

KANDUNGAN LOGAM BERAT Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Cr, Mn & Fe DALAM AIR LAUT DAN SEDIMEN DI PERAIRAN KALIMANTAN TIMUR

oleh

ENDANG ROCHYATUN, EDWARD dan ABDUL ROZAK¹⁾

ABSTRAK

Contoh air laut permukaan dan dasar, serta sedimen dikumpulkan dari 23 stasiun di daerah estuari dan pantai di perairan Kalimantan Timur pada bulan Agustus sampai September 1999. Rerata kadar Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Cr, Mn, dan Fe di lapisan permukaan berturut-turut adalah 0,00517; <0,001; 0,0023; 0,00516; 0,00174; 0,0021; <0,001; 0,01524 ppm. Rerata kadar logam berat tersebut di lapisan dasar berturut-turut adalah 0,00530; <0,001; 0,0022; 0,00357; 0,00168; 0,0022; <0,001; 0,00123 ppm. Sedangkan rerata kadar Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Cr, Mn, Fe dalam sedimen berturut-turut adalah 7,942; 0,205; 8,017; 56,96; 25,608; 21,87; 345,783; 1023,566 ppm. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa kadar semua logam berat masih sesuai dengan Nilai Ambang Batas (NAB) yang ditetapkan oleh Kep-02/MENKLH/I/1988 untuk kepentingan perikanan, selain itu ada indikasi bahwa logam berat tersebut terakumulasi dalam sedimen. Di samping itu, juga diamati parameter kualitas air yang lain yakni salinitas, oksigen terlarut dan tingkat keasaman (pH), hasilnya menunjukkan terdapat korelasi antara kadar Cr dan tingkat keasaman (pH).

ABSTRACT

HEAVY METALS CONTENT Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Cr, Mn and Fe IN SEAWATER AND SEDIMENTS IN THE WATERS OF EAST KALIMANTAN. *Water samples from surface and bottom layers, and samples of sediment were collected from 23 stations estuarine and coastal waters of East Kalimantan Waters on August to September 1999. Means of Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Cr, Mn, and Fe content of surface seawater were 0.00517; <0.001; 0.0023; 0.00516; 0.00174; 0.0021; <0.001; 0.01524 ppm respectively. Means of those heavy metals content of bottom sea water were, 0.00530; <0.001; 0.0022; 0.00357; 0.00168; 0.0022; <0.001; 0.00123 ppm respectively. While means of Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Cr, Mn, Fe contents of sediments were 7.942; 0.205; 8.017; 56.96; 25.608; 21.87; 345.783; 1023.566 ppm respectively. The results showed that the all heavy metals contents still in lined with the threshold value stated by Kep-02/MENKLH/I/1988 for fisheries importance, inspite of that there were an indication of accumulation of heavy metals on sediments. Beside this, water quality parameter, that is salinity, dissolved oxygen and acidity, were also observe, there were correlation between Cr and pH.*

¹⁾ Bidang Dinamika Laut, Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI, Jakarta.

PENDAHULUAN

Perairan Kalimantan Timur merupakan daerah estuarin, karena perairan ini tempat bermuaranya beberapa sungai besar antara lain Sungai Mahakam, Sungai Bungus, Sungai Sangata, Sungai Barumuda, Sungai Bungalu, Sungai Karang dan Sungai Manubar, dengan karakter yang berbeda.

Propinsi Kalimantan Timur dikenal memiliki potensi sumberdaya alam yang melimpah, khususnya di bidang pertambangan dan kayu bahkan telah menjadikan Propinsi Kaltim sebagai salah satu penghasil devisa terbesar di Indonesia. Di sepanjang pantai Sangkulirang-Samarinda berkembang industri dan permukiman. Industri-industri tersebut adalah LNG, batubara, pupuk kimia organik, galangan kapal, konstruksi besi dan baja, pemeliharaan dan perbaikan alat-alat berat dan industri vulkanisir ban, dan industri kayu di sepanjang Sungai Mahakam. Perkembangan industri ini di samping telah meningkatkan kesejahteraan masyarakat, juga diikuti pula oleh peningkatan jumlah dan jenis limbah yang masuk ke lingkungan laut. Masuknya limbah tersebut cepat atau lambat akan mempengaruhi potensi sumberdaya laut.

Keberadaan logam berat di perairan laut dapat berasal dari berbagai sumber, antara lain adalah dari kegiatan pertambangan, rumah tangga, limbah dan buangan industri dan aliran pertanian (CONNEL & MILLER 1995).

Tulisan ini mengkaji hasil penelitian kandungan logam berat dalam air laut dan sedimen di perairan Kalimantan Timur serta faktor-faktor yang mempengaruhi. Hasilnya diharapkan dapat memberikan informasi kepada Pemda setempat dalam rangka mengelola kawasan pantai yang bersih dan berkelanjutan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di perairan Kalimantan Timur pada bulan Agustus-September 1999 dengan menggunakan Kapal Riset Baruna Jaya VIII. Penetapan posisi stasiun dilakukan sesuai dengan tujuan penelitian. Sebanyak 1 (satu) liter contoh air laut permukaan dan dekat dasar diambil dengan menggunakan water sampler pada 23 stasiun pengamatan (Gambar 1). Selanjutnya contoh air laut disimpan dalam botol PVC dan diawetkan dengan HNO_3 pekat sampai $\text{pH} < 2$. Contoh sedimen diambil dengan menggunakan grab, disimpan dalam wadah (PVC) yang sudah dibilas dengan HNO_3 encer. Semua contoh dianalisis di laboratorium P2O-LIPI Jakarta dengan AAS Varian Techtron model IBQ AA-1475 dengan menggunakan nyala campuran udara – asetilen (WESTERLUND & MAGNUSON 1981).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Timah Hitam (Pb)

Hasil pengukuran kadar Pb dalam air laut dan sedimen di perairan Kalimantan Timur disajikan pada Tabel 1. Dari tabel tersebut dapat dilihat kadar Pb rerata (permukaan dan dasar) berkisar antara 0,00517-0,00530 ppm dengan rerata total sebesar 0,005235 ppm atau 5,235 ppb. Kadar ini lebih tinggi dari kadar Pb yang normal dalam air laut yakni 0,03 ppb (WALDICHUCK 1974), akan tetapi masih lebih rendah dari Nilai Ambang Batas (NAB) yang ditetapkan oleh KMNKLH (1988) untuk kepentingan perikanan yakni <math><0,01\text{ ppm}</math> atau <math><10\text{ ppb}</math>. Mengacu pada WALDICHUCK di atas kadar Pb hasil pengamatan ini tidak sesuai untuk kepentingan perikanan, namun bila mengacu pada NAB yang ditetapkan oleh KMNKLH (1988) maka kadar Pb hasil pengamatan masih sesuai dan belum berbahaya bagi kehidupan organisme perairan. Berdasarkan NAB yang ditetapkan oleh KMNKLH (1988) maka kadar Pb perairan ini termasuk kategori baik dengan nilai Skala Kualitas Lingkungan (SKL) = 3.

Untuk kepentingan biota perairan, kadar Pb sebesar 0,1 – 0,2 ppm atau 100-200 ppb telah dapat menyebabkan keracunan pada jenis ikan tertentu (RODIER dalam THAMZIL *et al.* 1980), dan pada kadar 188 ppm dapat membunuh ikan-ikan (PALAR 1994). Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan oleh MURPHY (1979) diketahui bahwa biota perairan dari golongan krustase akan mengalami kematian setelah 245 jam, pada badan perairan di mana terlarut Pb pada konsentrasi 2,75-49,0 ppm. Sedangkan biota perairan lainnya, yang dikelompokkan dalam golongan insekta akan mengalami kematian dalam rentang waktu yang lebih panjang yaitu antara 168-336 jam, pada badan perairan dimana terlarut 3,5-64 ppm Pb. Berdasarkan kadar Pb dalam air laut, perairan ini belum berbahaya bagi kepentingan biota di atas.

Dalam sedimen kadar Pb berkisar antara 3,1239-15,1777 ppm dengan rerata 7,942 ppm. Secara umum kadar Pb hasil pengamatan ini tergolong rendah. Kadar Pb yang dijumpai di daerah Tor Bay Grand Bretagne yang tidak tercemar, mempunyai kandungan Pb dengan kisaran antara 21,3 – 65,7 ppm (THAYIB & RAZAK 1988). Menurut *Reseau National d'Observation (RNO)* dalam THAYIB & RAZAK (1981) kadar normal Pb dalam sedimen yang tidak terkontaminasi berkisar antara 10 – 70 ppm. Sedangkan MOORE & RAMAMOORTHY dalam EVERAART (1980) menyatakan kadar logam berat yang terdapat dalam sedimen yang tidak terkontaminasi paling rendah adalah sebesar 0,01 ppm. Jika mengacu kepada apa yang diungkapkan THAYIB & RAZAK (1988) dan RNO, maka sedimen di perairan ini belum tercemar oleh Pb, tetapi mengacu kepada MOORE & RAMAMOORTHY, maka dapat dikatakan perairan ini telah kontaminasi oleh Pb. Kontaminasi ini seiring dengan berjalannya waktu akan dapat menimbulkan akumulasi baik pada tubuh biota yang hidup dan mencari makan di dalam maupun di sekitar sedimen atau dasar perairan dan akan berbahaya bagi kehidupan biota, yang pada gilirannya akan berbahaya pula bagi manusia yang mengkonsumsi biota tersebut. Berdasarkan nilai SKL, maka kualitas sedimen ini termasuk dalam kategori sedang = 2.

Dari Tabel 1 juga dapat dilihat bahwa kadar Pb dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan air laut. Data ini menunjukkan adanya akumulasi Pb dalam sedimen. Perbandingan kadar Pb dalam air laut dengan sedimen adalah sebesar 1:1517,09.

Kadmium (Cd)

Hasil pengukuran kadar Cd rerata dalam air laut (permukaan dan dasar) dan sedimen di perairan Kalimantan Timur disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan tabel tersebut kadar Cd rerata berkisar antara <0,001-<0,001 ppm dengan rerata total <0,001 ppm atau <1 ppb. Kadar ini masih sesuai dengan kadar Cd yang normal dalam air laut yakni 0,11 ppb (WALDICHUCK 1974), dan NAB yang ditetapkan oleh KMNKLH (1988) untuk kepentingan perikanan yakni <0,01 ppm. Berdasarkan

kadar Cd, kualitas perairan ini masih termasuk kategori baik dengan nilai SKL = 3. Kadar Cd dalam sedimen adalah 0,205 ppm (Tabel 1). Kadar Cd ini termasuk tinggi, menurut TAYLOR dalam THAYIB & RAZAK (1988) kadar Cd di perairan Tor Bay Grand Bretagne yang relatif bersih berkisar antara 0,020-0,070 ppm. Menurut RNO dalam THAYIB & RAZAK (1981) kadar normal Cd dalam sedimen yang tidak terkontaminasi berkisar antara 0,1 – 2,0 ppm. Sedangkan MOORE & RAMAMOORTHY dalam EVERAART (1980) menyatakan kadar logam berat yang terdapat dalam sedimen yang tidak terkontaminasi paling rendah adalah sebesar 0,01 ppm. Berdasarkan data di atas, sedimen di dasar perairan ini telah terkontaminasi oleh Cd. Seiring dengan berjalannya waktu maka Cd ini juga akan terakumulasi di dalam sedimen dalam jumlah yang lebih banyak lagi, juga di dalam tubuh biota yang hidup dan mencari makan di dalamnya. Berdasarkan kenyataan ini dapat dikategorikan bahwa kualitas sedimen di perairan termasuk kategori sedang dengan nilai SKL = 2. Di samping itu dari Tabel 2 dapat pula dilihat bahwa kadar Cd dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan air laut. Data ini menunjukkan adanya akumulasi Cd dalam sedimen. Perbandingan kadar Cd dalam air laut dengan sedimen adalah sebesar 1: 205.

Secara keseluruhan kondisi ini dapat membahayakan kehidupan biota di perairan ini, mengingat Cd bersifat racun dan merugikan bagi semua organisme hidup, bahkan juga berbahaya untuk manusia. Dalam badan perairan, kelarutan Cd dalam konsentrasi tertentu dapat membunuh biota perairan. Biota-biota yang tergolong dalam bangsa udang-udangan (crustacea) akan mengalami kematian dalam selang waktu 24 - 504 jam, bila di dalam badan perairan terlarut logam atau persenyawaan Cd pada rentang konsentrasi antara 0,005-0,15 ppm, bangsa serangga (insecta) dalam selang waktu 24-672 jam bila terlarut Cd atau persenyawaan Cd dalam rentang konsentrasi antara 0,003-18 ppm. Biota-biota perairan yang tergolong ke dalam keluarga Oligochaeta akan mengalami kematian dalam selang waktu 24-96 jam bila di dalam badan perairan terlarut logam Cd atau persenyawaannya dengan rentang konsentrasi antara 0,0028-4,6 ppm (PALAR 1994). Unsur Pb dan Cd belum diketahui manfaatnya bagi organisme, sebaliknya dapat menimbulkan penyakit (LAWS 1981). Namun kadar Cd dalam air laut di perairan ini belum berbahaya bagi kehidupan biota perairan.

Tembaga (Cu)

Hasil pengukuran kadar Cu rerata dalam air laut (permukaan dan dasar) dan sedimen di perairan Kalimantan Timur disajikan pada Tabel 3. Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat kadar Cu rerata berkisar antara 0,0023-0,0022 ppm dengan rerata total 0,00225 ppm. Kadar ini masih sesuai dengan kadar normal Cu yang ada dalam air laut. Kadar Cu normal dalam air laut berkisar antara 0,002 -0,005 ppm (PALAR 1994) dan 2 ppb atau 0,002 ppm (WALDICHUCK 1974), begitu juga

Tabel 1. Kadar Pb dalam air laut dan sedimen di perairan Kalimantan Timur.
 Table 1. Pb content in sea water and sediment of East Kalimantan Waters.

Stations	Sea water (ppm)		Means	Sediment (ppm)
	Surface	Bottom		
1	0.007	0.004	0.0055	8.1239
2	0.005	0.009	0.0070	4.4424
3	0.007	0.006	0.0065	6.3349
4	0.007	0.007	0.0070	10.1572
5	0.005	0.006	0.0055	7.0944
6	0.005	0.006	0.0055	7.0722
7	0.004	0.004	0.0040	-
8	0.006	0.006	0.0060	10.6545
9	0.006	0.006	0.0060	9.62
10	0.006	0.005	0.0055	-
11	0.006	0.005	0.0055	-
12	0.005	0.004	0.0045	7.0937
13	0.006	0.008	0.0070	-
14	0.005	0.005	0.0050	-
15	0.005	0.005	0.0050	-
16	0.006	0.009	0.0075	5.111
17	0.004	0.005	0.0045	4.9817
18	0.005	0.004	0.0045	7.2289
19	0.004	0.004	0.0040	-
20	0.004	0.003	0.0035	15.1777
21	0.003	0.003	0.0030	9.0976
22	0.004	0.004	0.0040	-
23	0.004	0.004	0.0040	6.9462
Min	0.003	0.004	0.0030	4.4424
Max	0.007	0.009	0.0080	15.1777
St.Dev	0.00111	0.00165	0.001.37	-
Means	0.00517	0.00530	0.005235	7.942

Note: Threshold value of sea water for Pb: < 0.001 ppm (KMNKLH, 1988).

Threshold value of sediment for Pb: 0.01 ppm (EVERAART *et al.*, (1980).

Tabel 2. Kadar Cd dalam air laut & sedimen di perairan Kalimantan Timur.
Table 2. Cd content in sea water and sediment of East Kalimantan Waters.

Stations	Sea water (ppm)		Means	Sediment (ppm)
	Surface	Bottom		
1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2	<0,001	<0,001	<0,001	0.0299
3	<0,001	<0,001	<0,001	0.0299
4	<0,001	<0,001	<0,001	<1
5	<0,001	<0,001	<0,001	<1
6	<0,001	<0,001	<0,001	<1
7	<0,001	<0,001	<0,001	-
8	<0,001	<0,001	<0,001	0.0149
9	<0,001	<0,001	<0,001	0.0049
10	<0,001	<0,001	<0,001	-
11	<0,001	<0,001	<0,001	-
12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
13	<0,001	<0,001	<0,001	-
14	<0,001	<0,001	<0,001	-
15	<0,001	<0,001	<0,001	-
16	<0,001	<0,001	<0,001	0.0799
17	<0,001	<0,001	<0,001	0.0049
18	<0,001	<0,001	<0,001	0.0999
19	<0,001	<0,001	<0,001	0.0099
20	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
21	<0,001	<0,001	<0,001	-
22	<0,001	<0,001	<0,001	-
23	<0,001	<0,001	<0,001	0.0299
Min	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Max	<0,001	<0,001	<0,001	0.0999
St.Dev	0	0	0	-
Means	<0,001	<0,001	<0,001	0.205

Note: Threshold value of sea water for Cd: <0.001 ppm (KMNKLH 1988).
 Threshold value of sediment for Cd: 0.01 ppm (EVERAART *et al.* 1980).

bila dibandingkan dengan NAB yang ditetapkan oleh KMNKLH (1988) untuk kepentingan perikanan yakni $< 0,06$ ppm. Bila mengacu pada NAB dari Kantor MNKLH (1988) maka dapat dikatakan kualitas perairan ini termasuk kategori baik dengan nilai SKL = 3.

Dari Tabel 3 juga dapat dilihat kadar Cu dalam sedimen adalah sebesar 8,017 ppm. Kadar ini relatif lebih tinggi, kadar Cu di dalam sedimen di perairan Tor Bay Grand Bretagne yang relatif tidak tercemar berkisar 0,2 – 0,7 ppm (TAYLOR 1974). MARTIN dalam THAYIB & RAZAK (1988) menemukan kadar normal logam berat Cu dalam lumpur di perairan utara Bretagne berkisar 4,4 – 41,6 ppm. Menurut RNO dalam THAYIB & RAZAK (1981) kadar normal Cu dalam sedimen yang tidak terkontaminasi adalah 5 ppm. Dengan demikian bila mengacu pada RNO di atas, dapat dikatakan bahwa kualitas sedimen di perairan ini oleh Cu termasuk kategori jelek (terkontaminasi) dengan nilai SKL = 1.

Di samping itu kadar Cu dalam sedimen juga lebih tinggi dibandingkan dalam air laut, hal ini menunjukkan adanya akumulasi Cu dalam sedimen. Perbandingan kadar Cu dalam air laut dengan sedimen adalah sebesar 1: 3563,111.

Berdasarkan kepentingan biota perairan, Cu termasuk kedalam kelompok logam esensial, di mana dalam kadar yang rendah dibutuhkan oleh organisme sebagai koenzim dalam proses metabolisme tubuh, sifat racunnya baru muncul dalam kadar yang tinggi. Biota perairan sangat peka terhadap kelebihan Cu dalam badan perairan di mana ia hidup. Konsentrasi Cu terlarut dalam air laut sebesar 0,01 ppm dapat mengakibatkan kematian fitoplankton. Kematian tersebut disebabkan daya racun Cu telah menghambat aktivitas enzim dalam pembelahan sel fitoplankton. Jenis-jenis yang termasuk dalam keluarga Crustasea akan mengalami kematian dalam tenggang waktu 96 jam, bila konsentrasi Cu berada dalam kisaran 0,17-100 ppm. Dalam tenggang waktu yang sama, biota yang tergolong ke dalam keluarga moluska akan mengalami kematian bila kadar Cu yang terlarut dalam badan perairan di mana biota tersebut hidup berkisar antara 0,16-0,5 ppm, dan kadar Cu sebesar 2,5-3,0 ppm dalam badan perairan telah dapat membunuh ikan-ikan (BRYAN 1976). Dengan demikian kadar Cu dalam air laut di perairan ini belum berbahaya bagi kehidupan biota di atas.

Zink (Zn)

Hasil pengukuran kadar Zn dalam air laut (permukaan dan dasar) dan sedimen di perairan Kalimantan Timur disajikan pada Tabel 4. Dari tabel tersebut dapat dilihat kadar Zn rerata berkisar antara 0,00516-0,00357 ppm dengan rerata total 0,0043 ppm. Kadar normal Zn dalam air laut adalah 2,0 ppb atau 0,002 ppm (WALDICHUCK 1974). Dengan demikian kadar Zn ini belum berbahaya bagi

Tabel 3. Kadar Cu dalam air laut & sedimen di perairan Kalimantan Timur.
Table 3. Cu content in sea water and sediment in East Kalimantan Waters.

Stations	Sea water (ppm)		Means	Sediment (ppm)
	Surface	Bottom		
1	0,001	<0,001	-	10.371
2	0,001	<0,001	-	5.4907
3	0,001	<0,001	-	9.2269
4	0,0016	0,001	1.3	7.9473
5	0,0013	0,0019	1.6	10.890
6	0,001	<0,001	-	12.783
7	0,0016	0,0039	0.00275	-
8	0,0039	0,0036	0.00375	10.818
9	0,0013	0,001	0.00115	11.119
10	0,0049	0,001	0.00295	-
11	0,001	0,0016	0.0013	-
12	0,0016	0,001	0.0013	14.495
13	0,0046	0,0019	0.00325	-
14	0,0043	0,0016	0.00295	-
15	0,0077	0,001	0.00435	-
16	0,0029	0,0039	0.0034	2.1329
17	0,0019	0,0036	0.00275	6.7642
18	0,0019	0,0046	0.00325	4.3373
19	0,0016	0,0019	0.00175	-
20	0,001	0,0023	0.00165	2.0287
21	0,0016	0,0029	0.00225	5.8043
22	0,0026	0,0013	0.00195	-
23	0,0026	0,0013	0.00195	6.0513
Min	0,001	0,001	0.00115	2.0287
Max	0,0049	0,0046	0.00435	14.495
St.Dev	0,0017	0,0012	0.00145	-
Means	0,0023	0,0022	0.00225	8.017

Note: Threshold value of sea water for Cu: < 0.006 ppm (KMNKLH 1988).

Threshold value of sediment for Cu: 5 ppm (RNO 1981).

kehidupan organisme perairan. Kadar Zn ini masih sesuai dengan NAB yang ditetapkan oleh Baku Mutu Air Laut (KMNKLH 1988) untuk kepentingan perikanan yakni $<0,1$ ppm. Dengan demikian berdasarkan hasil pengukuran kadar Zn, kualitas perairan ini termasuk kategori baik, dengan nilai SKL = 3.

Dalam sedimen kadar Zn adalah sebesar 59,60 ppm, kadar Zn ini relatif tinggi. Kadar Zn dalam sedimen di perairan Tor Bay Grand Bretagne yang relatif tidak tercemar berkisar antara 10,7 – 42,0 ppm (TAYLOR 1974). MARTIN dalam THAYIB & RAZAK (1988) menemukan kadar normal logam berat Zn dalam lumpur di perairan utara Bretagne yaitu berkisar antara 38,8 – 268,0 ppm. Menurut RNO dalam THAYIB & RAZAK (1981) kadar normal Zn dalam sedimen yang tidak terkontaminasi berkisar antara 20 – 150 ppm. Bila mengacu kepada RNO di atas dapat dikatakan bahwa perairan ini belum terkontaminasi oleh logam Zn. Dengan demikian dilihat dari kadar Zn nya, kualitas sedimen di perairan ini termasuk kategori baik dengan nilai SKL = 3.

Dari Tabel 4 juga dapat dilihat bahwa kadar Zn dalam sedimen relatif lebih tinggi dibandingkan dengan air laut. Hal ini menunjukkan adanya akumulasi Zn dalam sediment. Perbandingan kadar Zn dalam air laut dengan sediment adalah sebesar = 1: 13246,511.

Bila dilihat untuk kepentingan biota perairan, seperti halnya Cu, Zn juga bersifat racun dalam kadar tinggi, namun dalam kadar rendah dibutuhkan oleh organisme sebagai ko-enzim. Hasil percobaan LC50 selama 96 jam menunjukkan bahwa Zn pada kadar 60 ppm telah dapat menyebabkan kematian 50 hewan uji (ikan) (BRYAN dalam CONNELL *et al.* 1995), pada kadar 310 ppb telah dapat mematikan 50% embrio kerang *C. virginica* (LC50, 24 jam), dan pada kadar 166 ppb dan 195,4 ppb telah dapat mematikan embrio dan larva kerang *M. marcenaria* sebanyak 50% (LC50, 24 jam) (CALABRESE *et al.* 1973 & 1977). Dengan demikian kadar Zn dalam air laut di perairan ini belum berbahaya bagi kepentingan biota di atas.

Nikel (Ni)

Hasil pengukuran kadar Ni dalam air laut (permukaan dan dasar) dan sedimen di perairan Kalimantan Timur disajikan pada Tabel 5. Dari tabel tersebut dapat dilihat kadar Ni berkisar antara 0,00174-0,00168 ppm dengan rata-rata 0,00171 ppm. Kadar ini lebih rendah dari kadar normal Ni dalam air laut yakni 2,0 ppm atau 0,002 ppb (WALDICHUCK 1974) dan NAB yang ditetapkan oleh KMNKLH (1988) untuk kepentingan perikanan yakni $<0,002$ ppm. Kualitas perairan ini dilihat dari kadar Ni termasuk kategori baik dengan nilai SKL = 3.

Tabel 4. Kadar Zn dalam air laut & sedimen di perairan Kalimantan Timur.
 Table 4. Zn content in sea water and sediment in East Kalimantan Waters.

Stations	Sea water (ppm)		Means	Sediment (ppm)
	Surface	Bottom		
1	0.0086	0.0019	0,0439	68.2761
2	0.0027	0.0027	0,0027	36.4381
3	0.0017	0.001	0,0013	59.1719
4	0.0031	0.0011	0,0021	59.2435
5	0.0049	0.0043	0,0046	67.8717
6	0.0011	0.0023	0,0017	66.5241
7	0.0039	0.0055	0,0047	-
8	0.0065	0.0056	0,0060	59.1977
9	0.0048	0.0055	0,0051	61.9259
10	0.007	0.0021	0,0045	-
11	0.0078	0.0047	0,0063	-
12	0.0086	0.0043	0,0064	64.1099
13	0.0063	0.0044	0,0053	-
14	0.0054	0.0058	0,0056	-
15	0.0054	0.0025	0,0039	-
16	0.0081	0.0049	0,0065	15.7759
17	0.0072	0.0026	0,0049	47.6691
18	0.0017	0.0035	0,0026	34.9398
19	0.0091	0.0059	0,0075	-
20	0.0053	0.0029	0,0041	121.1962
21	0.0053	0.0034	0,0043	46.1057
22	0.002	0.0024	0,0022	-
23	0.0041	0.0029	0,0035	46.9616
Min	0,0011	0,001	0,0010	15.7759
Max	0,0091	0,0059	0,0075	121.1962
St.Dev	0,00240	0,00149	0,00194	-
Means	0,00516	0,00357	0,0043	56.960

Note: Threshold value of sea water for Zn: < 0.01 ppm (KMNKLH 1988).
 Threshold value of sediment for Zn: 20-150 ppm (RNO 1981).

Dalam sedimen kadar Ni adalah sebesar 25,608 ppm, kadar ini lebih tinggi dibandingkan dengan kadar logam berat yang terdapat di suatu perairan yang relatif belum terkontaminasi yakni 0,01 ppm (EVERAART *et al.* 1980). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa sedimen di perairan ini telah terkontaminasi oleh Ni, dan kualitas sedimen ini termasuk kategori sedang (terkontaminasi) dengan nilai SKL = 2.

Kadar Ni dalam sedimen juga lebih tinggi dibandingkan dengan air laut. Hal ini menunjukkan adanya akumulasi Ni dalam sedimen. Perbandingan kadar Ni dalam air laut dan sedimen adalah 1 : 11381,33.

Untuk kepentingan biota perairan, seperti halnya logam berat yang lain, Ni juga bersifat racun terhadap organisme perairan. HUGHES dalam CONNELL & MILLER (1995) melaporkan adanya pengaruh toksisitas Ni pada ikan salmon. Pada kadar 1200 ppb (1,2 ppm) logam Ni dapat mematikan 50% embrio dan larva kerang *C. virginica* (LC50, 24 jam), dan pada kadar 1300 ppb (1,3 ppm) dan 5700 ppb (5,7 ppm) dapat mematikan 50% embrio dan larva kerang *M. marcenaria* (CALABRESE *et al.* 1973 & 1977). Dengan demikian kadar Ni dalam air laut di perairan ini belum berbahaya bagi kehidupan biota di atas.

Kromium (Cr)

Hasil pengukuran kadar Cr dalam air laut (permukaan dan dasar) dan sedimen di perairan Kalimantan Timur disajikan pada Tabel 6. Dari tabel tersebut dapat dilihat kadar Cr rerata berkisar antara 0,0021-0,0022 ppm dengan rerata 0,00215 ppm atau 2,15 ppb. Kadar normal Cr terlarut dalam air laut adalah 0,04 ppb (PALAR 1994) dan 0,2 ppm (WALDICHUCK 1974). Kadar Cr hasil pengamatan ini lebih tinggi dengan yang dinyatakan oleh PALAR, namun masih sesuai dengan yang dinyatakan WALDICHUCK. Bila dibandingkan dengan NAB yang ditetapkan oleh Baku Mutu Air Laut (KMNKLH, 1988) untuk kepentingan perikanan yakni < 0,001 ppm, maka kadar Cr hasil pengamatan ini relatif lebih tinggi. Berdasarkan hasil pengukuran kadar Cr ini, kualitas perairan ini termasuk kategori jelek dengan nilai SKL = 1

Kadar Cr dalam sedimen adalah sebesar 21,87 ppm, kadar ini juga lebih tinggi dibandingkan dengan kadar Cr yang terdapat di suatu perairan yang relatif belum terkontaminasi yakni 0,01 ppm (EVERAART *et al.* 1980). Dilihat dari kualitas sedimennya perairan ini termasuk kategori kurang baik dengan nilai SKL = 2.

Disamping itu kadar Cr dalam sedimen juga lebih tinggi dibandingkan dengan air laut, hal ini menunjukkan adanya akumulasi Cr dalam sedimen. Perbandingan kadar Cr dalam air laut dan sedimen adalah 1:10172,093.

Bila dilihat untuk kepentingan biota perairan, kadar Cr dapat menimbulkan bahaya bagi kehidupan organisme perairan, mengingat Cr bersifat racun. Hasil percobaan LC50 selama 96 jam menunjukkan bahwa Cr pada kadar 91 ppm telah

dapat menyebabkan kematian 50 hewan uji (ikan) (BRYAN dalam CONNELL & MILLER 1995) dan pada kadar 10300 ppb telah dapat mematikan embrio kerang *C. virginica* sebanyak 50% (LC50,24 jam) (CALABRESE *et al.* 1973 & 1977). Dengan demikian kadar Cr dalam air laut di perairan ini belum berbahaya bagi kepentingan biota di atas.

Tabel 5. Kadar Ni dalam air laut & sedimen di perairan Kalimantan Timur.
Table 5. Ni content in sea water and sediment in East Kalimantan Waters.

Stations	Sea water (ppm)		Means	Sediment (ppm)
	Surface	Bottom		
1	0.0011	<0.001	-	52.3162
2	0.0017	0.0017	0,0017	23.3603
3	0.0023	0.0017	0,0020	33.0977
4	0.0011	0.001	0,00105	31.1942
5	0.0011	0.0023	0,0017	37.0086
6	0.0035	0.001	0,0022	29.7402
7	<0.001	0.001	-	-
8	0.0011	0.001	0,0010	25.9295
9	0.0015	0.0011	0,0013	27.8449
10	0.0017	0.0017	0,0017	-
11	0.0017	0.0035	0,0026	-
12	0.001	0.0011	0,0010	23.4293
13	0.0011	0.0023	0,0017	-
14	0.0017	0.001	0,0013	-
15	0.0017	0.0017	0,0017	-
16	0.0023	0.0023	0,0023	7.8879
17	0.0017	0.001	0,0013	15.9049
18	0.0017	0.0011	0,0014	16.9638
19	0.0023	0.0017	0,0020	-
20	0.0017	0.0029	0,0023	21.0008
21	0.0029	0.0017	0,0023	18.9774
22	0.0017	0.0017	0,0017	-
23	0.0017	0.0017	0,0017	19.4749
Min	0,001	<0,001	0,0010	7.8879
Max	0,0035	0,0035	0,0026	52.3162
St.Dev	0,00061	0,00066	0.635	
Means	0,00174	0,00168	0,00171	25.608

Note: Threshold value of sea water for Ni: < 0.002 ppm (KMNKLH 1988).

Threshold value of sediment for Ni: 0.001 ppm (EVERAART *et al.* 1980).

Tabel 6. Kadar Cr dalam air laut & sedimen di perairan Kalimantan Timur.
Table 6. Cr content in sea water and sediment in East Kalimantan Waters.

Stations	Sea water (ppm)		Means	Sediment (ppm)
	Surface	Bottom		
1	0.0033	0.0024	0,0028	45.748
2	0.0033	0.0033	0,0033	22.312
3	0.0033	0.0024	0,0028	27.589
4	0.0033	0.0033	0,0033	22.542
5	0.0015	0.0024	0,00195	25.757
6	0.0024	0.0024	0,002	25.723
7	0.0024	0.0024	0,0024	-
8	0.0024	0.0024	0,0024	21.690
9	0.0015	0.0024	0,00195	24.558
10	0.0024	0.0024	0,0024	-
11	0.0024	0.0024	0,0024	-
12	0.0015	0.0024	0,00195	23.429
13	0.0024	0.0015	0,00195	-
14	0.0015	0.0015	0,0015	-
15	0.0024	0.0015	0,0095	-
16	0.0015	0.0015	0,0015	9.9001
17	0.0015	0.0015	0,0015	10.329
18	0.0024	0.0024	0,0024	13.735
19	0.0015	0.0015	0,0015	-
20	0.001	0.0015	0,00225	23.743
21	0.0015	0.0024	0,00195	17.948
22	0.001	0.0024	0,0017	-
23	0.0024	0.0015	0,0095	13.126
Min	0,0010	0,0015	0,00125	9.9001
Max	0,0029	0,0033	0,0031	45.748
St.Dev	0,0007	0,0005	0,00006	-
Means	0,0021	0,0022	0,00215	21.87

Note: Threshold value of sea water for Cr: < 0.001 ppm (KMNKLH 1988).

Threshold value of sediment for Cr: 0.01 ppm (EVERAART *et al.* 1980).

Mangan (Mn)

Hasil pengukuran kadar Mn dalam air laut (permukaan dan dasar) dan sedimen di perairan Kalimantan Timur disajikan pada Tabel 7. Dari tabel tersebut dapat dilihat kadar Mn rerata berkisar antara <0,001- <0,001 ppm dengan rerata <0,001 ppm atau <1,0 ppb. KMNKLH (1988) tidak memberikan Nilai Ambang Batas Mn untuk kepentingan perikanan. Hal ini mungkin Mn dianggap tidak berbahaya bagi kehidupan biota perairan. Berdasarkan hasil pengukuran kadar Mn ini, kualitas perairan ini termasuk kategori baik dengan nilai SKL = 3.

Kadar Mn dalam sedimen adalah sebesar 345,783 ppm, kadar ini juga lebih tinggi dibandingkan dengan kadar Mn yang terdapat di suatu perairan yang relatif belum terkontaminasi yakni 0,01 ppm (EVERAART *et al.* 1980). Dilihat dari kualitas sedimennya perairan ini termasuk kategori sedang dengan nilai SKL = 2.

Disamping itu kadar Mn dalam sedimen juga lebih tinggi dibandingkan dengan air laut, hal ini menunjukkan adanya akumulasi Mn dalam sedimen. Perbandingan kadar Mn dalam air laut dan sedimen adalah 1:160829,3.

Tabel 7. Kadar Mn dalam air laut & sedimen di perairan Kalimantan Timur.
Table 7. Mn content in sea water and sediment in East Kalimantan Waters.

Stations	Sea water (ppm)		Means	Sediment (ppm)
	Surface	Bottom		
1	<0.001	<0.001	<1	466.64
2	<0.001	<0.001	<0.001	291.70
3	<0.001	<0.001	<0.001	375.83
4	<0.001	<0.001	<0.001	337.10
5	<0.001	<0.001	<0.001	415.32
6	<0.001	<0.001	<0.001	458.31
7	<0.001	<0.001	<0.001	-
8	<0.001	<0.001	<0.001	341.324
9	<0.001	<0.001	<0.001	355.41
10	<0.001	<0.001	<0.001	-
11	<0.001	<0.001	<0.001	-
12	<0.001	<0.001	<0.001	361.80
13	<0.001	<0.001	<0.001	-
14	<0.001	<0.001	<0.001	-
15	<0.001	<0.001	<0.001	-
16	<0.001	<0.001	<0.001	313.83
17	<0.001	<0.001	<0.001	218.56
18	<0.001	<0.001	<0.001	323.57
19	<0.001	<0.001	<0.001	-
20	<0.001	<0.001	<0.001	301.26
21	<0.001	<0.001	<0.001	313.05
22	<0.001	<0.001	<0.001	-
23	<0.001	<0.001	<0.001	313.05
Min	<0.001	<0.001	1.25	218.56
Max	<0.001	<0.001	<0.001	466.64
St.Dev	0	0	0	-
Rerata	<0.001	<0.001	<0.001	345.783

Note: No threshold value of sea water for Mn by Kantor MNKLH (1988).

Threshold value of sediment for Mn: 0.01 ppm (EVERAART *et al.* 1980).

Menurut CONNELL & MILLER (1995). Mn bersifat racun terhadap ganggang *Chlorella vulgaris*, protozoa (*Paramecium*), platyhelminthes (*Polycelis*, planaria), vertebrata (*stickleback*), dan mamalia. meskipun Mn bersifat racun, namun Kantor MNKLH (1988) tidak memberikan NAB.

Tabel 8. Kadar Fe dalam air laut & sedimen di perairan Kalimantan Timur.
Table 8. Fe content in sea water and sediment in East Kalimantan Waters.

Stations	Sea water (ppm)		Means	Sediment (ppm)
	Surface	Bottom		
1	0.0016	0.0242	0.0129	1265
2	0.0097	0.007	0.0083	1088
3	0.0043	0.0061	0.0052	1021
4	0.0106	0.0161	0.0013	931.1
5	0.0161	0.0305	0.0233	996
6	0.0161	0.0079	0.0120	1144
7	0.0161	0.0206	0.0183	-
8	0.0179	0.0152	0.0165	1195
9	0.0242	0.0169	0.0205	1068
10	0.0088	0.0158	0.0123	-
11	0.0088	0.0034	0.0061	-
12	0.0369	0.0206	0.0287	1040
13	0.0106	0.0061	0.0083	-
14	0.0079	0.0152	0.0115	-
15	0.0133	0.0043	0.0088	-
16	0.0079	0.0052	0.0065	875.1
17	0.0197	0.0097	0.0147	1009
18	0.0069	0.0115	0.0092	1057
19	0.0124	0.0124	0.0124	-
20	0.0115	0.0152	0.0133	833.7
21	0.0152	0.0106	0.0129	907.6
22	0.0124	0.0052	0.0088	-
23	0.064	0.0097	0.0368	923
Min	0,0016	0,0034	0.0025	833.7
Max	0,0640	0,0350	0.0328	1195
St.Dev	0,00128	0,00697	0.0041	-
Means	0,01534	0,00125	0.0082	1023.566

Note: No threshold value of sea water for Fe by KMNKLH (1988).

Threshold value of sediment for Fe: 0.01 ppm (EVERAART *et al.* 1980).

Besi (Fe)

Hasil pengukuran kadar Fe dalam air laut (permukaan dan dasar) dan sedimen di perairan Kalimantan Timur disajikan pada Tabel 8. Dari tabel tersebut dapat dilihat kadar Fe rerata berkisar antara 0,01534-0,00125 ppm dengan rerata 0,0082 ppm. Baku Mutu Air laut (KMNKLH 1988) tidak menetapkan NAB Fe untuk kepentingan perikanan. Hal ini mungkin disebabkan karena Fe termasuk salah satu logam esensial dan dianggap tidak berbahaya bagi organisme perairan. Berdasarkan hasil pengukuran kadar Fe ini, kualitas perairan ini termasuk kategori baik dengan nilai SKL = 3.

Kadar Fe dalam sedimen adalah sebesar 1023,566 ppm, kadar ini juga lebih tinggi dibandingkan dengan kadar Fe yang terdapat di suatu perairan yang relatif belum terkontaminasi yakni 0,01 ppm (EVERAART *et al.* 1980). Dilihat dari kualitas sedimennya perairan ini termasuk kategori kurang baik dengan nilai SKL = 2.

Di samping itu kadar Fe dalam sedimen juga lebih tinggi dibandingkan dengan air laut, hal ini menunjukkan adanya akumulasi Fe dalam sedimen. Perbandingan kadar Fe dalam air laut dan sedimen adalah 1:74074.829.

Dilihat dari kepentingan biota perairan, tampaknya Fe bukanlah merupakan logam yang berbahaya, sehingga KMNKLH (1988) tidak memberikan NAB. Sebagai logam esensial Fe antara lain berfungsi dalam enzim ferrodoksin, suksinat dchidrogenase, perokdase, katalase, aldehyd oksidase, dan sitokrom (JOHNSTON 1976).

Pada Tabel 9 dapat dilihat konsentrasi beberapa jenis logam yang dapat mengakibatkan kematian biota laut pada pemaparan 96 jam. Selain kandungan logam berat juga diamati parameter lingkungan lain, seperti kedalaman, salinitas, oksigen terlarut, dan pH. Hasil pengukuran parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 9. Konsentrasi ion-ion Logam (ppm) yang mematikan beberapa biota laut pada pemaparan 96 jam.

Table 9. Lethal metals ions concentration of some sea biotas for 96 hour exposure.

No	Metals	Sea Biotas			
		Fish (Ikan)	Shrimph (Udang)	Sheel (Kerang)	Polychete
1	Pb	188	-	-	7,7-20
3	Cd	22-55	0,015-47	22-35	2,5-12,1
3	Cu	2,5-3,5	0,17-100	0,14-24	0,16-0,5
4	Zn	60	0,5-50	10-50	1,8-55
5	Cr	91	40	14-105	2,0-9,0
6	Ni	350	6-47	72-320	25-72

Source: PALAR (1994)

Tabel 10. Parameter lingkungan di perairan Kalimantan Timur.
Table 10. Environmental parameters in East Kalimantan Waters.

Stations	Depth (m)		Salinitas (ppt)		DO (ml/l)		pH	
	P	D	P	D	P	D	P	D
1	1	18	32.2	33.6	5.94	6.00	8.55	8.65
2	1	39	32.1	33.2	5.44	6.27	8.65	8.59
3	1	45.7	33.9	34.1	4.81	6.3	8.45	8.45
4	1	24	33.4	33.8	5.82	6.22	8.45	8.49
5	1	29.6	33.5	33.7	6.0	6.27	8.44	8.51
6	1	39	34.1	32.6	6.32	5.94	8.46	8.49
7	1	66	33.7	34.1	5.28	6.01	8.36	8.26
8	1	75	33.4	34.4	5.26	5.88	8.46	8.46
9	1	40	34.1	34.5	3.44	6	8.4	8.33
10	1	51	33.4	33.8	5.5	5.87	8.37	8.27
11	1	36	27.4	33.7	6.06	5.87	8.46	8.45
12	1	21	33.2	33.8	5.71	6.08	8.3	8.49
13	1	70	31.3	33.9	5.38	6.08	8.28	8.32
14	1	125	32.5	33.9	4.84	6.11	8.37	8.18
15	1	137	32.5	33.9	5.58	6.22	8.33	8.29
16	1	28	32.8	33.9	5.89	5.98	8.32	8.36
17	1	40.2	31.7	33.6	5.87	6.34	8.39	8.34
18	1	70	33.3	34.4	5.13	6.13	8.35	8.32
19	1	125	33.4	34.9	4.96	5.97	8.31	8.26
20	1	125	33.3	35.1	4.68	6.12	8.36	8.22
21	1	46.7	33.1	33.7	5.74	5.96	8.36	8.36
22	1	125	33.1	35.5	4.7	6.17	8.31	8.21
23	1	125	33.1	34.1	5.9	6.07	8.33	8.28
Min	1	18	27.4	32.6	3.44	5.87	8.28	8.18
Max	1	137	34.1	35.5	6.32	6.34	8.65	8.65
St. Dev	0	40.52	1.380	0.611	0.635	0.1418	0.087	0.126
Means	1	65.27	32.804	34.009	5.402	6.080	8.39	8.37

Note: P (Surface), D (Bottom)

Dari Tabel 10 dapat dilihat salinitas di lapisan permukaan berkisar antara 27,4-34,1 ppt dengan rerata 32,804 ppt; di lapisan dasar antara 32,6-35,5 ppt dengan rerata 34,009 ppt; oksigen terlarut di lapisan permukaan berkisar antara 3,44-6,32 ml/l dengan rerata 5,402 ml/l; di lapisan dasar antara 5,87-6,34 ml/l dengan rerata 6,080 ml/l, dan pH di lapisan permukaan berkisar antara 8,28-8,65 dengan rerata 8,39 ml/l dan di lapisan dasar antara 8,18-8,65 dengan rerata 8,37. Nilai salinitas, oksigen terlarut, dan pH tersebut masih sesuai dengan NAB yang ditetapkan oleh KMNKLH (1988) untuk kepentingan perikanan. Untuk mengetahui apakah ada

Tabel 11. Hasil analisis korelasi antar parameter (permukaan).
Table 11. Correlation analysis between parameters (surface).

Environmental parameter	Pb	Cd	Zn	Ni	Cu	Cr	Mn	Fe
pH	0.39	-	-0.210	-0.017	-0.411	0.619	-	0.247
DO	-0.059	-	-0.394	-0.182	-0.044	-0.080	-	0.136
Salinity	-0.128	-	-0.381	0.141	-0.034	-0.110	-	0.133
Depth	-	-	-	-	-	-	-	-

Note: r table 5%: 0.423

Tabel 12. Hasil analisis korelasi antar parameter (dasar).
Table 12. Correlation analysis between parameters (bottom).

Environmental parameter	Pb	Cd	Zn	Ni	Cu	Cr	Mn	Fe
pH	0.37	-	-0.297	-0.104	-0.249	0.621	-	0.246
DO	0.112	-	-0.282	0.111	0.045	0.066	-	-0.115
Salinity	-0.399	-	0.222	0.162	0.177	-0.270	-	-0.013
Depth	-0.357	-	0.203	0.105	0.038	-0.520	-	-0.257

Note: r table 5%: 0.423.

korelasi antara kadar logam berat dengan faktor lingkungan (salinitas, oksigen terlarut, dan keasaman) dilakukan analisis korelasi, hasilnya menunjukkan tidak terdapat korelasi yang signifikan antara kadar logam berat dengan faktor lingkungan, kecuali Cr dengan pH (Tabel 11 dan 12).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh, kadar logam berat (Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Cr, Mn, dan Fe) dan parameter lingkungan lainnya (pH, oksigen terlarut dan salinitas) di perairan Kalimantan Timur masih di bawah Nilai Ambang Batas (NAB) yang ditetapkan KMNKLH (1988) untuk kepentingan perikanan. Namun demikian karena pesatnya laju pertumbuhan industri dan permukiman, maka perlu dilakukan monitoring.

DAFTAR PUSTAKA

- BRYAN, G. W. 1976. Some aspects of heavy metal tolerance in aquatic organism. *In: Effects of pollutants on Aquatic Organisms* (A.P.M. LOCKWOOD ed.). Cambridge University Press, Cambridge: 431 pp.
- CONNEL, W. D., and G. J. MILLER 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Penerbit Universitas Indonesia: 520 hal.
- CALABRESE, A., J.R. McINNES, D.A. NELSON and J.E. MILLER 1977. Survival and growth of bivalve larvae under heavy-metal stress. *Marine Biol.* 41: 179-184.
- CALABRESE, A., R.S. COLLIER, D.A. NELSON, and J.R. McINNES 1973. The toxicity of heavy metals to embryos of the American Oyster *Crassostrea virginica*. *Mar. Biol.* 18: 162-166.
- EVERAARTS, J.M. 1980. Heavy metals (Cu, Zn, Pb, Cd) in sediment of the Java Sea. Estuarine and coastal areas of east Java and some deep sea areas. *Netherland Journal of Sea Research* 23(4): 403-413.
- JOHNSTON, R. 1976. *Marine Pollution*. Academic Press. 729 pp.
- KMNKLH. 1988. *Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No. Kep-02/MNKLH/I/1988 Tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan*. Kantor Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup, Jakarta: 32 hal.
- LAWS, E.A. 1981. *Aquatic Pollutions*. Jhon Wiley & Son Inc. New York: 521 pp.
- MURPHY, M. 1979. A manual for toxicity tests with freshwater macroinvertebrates and a review of the effects of specific toxicants. University of Wales Institute of Science and Technology Publication: 134 pp.
- PALAR, H. 1994. *Pencemaran & Toksikologi Logam Berat*. Penerbit Rineka Cipta. Jakarta: 152 hal.
- THAMZIL, L., S. SUWIRMA, dan S. SURTIPANTI 1980. Studi kandungan logam berat pada aliran Sungai Sunter. *Majalah Batan* Vol. XIII No.3: 41-58.
- THAYIB, S.S. dan H. RAZAK 1981. Pengamatan kandungan bakteri indikator, logam berat dan pestisida di perairan Pantai Teluk Ambon, Teluk Banten dan Teluk Jakarta. *Prosiding: Seminar dan Kongres Nasional Biologi VI*, Surabaya: 196-217.

THAYIB, S.S dan H. RAZAK 1988. Pengamatan kandungan bakteri indikator, logam berat dan pestisida di perairan pantai Teluk Ambon, Teluk Banten dan Teluk Jakarta. *Buku Perairan Indonesia*. hal. 114-131.

TAYLOR, D. 1974. Natural distribution of trace metals in the sediments from a coastal environment, Tor Bay, England. *Estuarine and Coastal Marine Science* 2: 417- 424.

WALDICHUCK, M. 1974. Some biological concern in heavy metals pollution. In: VERBERG & VERBEG (ed.) *Pollution and Psysiology of Marine Organism*. Academic Press, London: 231 pp.

WESTERLUND, S. and B. MAGNUSON 1981. Solvent extraction procedures combined with back titration for trace metals determinations by atomic absorption spectrometry. *Anal. Chim. Acta*. 131: 63-72.

Referensi

MUELLER-DOMBOIS, D. dan H. ELLENBERG 1974. *Atlas and methods of vegetation ecology*. John Wiley & Sons Inc, New York : 347 pp.

Jurnal

ROCHFORD, D.J. 1969. Seasonal variations in the Indian Ocean along 110 E.E. Hydrological structure of the upper 500 m. *India J. Mar. Fisheries Res.* 4 (20): 1-30.

Keputusan Naskah atau printing:

SYRETT P.J. 1962. Nitrogen assimilation. In: R.A. LEWIN (ed.) *Physiology and Biochemistry of Algae*. Academic Press, New York : 171-188.