifikasi setiap hasil indeks disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi hasil perhitungan faktor kontaminasi (CF), geoakumulasi (Igeo) dan faktor pengkayaan (EF)

CF	Kontaminasi	EF	Pengkayaan	Igeo	Kualitas sedimen
< 1	Rendah (low)	< 1	Tidak ada (no)	< 0	Tidak ada polusi (unpolluted)
≥ 1 < 3	Sedang (moderate)	1–3	Minor	0–1	Menuju terpolusi (unpolluted to moderate)
≥ 3 < 6	Cukup tinggi (considerable)	3–5	Sedang (moderate)	1–2	Terpolusi sedang (moderately polluted)
≥ 6	Sangat tinggi (very high)	5–10	Sedang sampai parah (moderate to severe)	2–3	Menuju polusi berat (moderate to strong)
		10–25	Parah (severe)	3–4	Polusi berat (strongly polluted)
		25–50	Sangat parah (very severe)	4–5	Menuju polusi parah (strong to extrem)
		> 50	Parah ekstrim (Extremely severe)	>5	Polusi parah (extremely polluted)

Hasil dan Pembahasan

Distribusi Logam Berat

Secara keseluruhan, konsentrasi logam berat Fe ditemukan berada pada kisaran tertinggi (1.5-129.9 mg/kg) yang diikuti oleh Zn (13.2-23.5 mg/kg) dan Cu (2.2-7.8 mg/kg). Konsentrasi logam berat yang ditemukan di pantai barat Selat Bali ini jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan konsentrasi Fe, Zn dan Cu yang di temukan di beberapa daerah penelitian (Nour and El-Sorogy, 2017; Putri *et al.*, 2016; Salas *et al.*, 2017). Namun hasil penelitian ini berada pada kisaran konsentrasi Cu dan Zn yang hampir sama dengan penelitian Bastami *et al* (2014) dan lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil penelitian Ochieng *et al* (2009), Aminah *et al* (2016). Perbedaan hasil-hasil penelitian ini diakibatkan oleh beberapa faktor diantaranya sumber logam berat (Bi *et al.*, 2017), karakteristik sedimen

(Arifin and Fadhlina, 2010), karakteristik dari masing-masing jenis metal (Esmailzadeh *et al.*, 2016) dan juga faktor hidro-oseanografi (Atkinson *et al.*, 2007).

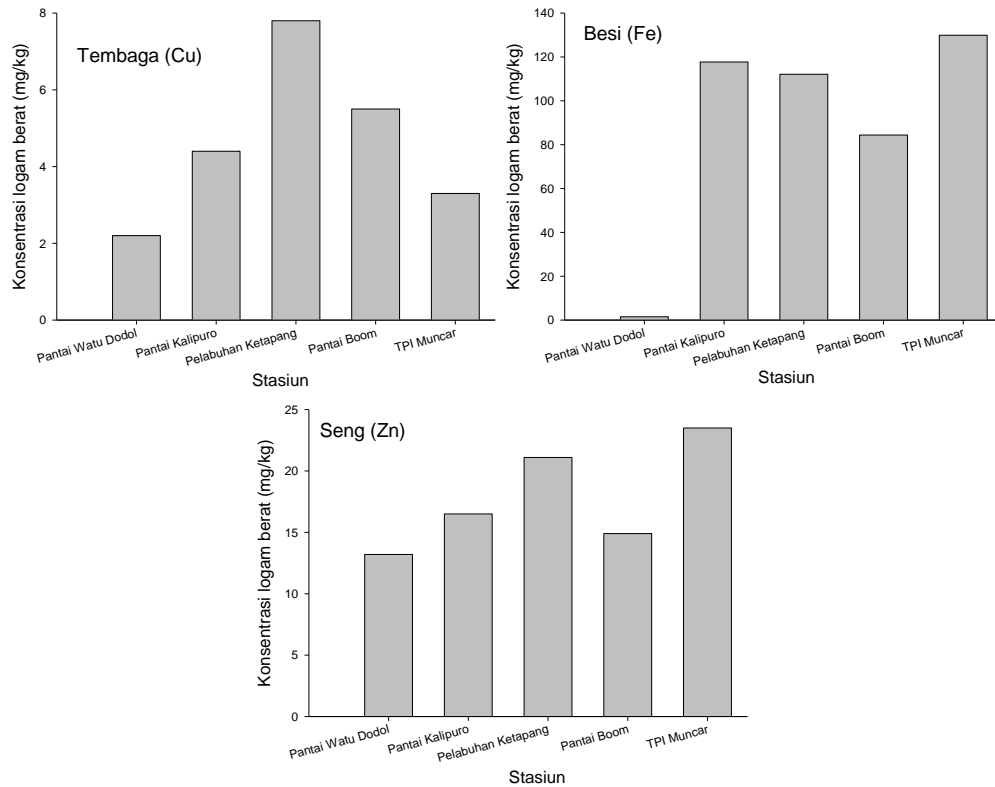
Jika dibandingkan dengan konsentrasi Zn dan Cu, konsentrasi Fe ditemukan jauh lebih tinggi. Konsentrasi Fe yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan jenis logam berat yang lain juga ditemukan pada beberapa penelitian diantaranya pada sedimen di beberapa pantai di Pakistan (Saher and Siddiqui, 2016), sedimen di Hara Biosphere Reserve Iran (Nowrouzi and Pourkhabbaz, 2014) dan juga pada sedimen di Segara Anakan Lagoon Indonesia (Syakti *et al.*, 2015). Hal ini karena besi termasuk salah satu metal dengan konsentrasi tinggi di alam (Greenwood and Earnshaw, 1997). Selain itu, tingginya penggunaan besi pada berbagai produk manusia yang berpotensi sebagai bahan polutan dan masuk ke perairan diduga dapat menjadi alasan tingginya konsentrasi besi yang ditemukan.

Konsentrasi logam berat yang ditemukan menunjukkan variasi yang cukup beragam antar stasiun penelitian (Gambar 2). Konsentrasi Cu tertinggi ditemukan pada Pelabuhan Ketapang dan terendah di Pantai Watu Dodol. Selanjutnya, konsentrasi Fe pada semua daerah penelitian memiliki kisaran yang hampir sama, kecuali pada Pantai Watu Dodol yang memiliki konsentrasi Fe jauh lebih rendah dibandingkan daerah penelitian yang lain. Sedangkan konsentrasi Zn ditemukan lebih tinggi di TPI Muncar dan Pelabuhan Ketapang dibandingkan stasiun yang lainnya. Karakteristik setiap lokasi pengambilan sampel sedimen beserta aktifitasnya mempengaruhi distribusi logam berat.

Pelabuhan Ketapang memiliki konsentrasi cukup tinggi untuk ketiga jenis logam berat jika dibandingkan dengan lokasi lainnya. Aktifitas pelabuhan dan perkapalan yang padat di daerah ini dipastikan menjadi penyebab tingginya konsentrasi logam berat tersebut. Pelabuhan Ketapang merupakan pelabuhan penyebarangan kapal feri dari Pulau Jawa menuju Pulau Bali. Setiap harinya ratusan kapal feri beroperasi sebagai salah satu moda transportasi utama di Selat Bali. Aktifitas perkapalan yang dapat mengakibatkan peningkatan konsentrasi logam berat di perairan diantaranya penggunaan antifouling cat dan tumpahan minyak bahan bakar kapal (Guerra-García and García-Gómez, 2005; Jupp *et al.*, 2017).

Konsentrasi Zn yang tinggi ditemukan di TPI Muncar dan Pelabuhan Ketapang diduga diakibatkan oleh aktifitas perikanan. TPI Muncar termasuk salah satu tempat pelelangan ikan terbesar di Indonesia. Limbah bahan organik yang berasal dari aktifitas penangkapan dan pengolahan ikan berpotensi menyumbangkan polusi logam berat Zn seperti yang dikemukakan oleh Sundararajan *et al.* (2017). Selain itu, Zn dan juga Cu juga diketahui sebagai metal yang digunakan sebagai bahan pembuat cat anti penempelan pada kapal (*antifouling paint*) sehingga peningkatan jumlah kedua logam berat ini terjadi pada lokasi penelitian yang memiliki aktivitas kapal yang cukup padat yaitu TPI Muncar dan Pelabuhan Ketapang. Hasil penelitian serupa juga ditemukan oleh Jupp *et al.* (2017) dimana peningkatan konsentrasi

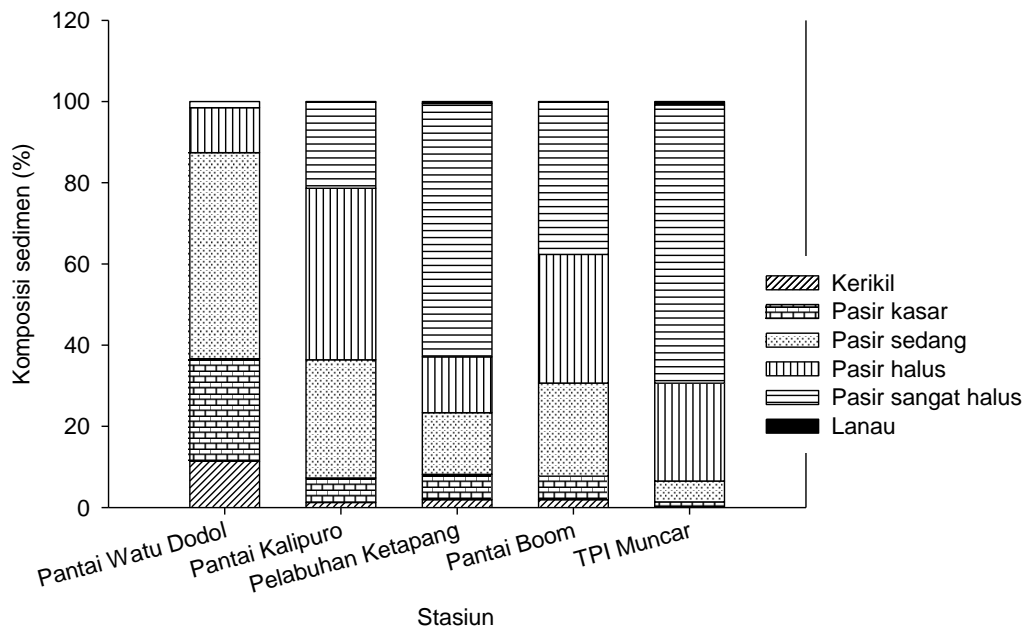
Zn dan Cu terjadi pada pelabuhan maupun terminal penyeberangan dengan aktifitas perkapalan yang tinggi di Oman.



Gambar 2. Distribusi logam berat Cu, Fe dan Zn di sepanjang pantai barat Selat Bali

Konsentrasi Fe pada Pantai Watu Dodol ditemukan jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan keempat daerah penelitian lainnya. Distribusi Fe pada daerah penelitian ini dapat dihubungkan dengan struktur dan komposisi sedimen dimana konsentrasi Fe berbanding terbalik dengan ukuran butir sedimen ($p < 0.05$). Pantai Watu Dodol memiliki ukuran butir sedimen lebih besar dengan didominasi oleh pasir sedang dan kerikil (Gambar 3).

Jika dibandingkan dengan stasiun penelitian yang lain, Pantai Watu Dodol memiliki konsentrasi yang lebih rendah untuk ketiga jenis logam berat. Hal ini dapat dikaitkan dengan komposisi sedimen yang lebih besar di Pantai Watu Dodol jika dibandingkan stasiun lain yang memiliki ukuran sedimen lebih halus. Konsentrasi logam berat cenderung lebih tinggi pada sedimen dengan ukuran butir yang lebih halus (Salas *et al.*, 2017



Gambar 3. Komposisi sedimen yang ditemukan di daerah penelitian

Status Pencemaran Logam Berat

Berdasarkan Hankanson (1980), faktor kontaminasi logam berat Cu, Fe dan Zn adalah rendah ($CF < 1$) di seluruh stasiun penelitian (Tabel 2). Hal ini diikuti dengan indeks geoakumulasi ketiga jenis logam berat yang rendah ($I_{geo} < 0$) menunjukkan konsentrasi yang hampir sama dengan konsentrasi alaminya atau hampir tidak ada kontaminasi ketiga jenis logam berat di daerah penelitian. Berdasarkan faktor pengkayaan (EF), aktifitas manusia memiliki dampak yang sangat signifikan terhadap peningkatan konsentrasi logam berat Cu dan Zn di daerah penelitian.

Tabel 2. Status pencemaran logam berat di daerah penelitian berdasarkan indeks pencemaran)

Stasiun	CF			I _{geo}			EF	
	Cu	Fe	Zn	Cu	Fe	Zn	Cu	Zn
Pantai Watu Dodol	0.03	< 0.001	0.09	-4.94	-15.53	-3.43	1538.4	4372.2
Pantai Kalipuro	0.07	0.002	0.12	-3.94	-9.23	-3.11	39.21	69.65
Pelabuhan Ketapang	0.12	0.002	0.15	-3.11	-9.30	-2.76	72.98	93.52
Pantai Boom	0.08	0.001	0.10	-3.62	-9.71	-3.26	68.35	87.71
TPI Muncar	0.05	0.002	0.16	-4.35	-9.09	-2.60	26.65	89.88

Selanjutnya, nilai $EF > 50$ menunjukkan bahwa daerah penelitian mendapat pengkayaan Cu dan Zn yang parah ekstrim dari berbagai aktifitas manusia jika mengacu pada kategori hasil EF. Meskipun demikian, penggunaan background value Fe yang terlalu tinggi jika dibandingkan dengan konsentrasi Fe pada sampel di daerah penelitian dapat mempengaruhi tingginya nilai EF. Tidak adanya data logam berat pada kondisi alami di sekitar daerah penelitian yang dapat digunakan sebagai background value menjadi salah satu kelemahan dalam menentukan status pencemaran suatu logam berat. Hal ini tidak hanya

berlaku untuk indeks faktor pengkayaan (EF) namun juga untuk nilai faktor kontaminasi (CF) dan juga indeks geoakumulasi (Igeo).

Terlepas dari perbedaan penggunaan nilai background value yang cukup tinggi, nilai Igeo yang berada dibawah 0 (minus) juga ditemukan pada beberapa penelitian diantaranya pada sedimen estuari di Cua Ong Harbor, Vietnam (Ho *et al.*, 2010), sedimen di Yalujiang Estuari, China (Li *et al.*, 2017) dan sedimen di sepanjang pantai Korea Selatan (Hwang *et al.*, 2016). Nilai EF yang sangat tinggi (> 25) yang menunjukkan peningkatan konsentrasi Cu dan Zn di lingkungan akibat aktifitas manusia juga ditemukan pada penelitian di sepanjang pantai di Pakistan (Saher and Siddiqui, 2016), Cochin Estuari di pantai selatan India (Salas *et al.*, 2017) dan sedimen di area padat industri di selatan Taiwan (Lin *et al.*, 2013).

Simpulan

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui status pencemaran logam berat Cu, Fe dan Zn di sepanjang pantai barat Selat Bali karena area Selat Bali merupakan wilayah yang padat aktifitas manusia terutama perikanan yang berpotensi menyumbangkan polusi logam berat. Hasil penelitian menemukan bahwa konsentrasi ketiga jenis logam berat cukup bervariasi antar stasiun penelitian akibat perbedaan sumber polutan. Secara keseluruhan, konsentrasi Fe ditemukan lebih tinggi dibandingkan konsentrasi Zn dan Cu. Pelabuhan Ketapang dan TPI Muncar menjadi lokasi penelitian dengan rata-rata konsentrasi logam berat lebih tinggi dibandingkan stasiun yang lain. Hal ini akibat tingginya aktifitas perikanan dan perkapalan yang berpotensi menyumbangkan Cu dan Zn. Berdasarkan indeks pencemaran, kontaminasi ketiga jenis logam berat masih cenderung rendah (CF dan Igeo < 1) namun masuknya Cu dan Zn akibat aktifitas manusia termasuk sangat tinggi (EF > 50). Background value yang digunakan sebagai referensi konsentrasi logam berat alami dapat mempengaruhi hasil perhitungan indeks pencemaran. Akan lebih baik untuk mengetahui status pencemaran logam berat menggunakan background value yang berasal dari sekitar daerah penelitian sehingga hasil perhitungan indeks pencemaran dapat lebih akurat lagi.

Daftar Pustaka

- Ali MM, Ali ML, Islam MS, Rahman MZ. 2016. Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. *Environ. Nanotechnol. Monit. Manag.* 5:27–35. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2016.01.002>
- Aminah S, Yona D, Kasitowati R. 2016. Sebaran konsentrasi logam berat Cu (tembaga) dan Cd (kadmium) pada air dan sedimen di Perairan Pelabuhan Pasuruan, Jawa Timur, in: Seminar Nasional Perikanan dan Kelautan VI. Presented at the Seminar Nasional Perikanan dan Kelautan VI Tahun 2016, FPIK, Malang-Indonesia, pp. 415–421.

- Arifin ZA, Fadhlina D. 2010. Fraksinasi Logam Berat Pb, Cd, Cu dan Zn dalam Sedimen dan Bioavailabilitasnya bagi Biota di Perairan Teluk Jakarta. *ILMU Kelaut. Indones. J. Mar. Sci.* 14:27–32.
- Atkinson CA, Jolley DF, Simpson SL. 2007. Effect of overlying water pH, dissolved oxygen, salinity and sediment disturbances on metal release and sequestration from metal contaminated marine sediments. *Chemosphere.* 69:1428–1437. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.04.068>
- Bastami KD, Bagheri H, Kheirabadi V, Zaferani GG, Teymori MB, Hamzehpoor A, Soltani F, Haghparast S, Harami SRM, Ghorghani NF, Ganji S. 2014. Distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments along southeast coast of the Caspian Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 81:262–267. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.01.029>
- Bi S, Yang Y, Xu C, Zhang Y, Zhang, Xiaobo, Zhang, Xianrong. 2017. Distribution of heavy metals and environmental assessment of surface sediment of typical estuaries in eastern China. *Mar. Pollut. Bull.* 121:357–366. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.013>
- Esmailzadeh M, Karbassi A, Moattar F. 2016. Assessment of metal pollution in the Anzali Wetland sediments using chemical partitioning method and pollution indices. *Acta Oseanologica Sin.* 35:28–36.
- Greenwood N, Earnshaw A. 1997. Chemistry of the elements, 2nd ed. Butterworth-Heinemann.
- Guerra-García JM, García-Gómez JC. 2005. Assessing pollution levels in sediments of a harbour with two opposing entrances. Environmental implications. *J. Environ. Manage.* 77:1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.01.023>
- Ho HH, Swennen R, Damme AV. 2010. Distribution and contamination status of heavy metals in estuarine sediments near Cua Ong Harbor, Ha Long Bay, Vietnam. 13:37–47.
- Hwang D.-W, Kim S.-G, Choi M, Lee I.-S, Kim S.-S, Choi H.-G, 2016. Monitoring of trace metals in coastal sediments around Korean Peninsula. *Mar. Pollut. Bull.* 102, 230–239. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.09.045>
- Jupp BP, Fowler SW, Dobretsov S, van der Wiele H, Al-Ghafri A. 2017. Assessment of heavy metal and petroleum hydrocarbon contamination in the Sultanate of Oman with emphasis on harbours, marinas, terminals and ports. *Mar. Pollut. Bull.* 121: 260–273. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.015>
- Li, Hongjun, Lin, L., Ye, S., Li, Hongbo, Fan J. 2017. Assessment of nutrient and heavy metal contamination in the seawater and sediment of Yalujiang Estuary. *Mar. Pollut. Bull.* 117: 499–506. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.069>
- Lin, Yung-Chang, Chang-ChienG.-P, ChiangP.-C, Chen W.-H, Lin, Yuan-Chung. 2013. Multivariate analysis of heavy metal contaminations in seawater and sediments from a heavily industrialized harbor in Southern Taiwan. *Mar. Pollut. Bull.* 76, 266–275. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.08.027>
- Marchand C, Lallier-Vergès E, Baltzer F, Albéric P, Cossa D, Baillif P. 2006. Heavy metals distribution in mangrove sediments along the mobile coastline of French Guiana. *Mar. Chem.* 98, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2005.06.001>
- Nethaji S, Kalaivanan R, Viswam A, Jayaprakash M. 2017. Geochemical assessment of heavy metals pollution in surface sediments of Vellar and Coleroon estuaries,

- southeast coast of India. *Mar. Pollut. Bull.* 115:469–479. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.11.045>
- Nour HE, El-Sorogy AS. 2017. Distribution and enrichment of heavy metals in Sabratha coastal sediments, Mediterranean Sea, Libya. *J. Afr. Earth Sci.* 134:222–229. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.06.019>
- Nowrouzi M, Pourkhabbaz A. 2014. Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Hara Biosphere Reserve, Iran. *Chem. Speciat. Bioavailab.* 26:99–105.
- Ochieng EZ, Lalah JO, Wandiga SO. 2009. Anthropogenic Sources of Heavy Metals in the Indian Ocean Coast of Kenya. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 83: 600–607. <https://doi.org/10.1007/s00128-009-9807-4>
- Peña-Icart M, Pereira-Filho ER, Lopes Fialho L, Nóbrega JA, Alonso-Hernández C, Bolaños-Alvarez Y, Pomares-Alfonso M.S. 2017. Combining contamination indexes, sediment quality guidelines and multivariate data analysis for metal pollution assessment in marine sediments of Cienfuegos Bay, Cuba. *Chemosphere.* 168: 1267–1276. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.053>
- Putri AD, Yona D, Handayani M. 2016. Kandungan logam berat (Cd, Cu dan Zn) pada air dan sedimen Perairan Pelabuhan Kamal, Kabupaten Bangkalan-Madura, in: Seminar Nasional Perikanan dan Kelautan VI. Presented at the Seminar Nasional Perikanan dan Kelautan VI Tahun 2016, FPIK, Malang-Indonesia, pp. 533–538.
- Saher NU, Siddiqui AS. 2016. Comparison of heavy metal contamination during the last decade along the coastal sediment of Pakistan: Multiple pollution indices approach. *Mar. Pollut. Bull.* 105:403–410. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.02.012>
- Salas, P.M., Sujatha, C.H., Ratheesh Kumar, C.S., Cheriyan, E., 2017. Heavy metal distribution and contamination status in the sedimentary environment of Cochin estuary. *Mar. Pollut. Bull.* 119, 191–203. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.04.018>
- Song H, Liu J, Yin P, Zhang Y. 2017. Distribution, enrichment and source of heavy metals in Rizhao offshore area, southeast Shandong Province. *Mar. Pollut. Bull.* 119: 175–180. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.04.017>
- Sundararajan S, Khadanga MK, Kumar JPPJ, Raghuraman, S., Vijaya, R., Jena, B.K., 2017. Ecological risk assessment of trace metal accumulation in sediments of Veraval Harbor, Gujarat, Arabian Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 114: 592–601. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.016>
- Syakti AD, Demelas C, Hidayati NV, Rakasiwi G, Vassalo L, Kumar N, Prudent P, Doumenq P. 2015. Heavy metal concentrations in natural and human-impacted sediments of Segara Anakan Lagoon, Indonesia. *Environ. Monit. Assess.* 187. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4079-9>
- Turekian K, Wedepohl K. 1961. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. *Geol. Soc. Am. Bull.* 72, 175–192