

Penilaian tingkat pencemaran logam berat dalam sedimen di perairan Pulau Morotai, Maluku Utara

Evaluation on heavy metals pollution in sediment in Morotai Island waters, North of Maluku

Edward*

Pusat Penelitian Oseanografi-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P2O-LIPI). Jln. Pasir Putih 1, Ancol Timur, Jakarta 14330. Tel/fax:021.64715038, 021.64711848. *Email: ekewe07@mail.com

Abstract. *Morotai Waters, located in North of Maluku, has panoramic coastal waters and marine natural beautiful view, and rich of fishery resources, so it is potentially to be developed as a location for recreation area, mariculture, and fisheries industries. For those reasons, the development need a lot of base data, one of the data base is heavy metals. Heavy metals comes from various human activities, both on land and at sea and geological process. Heavy metals in low levels needed by aquatic organisms for the growth and development of its life, but high levels are toxic. Measurement of levels of heavy metals Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, and Cr in the sediment in the waters of Morotai was conducted in June 2005. Sediment samples is taken using gravity cores at 13 research stations. The levels of heavy metals were measured using Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The purpose of this study was to evaluate the contamination and pollution of heavy metals pollution level in Morotai Island waters using CF, I_{geo}, and PLI. The results of this study show that, based on the value of contamination factors (CF), geoaccumulation indices (I_{geo}) and pollution load indices (PLI), sediment in this water is include to uncontamination and unpolluted category and is still safe for marine life (CF<0, I_{geo}<0 and PLI <1).*

Keywords: *Morotai; sediment; heavy metal; pollutions*

Abstrak. Perairan Morotai terletak di Maluku Utara, perairan ini memiliki panorama pantai dan alam laut yang indah, serta kaya akan sumberdaya perikanan, sehingga berpotensi untuk dikembangkan sebagai lokasi wisata bahari, budidaya, dan industri perikanan. Untuk pengembangan tersebut diperlukan data dasar, salah satu data dasar tersebut adalah data logam berat. Logam berat berasal dari berbagai aktivitas manusia yang ada di darat maupun di laut, dan proses geologis di alam. Logam berat dalam kadar yang rendah diperlukan oleh organisme perairan untuk pertumbuhan dan perkembangan hidupnya, namun dalam kadar yang tinggi bersifat racun. Pengukuran kadar logam berat Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, dan Cr dalam sedimen di perairan Morotai telah dilakukan pada bulan Juni 2005. Contoh sedimen diambil dengan menggunakan gravity core pada 13 stasiun penelitian. Kadar logam berat diukur dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Tujuan penelitian ini adalah untuk menilai tingkat kontaminasi dan tingkat pencemaran logam berat dalam sedimen di perairan Pulau Morotai dengan menggunakan nilai faktor kontaminasi (CF), indeks geoakumulasi (I_{geo}) dan indeks beban pencemaran (PLI). Hasilnya menunjukkan berdasarkan nilai CF, I_{geo}, dan PLI, sedimen di perairan ini termasuk kategori tidak terkontaminasi dan tidak tercemar oleh logam berat Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, dan Cr, serta masih aman untuk kehidupan biota laut (CF<0, I_{geo}<0 dan PLI<1).

Kata Kunci: Morotai; sedimen; logam berat; pencemaran

Pendahuluan

Pulau Morotai terletak di ujung Utara Kabupaten Halmahera Utara dan merupakan bagian dari Provinsi Maluku Utara. Secara geografis Pulau Morotai terletak di antara 2°00'-2°40' LU dan 128°15'-128°48'BT, berbatasan dengan Samudera Pasifik di sebelah Utara, Laut Halmahera di sebelah Timur, Selat Morotai di sebelah Selatan dan Laut Sulawesi di sebelah Barat. Perairan ini cocok untuk pengembangan budidaya dan industri berbasis perikanan serta pariwisata bahari. Luas wilayah Morotai adalah 2.474,94 km² atau 10 persen dari luas wilayah daratan Kabupaten Maluku Utara.

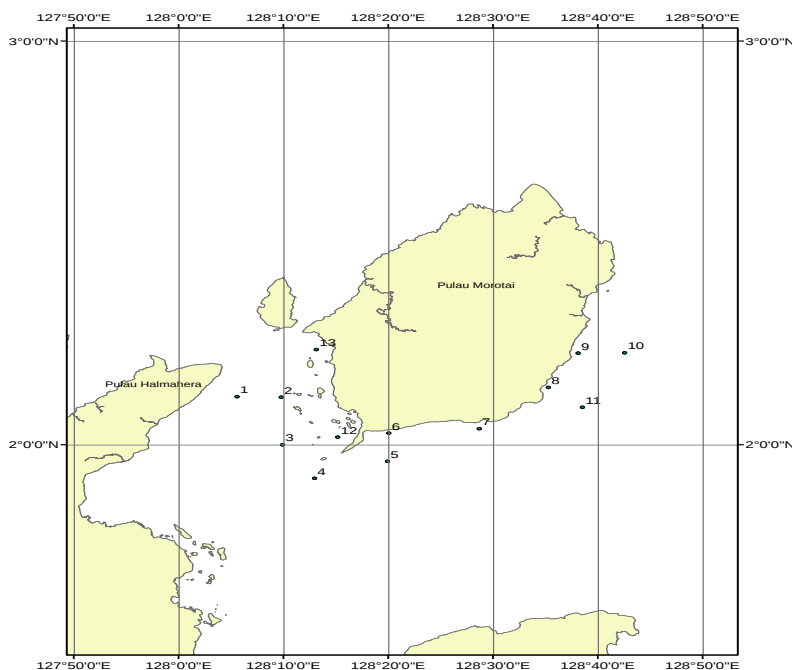
Untuk pengembangan tersebut diperlukan data dasar kelautan, salah satunya adalah logam berat. Logam berat secara alami terdapat di alam namun dalam kadar yang rendah, dan dibutuhkan oleh organisme perairan, namun dalam kadar tinggi yang melebihi nilai ambang batas dapat bersifat racun (Rainbow, 2007). Masuknya logam berat tersebut ke perairan dapat menyebabkan kontaminasi. Qin et al., (2006) melaporkan adanya kontaminasi logam berat pada perairan pantai dan estuari di Teluk Bohai Tianjin China akibat berbagai kegiatan di darat dan di perairan laut. Logam berat juga dapat berasal dari aktivitas industri, pertanian,

perkotaan dan pertambangan (Duruibe et al., 2007). Logam berat yang terakumulasi di perairan dapat menginfeksi manusia melalui konsumsi air atau ikan (Govind et al., 2014). Data tentang Perairan Morotai masih sangat sedikit, Edward (2008, 2011) pernah melaporkan tentang kualitas air laut di perairan ini, kemudian Anonymous (2009) juga pernah melaporkan mengenai master plan pengembangan budaya rumput laut, dan Ahmad (2013, 2014) mengenai plankton dan mangrove, namun belum ada yang membahas mengenai tingkat pencemaran logam berat dalam sedimen.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menilai kualitas sedimen di perairan Pulau Morotai dalam kaitannya untuk pengembangan budidaya, industri berbasis perikanan, dan pariwisata bahari, serta faktor-faktor yang diduga merupakan sumber pencemaran, sehingga dapat diantisipasi kemungkinan timbulnya dampak negatif terhadap kualitas perairan. Hasilnya diharapkan dapat dijadikan acuan baik oleh pemda setempat maupun pihak-pihak yang berkepentingan dengan penggunaan wilayah laut untuk berbagai kepentingan.

Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan di perairan Pulau Morotai Maluku Utara pada bulan September 2005 dengan menggunakan Kapal Riset Baruna Jaya VIII (Gambar 1). Contoh sedimen diambil dengan menggunakan box core pada 13 Stasiun penelitian. Contoh sedimen dimasukkan ke dalam botol polietilen yang sebelumnya botol tersebut dicuci/direndam dalam HNO_3 (6 N) dan dibilas dengan air suling. Di laboratorium, contoh sedimen dimasukkan dalam cawan teflon dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam. Setelah kering dikocok beberapa kali dengan air suling. Contoh sedimen dikeringkan kembali pada suhu 100°C selama 24 jam, kemudian digerus hingga halus. Sebanyak 5 gram contoh sedimen kering dimasukkan dalam cawan teflon, didestruksi dengan menggunakan HNO_3/HCl pekat dan biarkan pada suhu ruang ± 4 jam. Destruksi dilanjutkan pada suhu 90°C selama 8 jam. Pengukuran kadar Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, dan Cr dilakukan dengan AAS dengan menggunakan nyala api campuran udara-asetilen (Hutagalung et al., 1997).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Tingkat pencemaran logam berat dalam sedimen ditentukan dengan menggunakan Faktor Kontaminasi (CF), Indek Beban Pencemaran, PLI), dan Indeks geoakumulasi (I_{geo}) (Rabee et al., 2011), (Qingjie et al., 2008), (Parizanganeh et al., 2012), (Veerasingam et al., 2012), (Sham et al., 2012) dengan rumus:

$$\text{Faktor Kontaminasi (CF)} = C_x / C_{\text{background}}(B_n),$$

C_x = Konsentrasi logam X dalam contoh, B_n = konsentrasi (rerata) normal logam X di alam, 1,5 = konstan. $C_f < 1$: tingkat kontaminasi rendah, $1 < C_f < 3$: tingkat kontaminasi sedang, $3 < C_f < 6$: tingkat kontaminasi cukup, dan $C_f > 6$: tingkat kontaminasi sangat tinggi.

$$\text{Indek Beban Pencemaran (PLI)} = [\text{CF}_1 \times \text{CF}_2 \times \text{CF}_3 \dots \text{CF}_n]^{1/n},$$

n = Jumlah logam, $\text{PLI} < 1$: tidak tercemar, $\text{PLI} 1-2$: tidak tercemar sampai tercemar ringan, $\text{PLI} 2-4$: tercemar sedang, $\text{PLI} 4-6$: tercemar parah, $\text{PLI} 6-8$: tercemar sangat parah, $\text{PLI} 8-10$: tercemar luar biasa parah.

$$\text{Indeks geoakumulasi (I}_{\text{geo}}) = \log_2 (\text{C}_x / 1,5 \text{ B}_n).$$

C_x = Konsentrasi logam X dalam contoh, B_n = konsentrasi (rerata) normal logam X di alam, $1,5$ = konstan. $\text{I}_{\text{geo}} < 0$: tidak tercemar, $0 < \text{I}_{\text{geo}} < 1$: tercemar ringan, $1 < \text{I}_{\text{geo}} < 2$: tercemar sedang, $2 < \text{I}_{\text{geo}} < 3$: tercemar cukup parah, $3 < \text{I}_{\text{geo}} < 4$: tercemar parah, $4 < \text{I}_{\text{geo}} < 5$: tercemar luar biasa parah, $\text{I}_{\text{geo}} > 5$: tercemar sangat luar biasa parah.

Data kandungan lanau dan lumpur pada sedimen diambil dari Anonymous (2005) yang dilakukan bersamaan dengan penelitian ini.

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran kadar logam berat dalam sedimen di perairan Pulau Morotai disajikan pada Tabel 1. Dari tabel tersebut dapat dilihat kadar Pb dalam sedimen berkisar 0,213-4,623 ppm dengan rerata 2,275 ppm. Kadar Pb tertinggi dijumpai di Stasiun 4 dan terendah di Stasiun 13. Data ini menunjukkan bahwa Stasiun 4 lebih banyak menerima masukan limbah yang mengandung Pb dibandingkan dengan stasiun lain.

Tabel 1. Kadar Pb (ppm), Faktor Kontaminasi (CF) dan Indeks Geoakumulasi

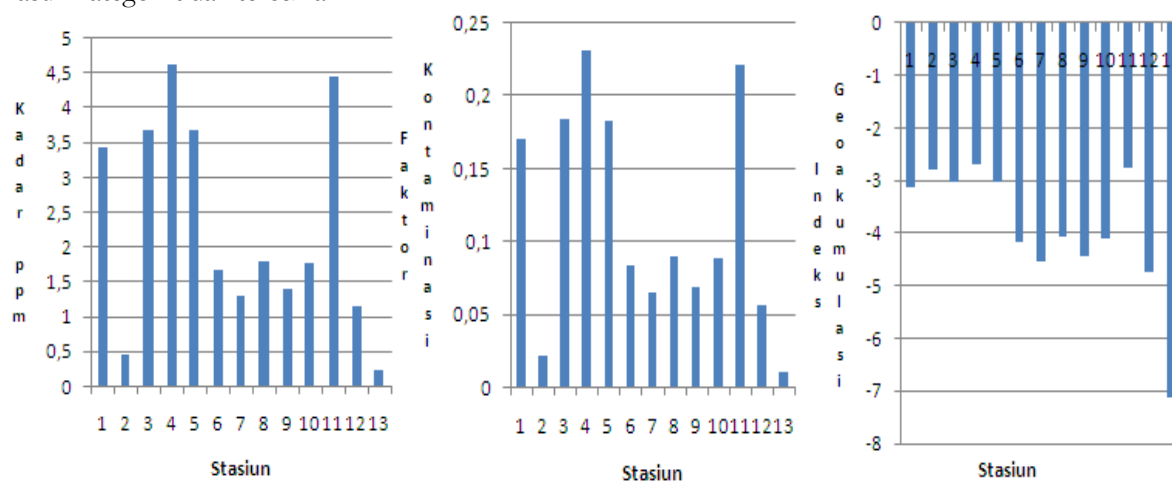
Stasiun	Pb	CF	I _{geo}
1	3,434	0,171	-3,132
2	0,438	0,021	-2,775
3	3,687	0,184	-3,024
4	4,623	0,231	-2,698
5	3,679	0,183	-3,027
6	1,662	0,083	-4,173
7	1,302	0,065	-4,526
8	1,799	0,089	-4,061
9	1,393	0,068	-4,429
10	1,762	0,088	-4,090
11	4,451	0,222	-2,753
12	1,133	0,056	-4,729
13	0,213	0,010	-7,137
Min	0,213	0,010	-7,137
Mak	4,623	0,231	-2,698
Rerata	2,275	0,113	-3,888
SD	1,502	0,075	1,228
KA*	20	-	-

*Kadar Rerata Alamiah

Kadar Pb rerata ini relatif normal, Edward (2010; 2011) mendapatkan kadar Pb dalam sedimen di perairan Elat (Maluku Tenggara) yang relatif tidak tercemar dan masih alami, berkisar <0,004–0,274 ppm dengan rerata 0,042 ppm, di perairan Ngilngof, Tual (Maluku Tenggara) 3,187-3,921 ppm dengan rerata 3,352 ppm, dan di perairan Ohoimas (Maluku Tenggara) 2,781-4,033 dengan rerata 3,376 ppm. Kadar Pb rerata ini juga masih lebih rendah bila dibandingkan kadar rerata Pb normal yang terdapat di alam yakni 20 ppm (Odat et al., 2011). *Canadian Council of Ministers for the Environment* (CCME, 2002) menetapkan Nilai Ambang Batas Pb dalam sedimen untuk perlindungan biota laut adalah 35 ppm. KMNLH (2010) menetapkan Nilai Ambang Batas Pb dalam sedimen untuk kehidupan biota adalah 36,8 ppm. Berdasarkan CCME dan KMNLH di atas sedimen di perairan Pulau Morotai ini belum berbahaya bagi kehidupan biota laut.

Tingginya kadar Pb di Stasiun 4 juga terlihat dari nilai faktor kontaminasi, dimana nilai CF Pb di Stasiun 4 yakni 0,231 lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun lain. Ini berarti Stasiun 4 memiliki tingkat kontaminasi Pb tertinggi dibandingkan stasiun lain, namun tingkat kontaminasi ini termasuk kategori rendah ($0,231 < 1$). Meskipun Stasiun 4 memiliki tingkat kontaminasi tertinggi, namun belum sampai ke tingkat tercemar. Keadaan ini dapat dilihat dari nilai indeks geoakumulasinya (I_{geo}). Nilai I_{geo} di Stasiun 4 yakni -2,698 lebih tinggi

dibandingkan dengan stasiun lain, namun nilai ini lebih kecil dari 0 ($I_{geo} < 0$) yang berarti sedimen di Stasiun 4 termasuk kategori tidak tercemar.



Gambar 3. Grafik Kadar, Faktor Kontaminasi, dan Indeks Geoakumulasi Pb

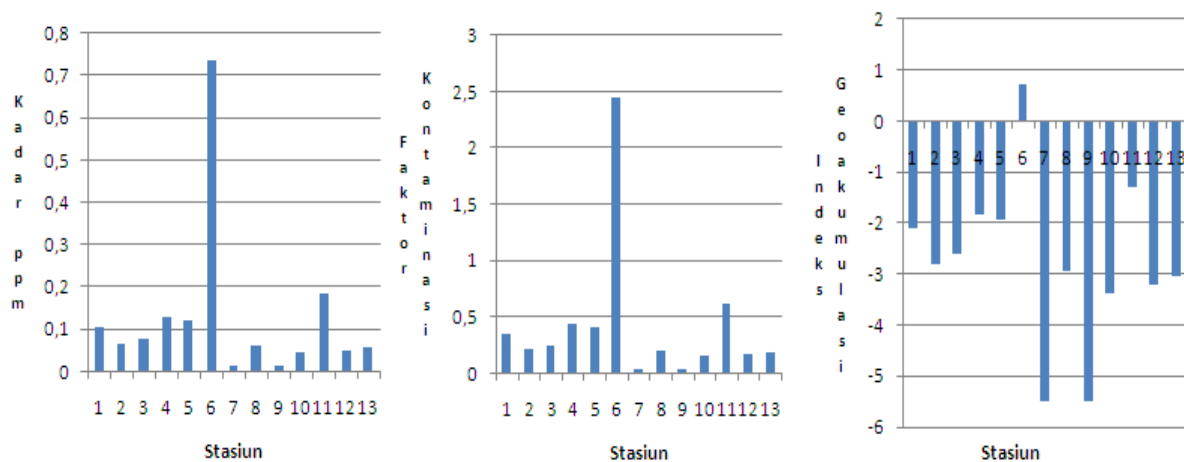
Hasil pengukuran kadar Cd dalam sedimen di perairan Morotai disajikan pada Tabel 2. Dari tabel tersebut dapat dilihat kadar Cd dalam sedimen berkisar 0,010-0,736 ppm dengan rerata 0,125 ppm. Kadar Cd tertinggi dijumpai di Stasiun 6 dan terendah pada Stasiun 7 dan 9. Data ini menunjukkan bahwa Stasiun 6 lebih banyak menerima masukan limbah yang mengandung Cd dibandingkan dengan stasiun lain.

Tabel 2. Kadar Cd (ppm), Faktor Kontaminasi (CF) dan Indeks Geoakumulasi (I-geo)

Stasiun	Cd	CF	I-geo
1	0,104	0,346	-2,114
2	0,064	0,213	-2,816
3	0,074	0,246	-2,608
4	0,128	0,426	-1,816
5	0,119	0,396	-1,921
6	0,736	2,453	0,709
7	0,010	0,033	-5,506
8	0,059	0,196	-2,932
9	0,010	0,033	-5,506
10	0,044	0,146	-3,365
11	0,183	0,610	-1,300
12	0,049	0,163	-3,210
13	0,055	0,183	-3,035
Min	0,010	0,033	-5,506
Max	0,736	2,453	0,709
Rerata	0,125	0,418	-2,724
SD	0,189	0,632	1,631
KRA*	0,3	-	-

*Kadar Rerata Alamiah

Kadar Cd ini relatif masih normal, Edward (2010; 2011) mendapatkan kadar Cd di perairan Elat (Maluku Tenggara) yang relatif tidak tercemar dan masih alami berkisar $<0,001-0,0172$ ppm dengan rerata 0,009 ppm, di perairan Ohoimas (Maluku Tenggara) 0,216-0,295 ppm dengan rerata 0,251 ppm dan di perairan Ngilngof (Maluku Tenggara) berkisar 0,236-0,295 ppm dengan rerata 0,263 ppm. Kadar Cd rerata ini juga masih lebih rendah dari kadarrerata Cd alami yang terdapat di lapisan permukaan bumi yakni 0,3 ppm (Odat et al., 2011). *Canadian Council of Ministers for the Environment* (CCME, 2002) menetapkan Nilai Ambang Batas Cd dalam sedimen untuk perlindungan biota laut adalah 0,6 ppm. KMNLH (2010) menetapkan Nilai Ambang Batas Cd dalam sedimen untuk kehidupan biota laut adalah 6,2 ppm. Berdasarkan CCME dan KMNLH di atas, kadar Cd ini masih aman untuk kehidupan biota laut.



Gambar 4. Grafik Kadar, Faktor Kontaminasi dan Indeks Geoakumulasi Cd

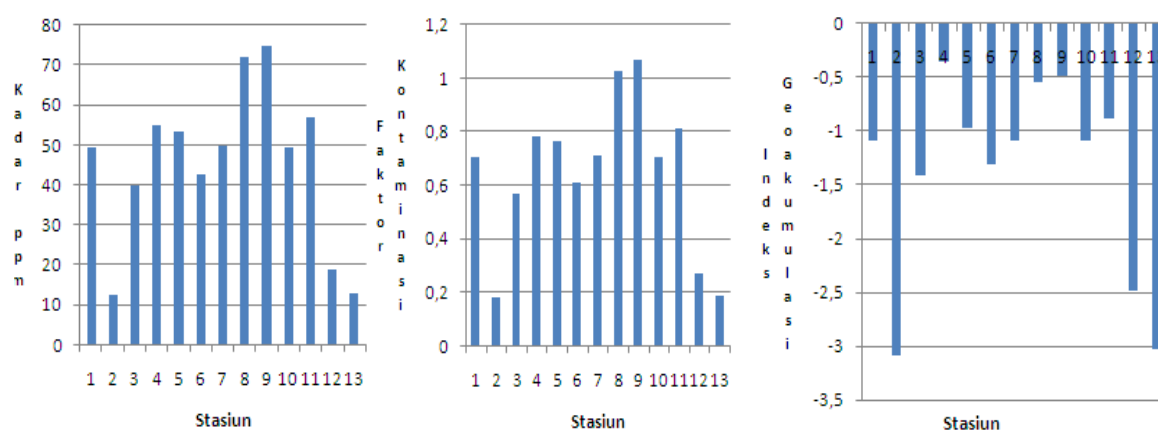
Kadar Cd yang tinggi di Stasiun 6 juga terlihat dari nilai faktor kontaminasinya. Nilai faktor kontaminasi Cd di Stasiun 6 yakni 0,736 lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun lain. Nilai ini lebih kecil dari 1 ($C_f < 1$) yang berarti sedimen di Stasiun 6 termasuk kategori tingkat kontaminasi rendah. Bila dilihat dari nilai indeks geoakumulasinya, Stasiun 6 juga memiliki indeks geoakumulasi tertinggi dibandingkan stasiun lain yakni 0,709. Nilai ini lebih besar dari 0 dan lebih kecil dari 1 ($0 < I_{geo} < 1$) yang berarti Stasiun 6 termasuk kategori tercemar ringan. Namun secara keseluruhan sedimen di perairan ini termasuk kategori tidak tercemar ($I_{geo} -2,724 < 0$).

Hasil pengukuran kadar Cu dalam sedimen di perairan Pulau Morotai disajikan pada Tabel 3. Dari tabel tersebut dapat dilihat kadar Cu dalam sedimen berkisar 12,393-74,842 ppm dengan rerata 45,163 ppm. Kadar Cu tertinggi dijumpai pada Stasiun 9 dan terendah pada Stasiun 13. Data ini menunjukkan bahwa Stasiun 9 lebih banyak menerima masukan limbah yang mengandung Cu dibandingkan dengan Stasiun lain.

Tabel 3. Kadar Cu (ppm), Faktor Kontaminasi (CF) dan Indeks Geoakumulasi (I-geo)

Stasiun	Cu	CF	I-geo
1	49,418	0,705	-1,089
2	12,393	0,177	-3,083
3	39,609	0,565	-1,407
4	54,952	0,785	-0,349
5	53,488	0,764	-0,974
6	42,561	0,608	-1,304
7	49,621	0,708	-1,083
8	72,076	1,029	-0,543
9	74,842	1,069	-0,490
10	49,520	0,707	-1,086
11	56,838	0,811	-0,886
12	18,893	0,269	-2,481
13	12,910	0,184	-3,035
Min	12,393	0,177	-1,304
Max	74,842	1,069	-0,349
Rerata	45,163	0,644	-101,577
SD	20,011	0,285	361,284
KRA*	70	-	-

*Kadar Rerata Alamiah



Gambar 5. Grafik Kadar, Faktor Kontaminasi dan Indeks Geoakumulasi Cu

Kadar Cu rerata ini relatif tinggi, Edward (2011, 2010) mendapatkan kadar Cu di perairan Elat (Maluku Tenggara) yang relatif tidak tercemar dan masih alami, berkisar $<0,015$ – $0,512$ ppm dengan rerata $0,067$ ppm, di Ohoimas (Maluku Tenggara) $0,216$ – $0,295$ ppm dengan rerata $0,251$ ppm dan di Ngilngof (Maluku Tenggara) $<0,001$ – $0,029$ ppm dengan rerata $0,039$ ppm. Kadar rerata ini masih lebih rendah dari kadar Cu rerata alami yakni 70 ppm (Odat et al., 2011). *Canadian Council of Ministers for the Environment* (CCME, 2002) menetapkan Nilai Ambang Batas Cu dalam sedimen untuk perlindungan biota laut adalah $35,7$ ppm. KMNLIH (2010) menetapkan Nilai Ambang Batas Cu dalam sedimen untuk kehidupan biota laut adalah 108 ppm. Dengan demikian bila mengacu pada KMNLIH di atas, dapat dikatakan bahwa sedimen di perairan ini masih baik untuk kehidupan biota laut.

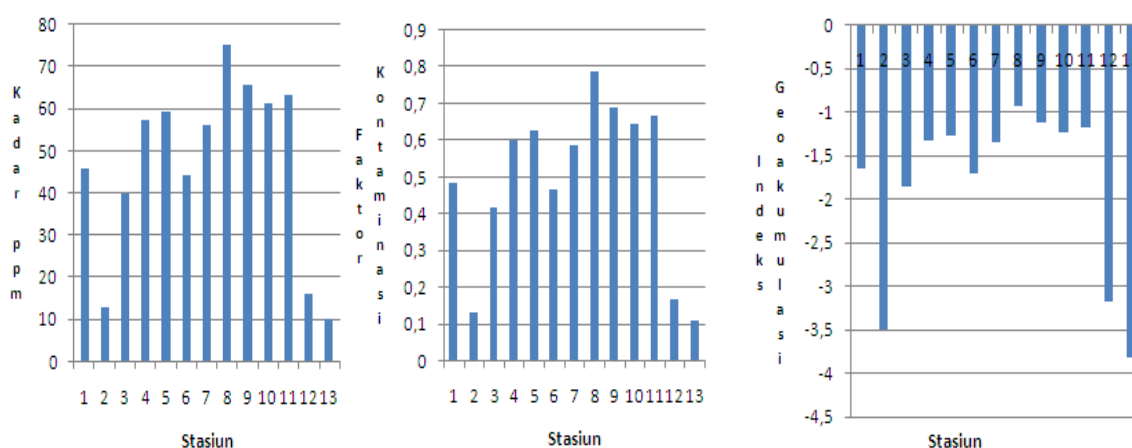
Kadar Cu yang tinggi di Stasiun 9 juga terlihat dari nilai faktor kontaminasinya yaitu $1,069$ lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun yang lain. Tingkat kontaminasi ini termasuk kategori sedang ($1 < Cf < 3$), namun belum sampai ke tingkat tercemar. Hal ini dapat dilihat dari indeks geoakumulasinya yakni $-0,490$ (< 1), yang berarti sedimen termasuk kategori tidak tercemar.

Hasil pengukuran kadar Zn dalam sedimen di perairan Pulau Morotai disajikan pada Tabel 4. Dari tabel tersebut dapat dilihat kadar Zn berkisar $10,128$ – $75,059$ ppm dengan rerata $46,614$ ppm. Kadar Zn tertinggi dijumpai pada Stasiun 8 dan terendah pada Stasiun 13. Data ini menunjukkan bahwa Stasiun 8 lebih banyak menerima masukan limbah yang mengandung Zn dibandingkan dengan Stasiun lain.

Tabel 4. Kadar Zn (ppm), Faktor Kontaminasi (CF) dan Indeks Geoakumulasi (I-geo)

Stasiun	Zn	CF	I-geo
1	45,824	0,482	-1,639
2	12,593	0,132	-3,506
3	39,609	0,416	-1,852
4	57,130	0,601	-1,321
5	59,387	0,625	-1,265
6	44,131	0,464	-1,694
7	55,945	0,588	-1,351
8	75,059	0,790	-0,926
9	65,649	0,689	-1,120
10	61,235	0,644	-1,220
11	63,383	0,667	-1,171
12	15,910	0,167	-3,171
13	10,128	0,106	-3,816
Min	10,128	0,106	-3,816
Max	75,059	0,790	-0,926
Rerata	46,614	0,490	-1,850
SD	21,436	0,225	0,980
KRA*	95	-	-

*Kadar Rerata Alamiah



Gambar 6. Grafik Kadar, Faktor Kontaminasi, dan Indeks Geoakumulasi Zn

Kadar Zn rerata ini relatif tinggi, Edward (2011, 2010), mendapatkan kadar Zn di perairan Elat yang relatif tidak tercemar dan masih alami, berkisar 0,008–0.361 ppm dengan rerata 0,067 ppm, di Ohoimas 0,294–2,834 ppm dengan rerata 0,888 ppm dan di Ngilngof 0,43–36,85 ppm dengan rerata 14,39 ppm. *Canadian Council of Ministers for the Environment* (CCME, 2002) menetapkan Nilai Ambang Batas Zn dalam sedimen untuk perlindungan biota laut adalah 123 ppm. Kadar Zn ini relatif masih rendah bila dibandingkan dengan kadar rerata alamiah Zn di alam yakni 95 ppm (Harikumar dan Jisha, 2010). KMNLH (2010) menetapkan Nilai Ambang Batas Zn dalam sedimen untuk kehidupan biota laut adalah 271 ppm. Dengan demikian bila mengacu kepada CCME dan KMNLH di atas dapat dikatakan bahwa kadar Zn dalam sedimen di perairan ini masih baik untuk kehidupan biota laut.

Tingginya kadar Zn di Stasiun 8 juga terlihat dari nilai faktor kontaminasinya 0,790. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun yang lain, namun lebih kecil dari 1 ($C_f < 1$), yang berarti tingkat kontaminasinya termasuk kategori rendah. Keadaan yang sama juga terlihat dari nilai indeks geoakumulasi yakni -0,926, lebih kecil dari 0 ($I_{geo} < 0$) yang berarti sedimen termasuk kategori tidak tercemar.

Hasil pengukuran kadar Ni dalam sedimen di perairan Morotai disajikan pada Tabel 5. Dari tabel tersebut dapat dilihat kadar Ni berkisar 4,508–52,295 ppm dengan rerata 20,605 ppm. Kadar Ni tertinggi dijumpai di Stasiun 11 dan terendah di Stasiun 13. Data ini menunjukkan bahwa Stasiun 11 lebih banyak menerima masukan limbah yang mengandung Zn dibandingkan dengan stasiun lain

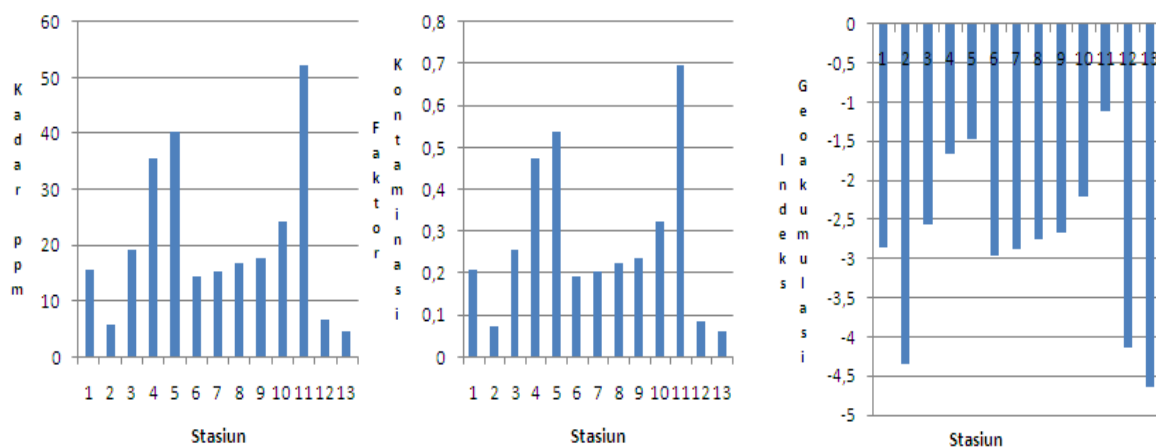
Tabel 5. Kadar Ni, Faktor Kontaminasi (CF) dan Indeks Geoakumulasi (I-geo)

Stasiun	Ni	CF	I-geo
1	15,519	0,206	-2,867
2	5,547	0,073	-4,351
3	19,107	0,254	-2,564
4	35,602	0,474	-1,662
5	40,297	0,537	-1,481
6	14,460	0,192	-2,965
7	15,268	0,203	-2,888
8	16,836	0,224	-2,746
9	17,686	0,235	-2,671
10	24,317	0,324	-2,210
11	52,295	0,697	-1,107
12	6,428	0,085	-4,132
13	4,508	0,060	-4,643
Min	4,508	0,06	-4,643
Max	52,295	0,697	-1,107
Rerata	20,605	0,274	-2,791
SD	14,243	0,190	1,077
KRA*	75	-	-

*Kadar Rerata Alamiah

Kadar rerata Ni hasil penelitian ini relatif tinggi. Edward (2010) mendapatkan kadar Ni di perairan Ohoimas Maluku Tenggara yang relatif tidak tercemar dan masih alami berkisar 0,826-1,119 ppm dengan rerata 0,959 ppm, di Ngilngof 0,702-1,141 ppm dengan rerata 0,910 ppm, di Bangka Utara 1,518-13,831 ppm dengan rerata 7,168 ppm, Bangka Timur 3,557-7,562 ppm dengan rerata 5,111 ppm, dan Bangka Selatan antara 2,473-11,355 ppm dengan rerata 5,056 ppm (Prasetya et al., 2010). *British Columbia Ministry of Water, Land and Air Protection* (BCMWLAP)(2006) menyatakan nilai terendah Ni dalam sedimen yang dapat menimbulkan efek negatif terhadap biota laut adalah 16 ppm. Kadar Ni alami yang terdapat di permukaan bumi adalah 75 ppm (Mohiuddin et al., 2010). Berdasarkan BCMWLAP tersebut maka dapat dikatakan bahwa kadar Ni dalam sedimen di perairan ini berbahaya bagi biota laut.

Kadar Ni yang tinggi di Stasiun 11 juga terlihat dari nilai faktor kontaminasinya yaitu 0,697, nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun lainnya, namun lebih kecil dari 1 ($CF < 1$) yang berarti tingkat kontaminasinya termasuk kategori rendah. Keadaan yang sama juga terlihat dari indeks geoakumulasinya yakni -1,107 lebih kecil dari 0, yang berarti sedimen termasuk kategori tidak tercemar ($I_{geo} < 0$).



Gambar 7. Grafik Kadar, Faktor Kontaminasi, dan Indeks Geoakumulasi Ni

Hasil pengukuran kadar Cr dalam sedimen di perairan Morotai disajikan pada Tabel 6. Dari tabel tersebut dapat dilihat kadar Cr berkisar 0,529-1,445 ppm dengan rerata 0,948 ppm. Kadar Cr tertinggi dijumpai di stasiun 11 dan terendah di Stasiun 2.

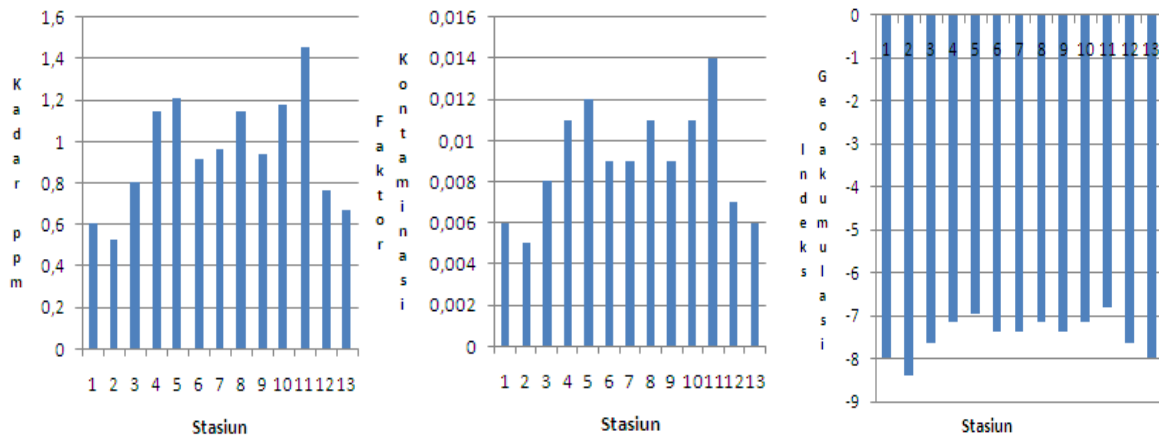
Tabel 6. Kadar Cr (ppm), Faktor Kontaminasi (CF) dan Indeks Geoakumulasi (I_{geo})

Stasiun	Cr	CF	I_{geo}
1	0,604	0,006	-7,965
2	0,529	0,005	-8,380
3	0,806	0,008	-7,643
4	1,148	0,011	-7,158
5	1,209	0,012	-6,965
6	0,912	0,009	-7,380
7	0,966	0,009	-7,380
8	1,143	0,011	-7,158
9	0,939	0,009	-7,380
10	1,181	0,011	-7,158
11	1,455	0,014	-6,795
12	0,765	0,007	-7,643
13	0,670	0,006	-7,965
Min	0,529	0,005	-8,38
Max	1,455	0,014	-6,795
Rerata	0,948	0,009	-7,459
SD	0,271	0,002	0,447
KRA*	100	-	-

*Kadar Rerata Alamiah

Data ini menunjukkan bahwa Stasiun 11 lebih banyak menerima masukan limbah yang mengandung Cr dibandingkan dengan Stasiun lain. Kadar Cr rerata hasil penelitian ini relatif normal. Edward (2010) mendapatkan kadar Cr di perairan Ohoimas Maluku Tenggara yang relatif tidak tercemar dan masih alami berkisar 0,826-1,119 ppm dengan rerata 0,959 ppm dan di Ngilngof 0,702-1,141 ppm dengan rerata 0,910 ppm. Kadar ini lebih rendah bila dibandingkan dengan perairan Bangka Utara yang kadar Cr nya berkisar 1,518-13,831 ppm dengan rerata 7,168 ppm, Bangka Timur 3,557-7,562 ppm dengan rerata 5,111 ppm, dan Bangka Selatan antara 2,473-11,355 ppm dengan rerata 5,056 ppm (Prasetya et al., 2010). Kadar Cr rerata ini juga masih lebih rendah dari nilai rerata alamnya yang terdapat dalam kerak bumi yakni 100 ppm (Asamuddin dan Mohammed, 2011).

Kadar Cr yang tinggi di Stasiun 11 juga terlihat dari nilai faktor kontaminasinya yaitu 0,014, nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun lainnya, namun lebih kecil dari 1 ($CF < 1$) yang berarti tingkat kontaminasinya termasuk kategori rendah. Keadaan yang sama juga terlihat dari indeks geoakumulasinya yakni -1,107, lebih kecil dari 0, yang berarti sedimen termasuk kategori tidak tercemar ($I_{geo} < 0$).



Gambar 8. Grafik Kadar, Faktor Kontaminasi, dan Indeks Geoakumulasi Cr

Pada Tabel 7 berikut disajikan nilai PLI di setiap stasiun. Dari tabel tersebut dapat dilihat nilai PLI berkisar 0,0-0,471 dengan rerata 0,191, nilai ini lebih kecil dari 1 ($PLI < 1$), yang berarti secara keseluruhan sedimen di perairan termasuk kategori tidak tercemar oleh logam Pb, Cd, Cu, Zn, Ni dan Cr.

Tabel 7. Nilai PLI Logam Berat dalam Sedimen

Station	Kendari Lasolo						PLI (CF PbxCFCdxCFCuxCFZnxCFNi) ^{1/6}
	Heavy Metals Content						
	CF Pb	CF Cd	CF Cu	CF Zn	CF Ni	CF Cr	
1	0,171	0,346	0,705	0,482	0,206	0,006	0,1
2	0,021	0,213	0,177	0,132	0,073	0,005	0
3	0,184	0,246	0,565	0,416	0,254	0,008	0,166
4	0,231	0,426	0,785	0,601	0,474	0,011	0,249
5	0,183	0,396	0,764	0,625	0,537	0,012	0,246
6	0,083	2,453	0,608	0,464	0,192	0,009	0,142
7	0,065	0,033	0,708	0,588	0,203	0,009	0,108
8	0,089	0,196	1,029	0,790	0,224	0,011	0,180
9	0,068	0,033	1,069	0,689	0,235	0,009	0,456
10	0,088	0,146	0,707	0,644	0,324	0,011	0,471
11	0,222	0,610	0,811	0,667	0,697	0,014	0,299
12	0,056	0,163	0,269	0,167	0,085	0,007	0,076
13	0,010	0,183	0,184	0,106	0,060	0,006	0
Min	0,010	0,033	0,177	0,106	0,06	0,005	0
Max	0,231	2,453	1,069	0,79	0,697	0,014	0,471
SD	0,113	0,418	0,644	0,490	0,274	0,009	0,150
Rerata	0,075	0,632	0,285	0,225	0,190	0,002	0,191

Dari uraian di atas diketahui bahwa kadar Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, dan Cr dalam sedimen relatif bervariasi di setiap stasiun. Data ini menunjukkan bahwa masing-masing stasiun menerima masukan limbah atau material yang mengandung logam berat dalam jumlah yang berbeda. Sumber logam berat dalam sedimen di perairan ini dapat berasal dari sumber geologi dan antropogenik. Aprile et al., (2008) menyatakan kadar logam berat dalam sedimen sangat ditentukan oleh kondisi geologi lokal atau pengaruh antropogenik. Sumber geologi dapat berupa perombakan mineral secara alami di alam, sedang sumber antropogenik dapat berasal dari penggunaan pupuk dan herbisida, irigasi, buangan industri, dan pelepasan dari pipa-pipa. Sumber lain adalah bangkai kapal-kapal perang yang tenggelam, mengingat Pulau Morotai merupakan salah satu pangkalan militer Amerika Serikat dalam Perang Dunia ke 2.

Yang et al., (2010) menyatakan logam cenderung terikat dalam sedimen dengan butiran permukaan halus dan bahan organik. Hal ini disebabkan karena adanya interaksi antara gugus fungsi senyawa organik dengan logam (Mulligan dan Young, 2006). Nguyen (2010) dalam penelitiannya di Vietnam, melaporkan adanya korelasi positif antara kandungan logam Pb, Cu dan Ni dengan kandungan bahan organik.

Dalam penelitian ini tidak terdapat korelasi antara kadar logam berat dengan kandungan lumpur (Tabel 8). Lumpur biasanya mengandung bahan organik, sehingga mampu mengikat bentuk kation-kation logam dalam keadaan bebas. Namun keadaan ini tidak terlihat pada penelitian ini. Keadaan ini menunjukkan bahwa logam berat dalam sedimen berada dalam keadaan terikat dalam partikel-partikel mineral sebagaimana yang diungkapkan oleh Aprile et al., (2008). Untuk lanau terdapat korelasi antara kadar Pb dan Ni dengan kandungan lanau ($r=0.864^{**}$, $r=0.555^{*}$), sedang dengan Cu, Zn, dan Cr tidak terdapat korelasi. Adanya korelasi antara Pb dan Ni dengan kandungan lanau ini, menunjukkan bahwa logam berat selain berada dalam bentuk partikel-partikel mineral, juga berada dalam keadaan bebas (kation-kation), kation-kation bebas inilah yang dapat berikatan dengan senyawa-senyawa organik yang ada pada lanau. Kiranya hal inilah yang dapat menjelaskan adanya perbedaan kadar logam berat dalam sedimen di setiap stasiun di perairan ini, namun untuk memastikannya perlu dilakukan penelitian lanjutan yang lebih mendalam dan akurat.

Tabel 8. Korelasi Antar Parameter Pengamatan

	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Cr	Lanau	Lumpur
Pb Pearson Correlation	1	,083	,471	,506	,827**	,550	,864**	,516
Sig, (2-tailed)		,788	,104	,077	,000	,051	,000	,071
N	13	13	13	13	13	13	13	13
Cd Pearson Correlation	,083	1	-,012	,009	,068	,076	-,034	-,325
Sig, (2-tailed)	,788		,969	,978	,825	,805	,911	,279
N	13	13	13	13	13	13	13	13
Cu Pearson Correlation	,471	-,012	1	,968**	,548	,660*	,230	,259
Sig, (2-tailed)	,104	,969		,000	,053	,014	,449	,393
N	13	13	13	13	13	13	13	13
Zn Pearson Correlation	,506	,009	,968**	1	,641*	,777**	,235	,330
Sig, (2-tailed)	,077	,978	,000		,018	,002	,439	,270
N	13	13	13	13	13	13	13	13
Ni Pearson Correlation	,827**	,068	,548	,641*	1	,859**	,555*	,496
Sig, (2-tailed)	,000		,825	,053	,018	,000	,049	,085
N	13	13	13	13	13	13	13	13
Cr Pearson Correlation	,550	,076	,660*	,777**	,859**	1	,276	,452
Sig, (2-tailed)	,051	,805	,014	,002	,000		,361	,121
N	13	13	13	13	13	13	13	13
Lanau Pearson Correlation	,864**	-,034	,230	,235	,555*	,276	1	,528
Sig, (2-tailed)	,000	,911	,449	,439	,049	,361		,064
N	13	13	13	13	13	13	13	13
Lumpur Pearson Correlation	,516	-,325	,259	,330	,496	,452	,528	1
Sig, (2-tailed)	,071	,279	,393	,270	,085	,121	,064	
N	13	13	13	13	13	13	13	13

*signifikan 0,5%, ** Signifikan 0,1%

Analisis korelasi Person's menunjukkan ada hubungan yang erat antara kadar Pb dengan Ni ($r=0,827$), Cu dengan Zn ($r=0,968$) dan Cr ($r=0,660$), Zn dengan Ni ($r=0,641$) dan Cr ($r=0,777$), Ni dengan Cr ($r=0,859$). Menurut Suresh et al., (2011), bila koefisien korelasi antar logam lebih besar ($r > 0,5$), maka logam-logam

tersebut kemungkinan berasal dari sumber yang sama. Namun bila tidak terdapat korelasi sama sekali, kemungkinan logam-logam tersebut berasal dari sumber lain. Seperti dalam penelitian ini Cd dapat berasal dari sumber lain, seperti sumber antropogenik dan peluruhan batuan mineral secara geologis. Keadaan seperti ini pernah dijumpai oleh Salah et al., (2012) di Iraq dan Cao et al., (2015) di Teluk Lingdingyang, China Selatan.

Kesimpulan

Kadar rerata $Zn > Cu > Ni > Pb > Cr > Cd$, data ini menunjukkan sedimen lebih banyak mengakumulasi Zn dibandingkan dengan yang lain. Kadar Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, dan Cr masih berada dibawah kadar rerata yang ada di alam. Berdasarkan nilai faktor kontaminasi (CF), indeks geoakumulasi (I_{geo}) dan PLI, sedimen di perairan Morotai ini termasuk kategori terkontaminasi dan belumk tercemar oleh logam Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, dan Cr ($CF < 0$, $I_{geo} < 0$, $PLI < 1$).

Daftar Pustaka

- Ahmad, F. 2013. Sebaran dan komposisi jenis fitoplankton di perairan Morotai, Halmahera Utara. Makalah: Seminar Nasional ke-22 Perhimpunan Biologi Indonesia. Fakultas Biologi Unsoed, Purwokerto. 12 hal.
- Ahmad, F. 2014. Jenis-jenis bakau di Daruba dan Wayabula, Pulau Morotai, Maluku Utara (*Mangrove Species in Daruba and Wayabula, Morotai Island, North of Moluwa*). Berita Biologi, 13(3):255-262.
- Anonymous. 2005. Ekspedisi Halmahera. Laporan Penelitian: Kerjasama Pusat Penelitian Oseanografi LIPI Jakarta dengan Pemda Tingkat I Provinsi Maluku Utara. 342 hal.
- Anonymous. 2009. Penyusunan master plan pengembangan rumput laut kawasan terpadu mandiri Pulau Morotai. Laporan Akhir: Kerjasama: Bappeda Provinsi Maluku Utara dengan Pusat Studi Lingkungan Khairun. 101 hal.
- Asamuddin, A.H., C.A.R. Mohammed. 2011. Distribution of trace elements and total organic carbon in surface sediments of the Sulu and Sulawesi Seas. *Journal of Tropical Marine Ecosystem*, 2:22-29.
- British Columbia Ministry of Water, Land and Air Protection (BC MWLAP). 2006. A Compendium of working water quality guidelines for British Columbia. Ministry of Environment, Lands, and Parks (now called MWLAP), Environmental and Resource Management Department, Water Management Branch. Victoria, BC. Updated: August 2006. 120 p.
- Cao, L., H. Tian, J. Yang, P. Shi, Q. Lou, L. Waxi, Z. Ni, X. Peng. 2015. Multivariate analyses and evaluation of heavy metals by chemometric bcr sequential extraction method in surface sediments from Lingdingyang Bay, South China. *Sustainability*, 7:4938-4951; doi:10.3390/su7054938.
- Canadian Council of Ministers for the Environment (CCME). 2002. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life summary table. Winnipeg, MB. 7 p.
- Duruibe, O.J, M.O.C. Ogwuegbu, J.N. Ekwurugwu. 2007. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences*, 2(5):112-118.
- Edward. 2008. Kualitas air laut di perairan Pulau Morotai, Maluku Utara. Makalah: Seminar Nasional Peran Iptek dalam Pengembangan Kelautan dan Perikanan Dalam Rangka Purnabakti Prof. Dr. Ir. Bonar P Pasaribu. IPB International Convention Center, Bogor Oktober 2008. 11 hal.
- Edward. 2010. Kandungan logam berat di perairan Ohoimas, Tual Maluku Tenggara. Makalah pada Seminar Perikanan Nasional-STP, Jakarta, 1-2 Desember 2010.
- Edward. 2011. Kualitas air laut dan sumberdaya perikanan di perairan Elat, Kepulauan Kai Besar Maluku Tenggara. Laporan Penelitian LIPI-RISTEK. 119 hal.
- Govind, Pandey, S. Madhuri. 2014. Heavy metals causing toxicity in animals and fishes. *Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences*, 2(2):17-23.
- Harikumar, P.S., T.S. Jisha. 2010. Distribution pattern of trace metal pollutants in the sediments of an urban wetland in the southwest coast of India. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(5):840-850.
- Hutagalung, H.P., D. Setiapermana, S.H. Ryono. 1997. Metode analisa air laut, sedimen dan biota. Buku 2. Pusat Penelitian Oseanografi LIPI. 80 hal.
- KMNLH. 2010. State environment minister's decision draft. <http://www.klh.go.id>. Akses tanggal 16 Februari 2012.
- Mulligan, C. N., R.N. Young. 2006. Overview of natural attenuation of sediments. In: *Contaminated sediments: evaluation and remediation techniques*, STP. 1482:210-222.

- Nguyen, TLH, M. Ohtsubo, L. Li, T. Higashi, M. Kanayama. 2010. Heavy metal characterization and leachability of organic matter-rich river sediments in Hanoi, Vietnam. *International Journal Soil, Sediment, and Water*, 3(1):1-20.
- Mohiuddin, M.K., H.M. Zakir, K. Otomo, S. Sharmin, N. Shikazono. 2010. Geochemical distribution of trace metal pollutants in water and sediments of downstream of an urban river. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7(1):17-28.
- Odat, S., A. M. Alshammara. 2011. Seasonal Variations of Soil Heavy Metal Contaminants along Urban Roads: A case Study from City of Hail, Saudi Arabia. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 5(4):581-591.
- Parizanganeh, H.A., V. Bijnavand, A.A. Zamzani, A. Hajabolfath. 2012. Concentration, distribution and comparasion of total and biavailable heavy metals in top soils of Banab District in Zanjan Province. *Open Journal of Soil Science*, 2:123-132.
- Prasetya, A.B.N., W. Aulia, A. Syahbana, Edward. 2010. Studi awal kadar logam berat (Pb, Cd, Cu, Zn, dan Ni) dalam air laut dan sedimen di perairan Pulau Bangka. *Buku Perairan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung Sumberdaya laut dan Oseanografi*. Hal. 136-151.
- Qingjie, G., D. Jun, X. Yunchuan, W. Qingfei, Y. Liqiang. 2008. Calculating pollution indices by heavy matlas in ecological geochemistry asserssment and a case study in parks of Baijing. *Journal of China University of Geosciences*, 19(3):230-241.
- Qin, Y-W., W. Meng, B-H Zheng, L. Zhang, Y-B. Su. 2006. Contamnative features of heavy metals for tidal sediment cores in Tianjin Bohai Bay. *Huan Jing Ke Xue*, 27(2):268-73.
- Rainbow, P.S. 2007. Trace metal bioaccumulation: Models, metabolic availability and toxicity. *Review. Environment International*, 33:576-582.
- Rabee, M.A., Y.F. Al-Fatlawy, A.N.A. Own, M. Nameer. 2011. Using pollution load index (PLI) and geoaccumulation index (I-Geo) for the assessment of heavy metals in Tigris River sediment in Bagdad Region. *Journal of Al-Nahrain Universisty*, 14(4):108-114.
- Salah, M.A.E., T.A. Zaidan, A.S. Al-Rawi. 2012. Assessment of heavy metals pollution in the sediments of Euphrates River, Iraq. Department of Applied Geology, College of Science, University of Anbar, Ramadi, Iraq. Department of Chemistry, College of Science, University of Anbar, Ramadi, Iraq *Journal of Water Resource and Protection*, 4:1009-1023.
- Suresh, G., V. Ramasamy, V. Meenakshisundaram, R. Venkatachalapathy, V. Ponnu- samy. 2011. Influence of mineralogical and heavy metal composition on natural radionuclide contents in the river sediments. *Applied Radiation and Isotopes*, 69:1466–1474.
- Sham, T.M., S. Ray, M.I. Kabir, T. Purkayastha. 2012. Assessment of heavy metals contamination in incinerated medical waste. *ARNP Journal of Science and Technology*, 2(10):904-911.
- Veerasingam, S., R. Venkatachalapathy, T. Ramkumar. 2012. Heavy metals and ecological risk assessment in marine sediments of Chennai, India. *Carpathian Journal of Earth and Enviromental Sciences*, 7(2):111-124.
- Yang, X., B. Xiang, M. Yang. 2010. Relationships among heavy metals and organic materail from lake nanhu, and urban lake in Wuhan China. *Journal of Freshwater Ecologi*, 25(2):243-249.