

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Konsentrasi logam berat

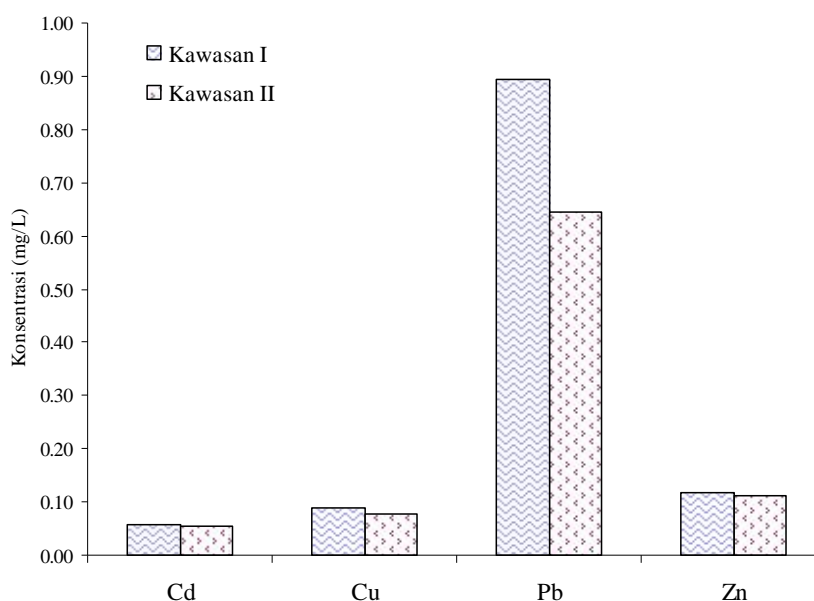
4.1.1 Logam berat dalam air laut

Analisis logam berat dalam air biasanya relatif lebih cepat dan lebih mudah dibandingkan dengan analisa pada sampel lain. Namun demikian penggunaan sampel air untuk monitoring logam berat mempunyai beberapa kelemahan karena harus melakukan banyak pengulangan sampling yang berhubungan dengan perbedaan dan perubahan sifat-sifat fisika kimia dan konsentrasi logam berat tersebut berdasarkan waktu (Phillips, 1995). Analisa logam berat dalam air juga belum dapat memberikan informasi tentang ketersediaan secara biologi logam tersebut di suatu perairan (Phillips dan Rainbow, 1993; Rainbow, 1997a). Disamping itu, faktor fisik dan kimia perairan akan berpengaruh satu sama lain dan akan berpengaruh pada konsentrasi logam berat terlarut di perairan tersebut (Ouyang *et al.*, 2006). Rata-rata konsentrasi logam berat dalam air laut pada masing-masing stasiun dari perairan Dumai dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 2.

Tabel 1. Konsentrasi logam Cd, Cu, Pb dan Zn pada air laut di masing-masing stasiun di perairan Dumai

Kawasan	No.	Stasiun	Konsentrasi logam (mg/L)			
			Cd	Cu	Pb	Zn
I	1.	Guntung	0.04	0.07	0.94	0.26
	2.	Mundam	0.05	0.10	0.91	0.07
	3.	Pertamina	0.07	0.10	0.95	0.08
	4.	Pelabuhan Fery	0.06	0.10	0.98	0.08
	5.	Pelindo	0.06	0.10	0.80	0.06
	6.	Sei. Dumai	0.06	0.10	0.82	0.13
	7.	Dockyard	0.06	0.08	0.86	0.16
		<i>Rata-rata</i>	<i>0.06</i>	<i>0.09</i>	<i>0.89</i>	<i>0.12</i>
II	8.	Bangsar Aceh	0.04	0.04	0.54	0.08
	9.	Lubuk Gaung	0.06	0.10	0.53	0.17
	10.	Basilam Baru	0.06	0.09	0.86	0.09
		<i>Rata-rata</i>	<i>0.05</i>	<i>0.08</i>	<i>0.64</i>	<i>0.11</i>
		Rata-rata Total	0.06	0.09	0.82	0.12

Konsentrasi logam berat dalam air laut tidak begitu jauh berbeda antara stasiun yang satu dengan stasiun lainnya. Konsentrasi rata-rata logam Cd di kawasan Dumai bagian Timur hanya sedikit lebih tinggi dari pada di kawasan bagian Barat ($0,06 > 0,05$ mg/L; $p > 0,05$). Lebih tingginya konsentrasi logam Cd di kawasan bagian Timur kemungkinan disebabkan oleh lebih banyaknya aktivitas industri dan juga aktivitas masyarakat yang cenderung membuang limbah secara langsung ke lingkungan yang pada akhirnya sampai juga ke laut. Konsentrasi rata-rata logam Cd untuk kawasan perairan pantai adalah $0,001 - 0,07$ μ g/L (Bryan dan Langston, 1992). Kementerian Lingkungan Hidup Indonesia menetapkan konsentrasi standar untuk Cd di perairan pantai Indonesia adalah $0,001$ mg/L. Konsentrasi logam Cd dalam air laut dari daerah yang belum terkontaminasi adalah $0,112 \times 10^{-8}$ mg/L (Lionetto *et al.*, 2000). USEPA (1986) dan CCME (1995) menetapkan standar konsentrasi realistik logam Cd mencapai 5 μ g/L. Berdasarkan nilai tersebut, maka konsentrasi logam Cd di perairan Dumai ($0,06$ mg/L) telah melebihi rata-rata konsentrasi untuk perairan pantai.



Gambar 2. Konsentrasi logam Cd, Cu, Pb dan Zn pada air laut di Kawasan I dan Kawasan II di perairan Dumai

Sama halnya dengan konsentrasi logam Cd, logam Cu juga menunjukkan konsentrasi yang hampir sama diantara stasiun dengan rata-rata pada kawasan bagian Timur lebih tinggi dibandingkan kawasan bagian Barat ($0,09 > 0,08$ mg/L; $p > 0,05$). Konsentrasi rata-rata Cu untuk perairan pantai adalah $0,34 - 0,40$ μ g/L (Law *et al.*,

1994). Menurut Mulligan *et al.* (2001), Cu biasanya terikat dengan kuat pada bahan organik sehingga menurunkan mobilitasnya di perairan. Standar logam Cu yang dikemukakan oleh beberapa negara adalah antara lain 0,1 mg/L (Malaysia); 0,008 mg/L (Indonesia); 0,005 mg/L (UK); 4,8 and 2,9 $\mu\text{g/L}$ (USA and Denmark) (DOE, 1999; USEPA, 1986; Bryan dan Langston, 1992; Men-KLH, 2004).

Konsentrasi logam Pb secara umum lebih tinggi dibandingkan konsentrasi logam yang lain. Namun demikian secara umum tidak terjadi perbedaan yang menyolok diantara masing-masing stasiun. Rata-rata konsentrasi logam Pb di kawasan perairan Dumai bagian Timur lebih tinggi dibandingkan dengan kawasan bagian Barat ($0,89 > 0,64$; $p < 0,05$). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh lebih banyaknya aktivitas antropogenik di kawasan bagian Timur, termasuk adanya kegiatan pelabuhan, aktivitas kapal tangker dan kilang minyak Pertamina UP II dan juga kilang sawit Bukit Kapur Reksa. Kawasan ini juga berada dekat dengan jalan raya dan jalan-jalan perkotaan yang pada akhirnya debu-debu jalanan yang mengandung Pb dari asap kendaraan akan terbawa oleh air hujan ke sungai dan perairan pantai. Bahan bakar yang mengandung Pb masih digunakan di Dumai dan ini kemungkinan berperan penting sebagai kontributor Pb di perairan pantai Dumai bagian Timur. Chan (1995) menyatakan bahwa aktivitas pelabuhan di Hong Kong telah memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan konsentrasi logam Pb di perairan sekitarnya. Konsentrasi Pb dalam air laut di perairan Dumai ini lebih tinggi dibandingkan standar yang dikeluarkan oleh pemerintah Indonesia yaitu 0,008 mg/L (Men-KLH, 2004) dan Departemen Lingkungan Hidup Malaysia yaitu 90 $\mu\text{g/L}$ (DOE, 1999).

Pada konsentrasi yang relatif rendah (kurang dari 1 mg/L), logam Zn dapat bersifat toksik pada organisme perairan (Watanabe *et al.*, 1997). Pada penelitian ini konsentrasi tertinggi dijumpai di stasiun Guntung dan secara umum konsentrasi rata-rata untuk logam Zn di perairan kawasan Dumai bagian Timur sedikit lebih tinggi dari kawasan Dumai bagian barat ($0,12 > 0,11$; $p > 0,05$). Perbandingan konsentrasi logam berat dalam air laut dari perairan Dumai dengan perairan lain dapat dilihat pada Tabel 2. Peningkatan konsentrasi logam berat di kawasan perairan yang dilalui oleh banyak kapal dan banyak aktivitas perkapalan telah dilaporkan oleh Nayar *et al.* (2004). Sementara itu Paucot dan Wollast (1997) telah melaporkan bahwa meningkatnya salinitas cenderung meningkatkan konsentrasi logam Zn di perairan. Standar kualitas

perairan untuk logam Zn yang ditetapkan oleh pemerintah Indonesia adalah 0,05 mg/L; Inggris, Amerika dan Denmark menetapkan 10, 90 dan 86 µg/L untuk logam Zn (Matthiessen *et al.*, 1999). Standar konsentrasi logam Zn untuk perairan pantai adalah 0,30 – 70,0 µg/L (UNEP, 1993; Bryan dan Langston, 1992).

Table 2. Perbandingan antara konsentrasi logam berat dalam air laut dari perairan Dumai dengan penelitian lain.

Location	Cd	Cu	Pb	Zn	Reference
Singapore coastal waters	0.015-0.254	0.170-0.640	0.006-0.980	2.37-3.65	Cuong <i>et al.</i> (2005)
Kemaman coast Malaysia	0.01-0.06	0.16-0.76	0.01-0.29	7.30-29.00	Ahmad (1996)
Onsan Bay, Korea	0.02-1.15	0.32-3.75	0.02-2.49	0.60-23.98	Kang <i>et al.</i> (1999)
Kuwait coast	-	26.40-45.59	0.30-0.67	-	Bu-Olayan and Thomas (2001)
Masan Bay, Korea	0.08	0.91	0.64	2.17	Kwon and Lee (2001)
Gulf of Suez	0.04-0.27	1.15-4.78	0.56-3.17	6.79-25.19	Hatje <i>et al.</i> (2001)
Dumai, Indonesia	0.03-0.07	0.04-0.06	0.16-0.94	0.06-0.11	Present study

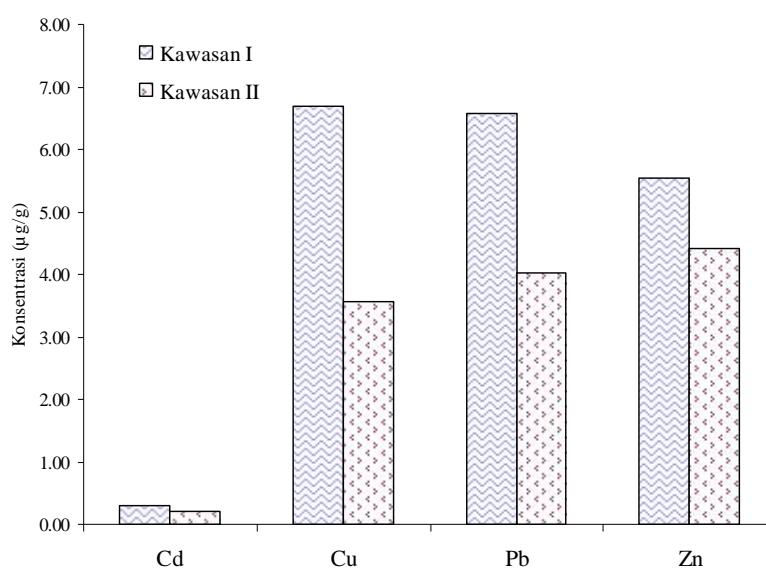
4.1.2 Logam berat dalam padatan tersuspensi

Menurut Leventer dan Dunbar (1985), padatan tersuspensi berperan cukup penting dalam menjaga karakteristik kimia dan biologi suatu ekosistem perairan. Komposisi dan konsentrasinya dapat menggambarkan proses dinamika dalam kolom air seperti produktivitas primer di perairan permukaan, dissolusi dan degradasi di dasar, transportasi partikel secara vertikal dan horizontal. Distribusi konsentrasi logam Cd, Cu, Pb, Zn pada masing-masing stasiun pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3. Rata-rata konsentrasi logam berat pada padatan tersuspensi di kawasan perairan Dumai bagian Timur lebih tinggi dari pada kawasan perairan Dumai bagian Barat (Gambar 3).

Konsentrasi tertinggi logam Cd dan Cu terdapat di stasiun Pelindo, Pb di Dockyard sedangkan Zn di Sungai Dumai. Namun demikian secara umum konsentrasi tersebut masih sebanding dengan konsentrasi logam pada padatan tersuspensi dari perairan yang tidak tercemar yang dikemukakan oleh Windom *et al.* (1991). Analisa statistik menunjukkan bahwa konsentrasi Cd, Cu dan Pb pada padatan tersuspensi dari perairan Dumai bagian Timur berbeda nyata dari kawasan bagian Barat ($p < 0,05$) sedangkan logam Zn tidak menunjukkan perbedaan nyata ($p > 0,05$).

Tabel 3. Konsentrasi logam Cd, Cu, Pb dan Zn pada masing-masing stasiun dalam padatan tersuspensi

Kawasan	No.	Stasiun	Konsentrasi logam ($\mu\text{g/g}$)			
			Cd	Cu	Pb	Zn
I	1.	Guntung	0.28	6.41	5.77	5.28
	2.	Mundam	0.27	4.86	6.53	5.50
	3.	Pertamina	0.23	6.54	5.87	4.65
	4.	Pelabuhan Fery	0.33	6.26	6.37	4.89
	5.	Pelindo	0.39	8.40	6.07	6.15
	6.	Sei. Dumai	0.24	7.64	7.16	6.36
	7.	Dockyard	0.32	6.76	8.23	5.99
		<i>Rata-rata</i>	0.29	6.69	6.57	5.55
II	8.	Bangsai Aceh	0.19	3.39	3.88	3.28
	9.	Lubuk Gaung	0.24	4.60	4.83	4.48
	10.	Basilam Baru	0.22	2.73	3.39	5.50
		<i>Rata-rata</i>	0.22	3.57	4.03	4.42
		<i>Rata-rata Total</i>	0.27	5.76	5.81	5.21



Gambar 3. Rata-rata konsentrasi logam pada padatan tersuspensi di kawasan perairan Dumai

Perbandingan dengan penelitian terdahulu menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat pada padatan tersuspensi dari perairan Dumai masih sebanding dengan daerah lain sebagaimana terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan konsentrasi logam berat ($\mu\text{g/g}$) pada padatan tersuspensi dari perairan Dumai dengan daerah lain.

Location	Cd	Cu	Pb	Zn	Reference
Gulf of Thailand	-	1.14-23.27	-	7.66-339.54	Censi <i>et al.</i> (2006)
Tanshui coast, Taiwan	0.03-1.11	13.39-70.8	10.23-35.8	18.00-116.00	Fang <i>et al.</i> (2006)
Jiaozhou Bay	2.06	98.20	79.70	232	Li, <i>et al.</i> (2006)
Sydney Continent. Shelf	-	15.00-1360.00	22.00-285.00	94.00-2307.00	Matthai <i>et al.</i> (2003)
Changjiang Estuary	1.15	44.80	44.30	-	Che <i>et al.</i> (2003)
Hangzhou Bay	0.12	46.50	22.30	-	Che <i>et al.</i> (2003)
Kuwait coast	-	12.52-66.11	13.64-85.79	-	Bu-Olayan and Thomas (2001)
German Bight	-	-	131.00	-	Hinrichs <i>et al.</i> (2002)
Hombush Bay	-	44.70	180.90	600.60	Hatje <i>et al.</i> (2001)
Onsan Bay, Korea	0.11-4.41	9.0-349.1	11.1-456.6	40.6-584.2	Kang <i>et al.</i> (1999)
Dumai, Indonesia	0.27	5.79	5.74	5.16	Present study

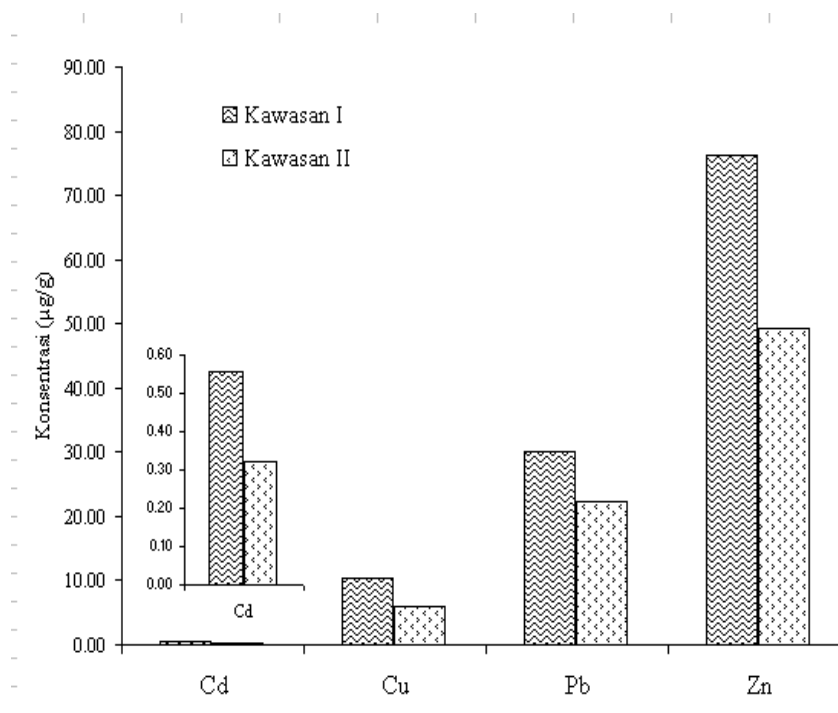
4.1.3 Logam berat dalam alga

Alga periphyton seperti juga organisme lain diperkirakan menyerap logam berat dari perairan dan menjadi media dalam mentransferkan logam tersebut kepada organisme pada tingkat trofik yang lebih tinggi sebagaimana yang dikemukakan oleh Hassen *et al.* (1998) dan Yu *et al.* (1999). Makro dan mikro alga dapat pula menyerap nutrien dan logam berat dalam konsentrasi rendah maupun tinggi (Gonzales-Davilla, 1995 dan Donmez *et al.*, 1999). Konsentrasi logam Cd, Cu, Pb dan Zn pada alga dari perairan Dumai dapat dilihat pada Tabel 5.

Rata-rata konsentrasi semua logam pada alga dari perairan kawasan Dumai bagian Timur lebih tinggi ($p < 0,05$) daripada kawasan Dumai bagian Barat (Gambar 4). Konsentrasi rata-rata logam berat pada alga berurutan dari yang tertinggi ke yang terendah adalah $\text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cd}$. Hasil yang serupa juga ditunjukkan oleh Yusof (2005) dalam penelitiannya di perairan estuaria Linggi, Malaysia. McBrien dan Hassal (1967) menyatakan bahwa ada kemiripan efek biokimia dan fisiologi logam Cd, Cu, Pb dan Zn, namun demikian Cd dan Cu lebih bersifat toksik pada tumbuhan air.

Tabel 5. Konsentrasi logam Cd, Cu, Pb dan Zn pada alga dari perairan Dumai

Kawasan	No.	Stasiun	Konsentrasi logam ($\mu\text{g/g}$)			
			Cd	Cu	Pb	Zn
I	1.	Guntung	0.60	9.29	26.48	63.21
	2.	Mundam	0.48	11.67	31.00	83.65
	3.	Pertamina	0.62	8.61	27.08	67.83
	4.	Pelabuhan Fery	0.58	9.26	31.50	73.38
	5.	Pelindo	0.55	13.16	34.40	93.71
	6.	Sei. Dumai	0.57	8.98	27.32	67.33
	7.	Dockyard	0.52	12.37	33.20	85.54
	<i>Rata-rata</i>		<i>0.56</i>	<i>10.48</i>	<i>30.14</i>	<i>76.38</i>
II	8.	Bangsai Aceh	0.44	8.17	26.77	62.08
	9.	Lubuk Gaung	0.20	4.67	20.40	41.37
	10.	Basilam Baru	0.32	5.14	20.11	44.07
	<i>Rata-rata</i>		<i>0.32</i>	<i>5.99</i>	<i>22.43</i>	<i>49.17</i>
Rata-rata Total			<i>0.49</i>	<i>9.13</i>	<i>27.83</i>	<i>68.22</i>



Tabel 4. Konsentrasi logam Cd, Cu, Pb dan Zn pada Kawasan I dan II dalam alga dari perairan Dumai

4.1.4 Logam berat dalam ikan gulama

Secara alamiah perairan laut mengandung logam berat dalam jumlah yang kecil, namun bila dalam perairan tersebut jumlahnya meningkat maka dapat bersifat racun bagi organisme yang ada di dalamnya ataupun manusia yang mengkonsumsi organisme tersebut. Pada umumnya semua logam berat dapat menimbulkan efek negatif bagi organisme perairan pada batas konsentrasi tertentu. Pengaruh tersebut bervariasi tergantung pada jenis logam, spesies organisme, daya permeabilitas dan mekanisme detoksikasi (Darmono, 1995). Logam berat dalam air mudah terserap dan tertimbun dalam fitoplankton yang merupakan titik awal dari rantai makanan, selanjutnya melalui rantai makanan sampai ke organisme lainnya (Fardiaz, 1992). Kadar logam berat dalam air selalu berubah-ubah tergantung pada saat pembuangan limbah, tingkat kesempurnaan pengelolaan limbah dan musim. Peningkatan kadar logam berat dalam air laut akan diikuti oleh peningkatan logam berat dalam tubuh ikan dan biota lainnya, sehingga pencemaran air laut oleh logam berat akan mengakibatkan ikan yang hidup di dalamnya tercemar. Pemanfaatan ikan-ikan ini sebagai bahan makanan akan membahayakan kesehatan manusia.

Tabel 6. Konsentrasi logam berat dalam daging ikan gulama dari perairan Dumai

Kawasan	Kelompok	Ukuran	Konsentrasi ($\mu\text{g/g}$)			
			Cd	Cu	Pb	Zn
I	Kecil (n=12)	19,0 cm; 59,4 g	0,19	0,22	5,52	7,56
	Besar (n=12)	21,5 cm; 88,0 g	0,09	0,21	4,39	5,64
	<i>Rata-rata</i>		<i>0,14</i>	<i>0,21</i>	<i>4,96</i>	<i>6,60</i>
II	Kecil (n=13)	17,4 cm; 48,9 g	0,15	0,29	5,18	6,71
	Besar, (n=17)	21,2 cm; 90,12 g	0,10	0,13	4,07	5,81
	<i>Rata-rata</i>		<i>0,12</i>	<i>0,20</i>	<i>4,55</i>	<i>6,20</i>

Pada Tabel 6 dapat dilihat bahwa rata-rata konsentrasi logam berat pada daging ikan dari Kawasan I yaitu untuk logam Cd 0,14 $\mu\text{g/g}$; Cu 0,21 $\mu\text{g/g}$; Pb 4,96 $\mu\text{g/g}$; Zn 6,60 $\mu\text{g/g}$. Sementara itu untuk rata-rata konsentrasi logam pada ikan dari Kawasan II yaitu untuk logam Cd 0,12 $\mu\text{g/g}$; Cu 0,20 $\mu\text{g/g}$; Pb 4,55 $\mu\text{g/g}$; Zn 6,20 $\mu\text{g/g}$. Rata-rata konsentrasi logam berat pada ikan Gulama pada daging ikan dari

Kawasan I lebih tinggi bila dibandingkan dengan Kawasan II. Uji statistik (Tabel 7) menunjukkan bahwa secara umum konsentrasi logam Cd, Cu, Pb dan Zn pada daging antara kedua kawasan tidak berbeda nyata ($p > 0,05$).

Tabel 7. Perbandingan rata-rata logam berat Cd, Cu, Pb, dan Zn pada daging ikan gulama di setiap stasiun penelitian

Logam	Kawasan I > Kawasan II		p
Cd	0,14	0,12	0,536
Cu	0,21	0,20	0,734
Pb	4,96	4,55	0,254
Zn	6,60	6,20	0,638

Tingginya konsentrasi logam berat pada daging ikan Gulama (*S. russelli*) di Kawasan I kemungkinan sejalan dengan lebih tingginya konsentrasi logam berat dalam sedimen, mengingat bahwa ikan gulama adalah termasuk dalam golongan ikan dasar. Lebih tingginya konsentrasi logam berat pada kawasan I kemungkinan dikarenakan tingginya aktivitas antropogenik dan juga terjadi karena daerah ini merupakan pengembangan Kawasan Industri Pelintung seluas 3.500 Ha, dan juga pembangunan pelabuhan internasional sepanjang 1.000 m. Chen *et al.* (2007) melaporkan bahwa aktivitas industri dan pelabuhan telah berperan dalam peningkatan konsentrasi logam berat di perairan.

Sementara itu rendahnya konsentrasi logam di Kawasan II dimungkinkan karena lebih rendahnya aktivitas antropogenik dan pesisir kawasan ini juga didominasi oleh hutan mangrove. Widiowati *et al.* (2008) menyatakan bahwa pohon bakau (*Rhizophora mucronata*) dapat mengakumulasi logam Cu, Mn, dan Zn. Sedangkan mangrove jenis Api-api (*Avicennia marina*) dapat menyerap bahan-bahan organik dan nonorganik, dimana akar tumbuhan ini dapat menyerap logam-logam berat yang terdapat pada sedimen maupun kolom air.

Rata-rata konsentrasi logam Zn lebih tinggi bila dibandingkan dengan logam Cd, Cu, dan logam Pb, dengan urutan $Zn > Pb > Cu > Cd$. Sesuai dengan pendapat Darmono (1995) yang mengemukakan bahwa logam Zn mempunyai batasan kadar maksimum lebih tinggi dari logam Cu dan Pb karena Zn banyak terdapat dalam enzim

yang digunakan dalam proses metabolisme dan membantu pertumbuhan. Berdasarkan hasil penelitian Anggraini (2007) juga menyatakan bahwa urutan logam berat paling tinggi dalam Lokan (*Geloina coaxans*) yaitu $Zn > Pb > Cu > Cd$. Cheung *et al.*, (2007) juga menyatakan bahwa konsentrasi logam berat yang terakumulasi pada ikan laut (*Platycephalus indicus*, *Priacanthus macracanthus*, *Epinephelus bleekeri*, *Siganus punctatus*, *Nemipterus virgatus*, *Epinephelus coioides*, *Trachinotus blochii*, *Cynoglossus robustus*, *Pseudosciaena crocea*, *Acanthopagrus latus*) yang paling tinggi konsentrasinya yaitu logam Zn bila dibandingkan dengan logam berat yang lainnya dengan urutan $Zn > As > Ni > Hg > Cu > Pb > Cr > Cd$.

Tabel 6 juga menunjukkan bahwa secara umum rata-rata konsentrasi logam berat Cd, Cu, Pb, dan Zn pada daging ikan Gulama (*S. russelli*) lebih tinggi terakumulasi pada ikan yang berukuran kecil bila dibandingkan dengan ikan yang berukuran lebih besar ($p < 0,05$), baik itu ukuran panjang maupun berat tubuh ikan.

Lebih rendahnya konsentrasi logam Cd, Cu, Pb, dan logam Zn pada daging dan tulang ikan yang berukuran besar disebabkan karena penambahan ukuran tubuh dari laju pertumbuhan, hal ini sesuai dengan pendapat Leung *et al.*, (dalam Panjaitan, 2006) yang menyatakan bahwa kecilnya konsentrasi logam berat yang terakumulasi pada suatu organisme yang berukuran besar disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu perbedaan laju pertumbuhan, kecepatan metabolisme, tingkat sensitifitas tubuh terhadap pemasukan logam berat tertentu dan kebutuhan fisiologis terhadap logam berat.

Beberapa analisis korelasi antara konsentrasi logam dalam jaringan dengan ukuran (panjang dan berat) dan kondisi ikan menyatakan adanya hubungan yang signifikan. Hubungan negatif antara konsentrasi logam berat dengan faktor kondisi ikan memperlihatkan efek pelemahan yang relatif untuk konsentrasi lemak pada jaringan ikan. Anggapan ini juga didukung kuat oleh fakta bahwa persentase lemak dari berat tubuh pada umumnya lebih rendah pada ikan yang lebih muda. Zia dalam Al_Yousuf *et al.*, (2000) mengemukakan bahwa konsentrasi logam tembaga akan sedikit berkurang dengan meningkatnya ukuran ikan.

Tabel 8. Analisis regresi linear sederhana antara ukuran panjang total tubuh ikan dengan konsentrasi logam berat pada daging ikan di setiap kawasan

Kawasan	Logam	Persamaan Regresi	R ²	r	p
I	Cd	$Y = 0,727 - 0,029x$	0,275	0,524	0,006
	Cu	$Y = 0,669 - 0,022x$	0,030	0,173	0,889 ^{ns}
	Pb	$Y = 19,27 - 0,707x$	0,328	0,573	0,011
	Zn	$Y = 22,24 - 0,772x$	0,396	0,629	0,000
II	Cd	$Y = 0,344 - 0,011x$	0,111	0,333	0,029
	Cu	$Y = 1,004 - 0,041x$	0,365	0,604	0,000
	Pb	$Y = 10,34 - 0,296x$	0,328	0,573	0,001
	Zn	$Y = 12,65 - 0,330x$	0,204	0,452	0,012

^{ns} : tidak signifikan

Hubungan antara konsentrasi logam Cd, Cu, Pb, dan logam Zn pada daging dengan pertambahan ukuran tubuh (panjang dan berat) ikan Gulama (*S. russelli*) dapat dilihat pada Gambar 5 - 8. Rata-rata pengaruh yang diberikan oleh panjang dan berat tubuh ikan terhadap kadar logam berat pada daging ikan dari Kawasan I dan II dapat dilihat pada Tabel 8 dan 9. Uji regresi linear sederhana antara panjang dan berat ikan Gulama (*S. russelli*) dengan konsentrasi logam Cd, Cu, Pb dan Zn yang terakumulasi pada daging ikan Gulama pada tingkat kepercayaan 95 % (0,05) diperoleh nilai koefisien korelasi (r) antara 0,15 – 0,74 hal ini menunjukkan bahwa hubungan negatif antara ukuran panjang dan berat dengan konsentrasi logam pada daging memiliki hubungan yang sedang, sesuai pendapat Sudjana (1992) yang menyatakan bahwa apabila nilai koefisien korelasi (r) memiliki nilai antara 0,2 – 0,7 maka terdapat hubungan keeratan yang sedang. Widianarko *et al.* (dalam Canli *et al.*, 2003) mengemukakan adanya hubungan antara konsentrasi logam (Pb, Zn, Cu) dengan ukuran ikan dan menemukan adanya penurunan secara signifikan konsentrasi timah dengan peningkatan ukuran ikan. Sebaliknya konsentrasi Cu dan Zn tidak tergantung dengan berat tubuh ikan. Mereka mengindikasikan bahwa konsentrasi tembaga dan seng di dalam tubuh teregulasi dan terjaga pada konsentrasi tertentu. Pada ikan dengan ukuran lebih besar konsentrasi logam beratnya lebih kecil disebabkan karena logam

berat yang masuk kedalam tubuh ikan akan mengalami proses pengenceran melalui proses pertumbuhan, sehingga peningkatan logam berat dalam tubuh ikan akan semakin berkurang seiring dengan penambahan ukuran tubuh individu. Nussey *et al.* (2000) menemukan bahwa konsentrasi logam Cr, Mn, Ni dan Pb menurun dengan bertambahnya ukuran panjang ikan *labeo umbratus*.

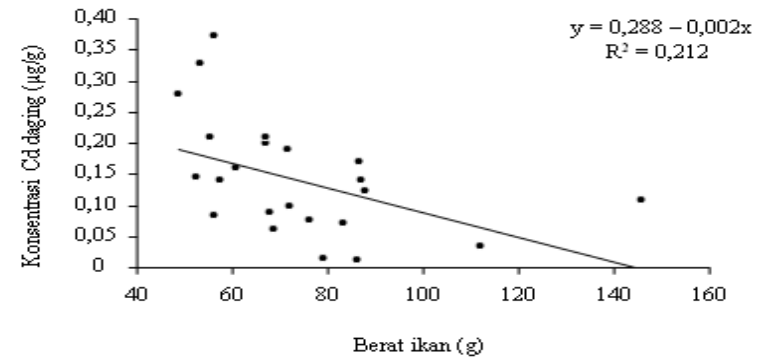
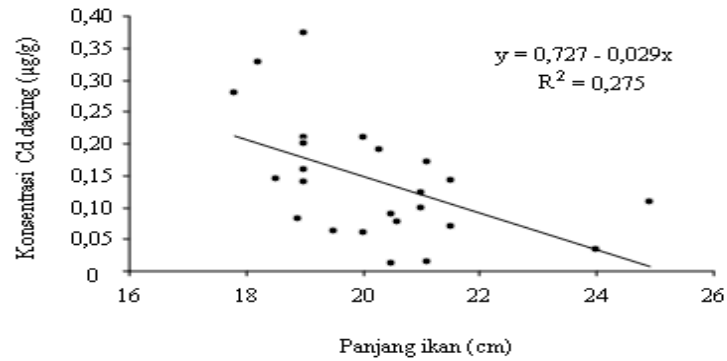
Penurunan logam berat yang terakumulasi oleh ikan yang berukuran besar dikarenakan logam tersebut akan bereaksi dengan gugus -SH dari protein yang terdapat dalam tubuh ikan. Hasil dari reaksi dengan gugus -SH tersebut sebagian akan diekresikan dan sebagian lagi tidak. Reaksi-reaksi ini menyebabkan terjadinya penambahan ukuran (panjang dan berat) akan menurunkan kadar logam berat yang terakumulasi dalam tubuh ikan. Kecepatan metabolisme akan berkurang dengan bertambahnya ukuran badan, sehingga penambahan unsur logam berat Pb lebih kecil bila dibandingkan dengan penambahan ukuran tubuh (Hutagalung, 1991).

Tabel 9. Analisis regresi linear sederhana antara ukuran berat tubuh ikan dengan konsentrasi logam berat pada daging ikan di setiap kawasan

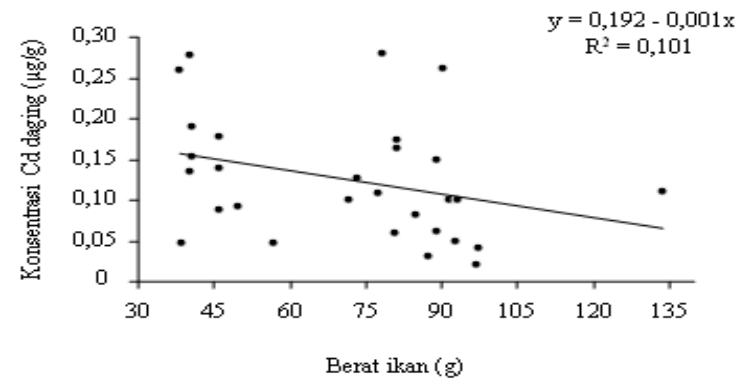
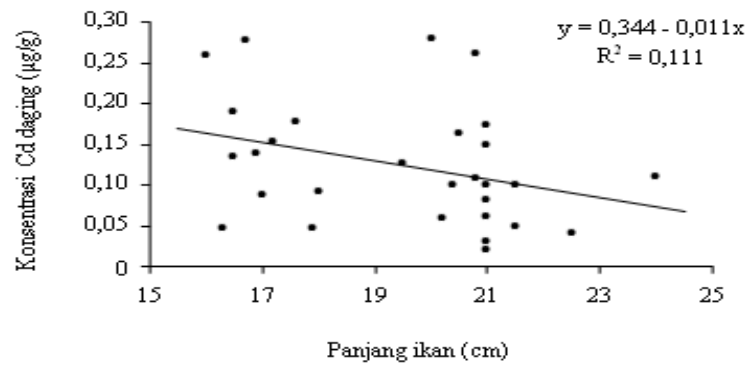
Kawasan	Logam	Persamaan Regresi	R ²	r	p
I	Cd	$Y = 0,288 - 0,002x$	0,212	0,460	0,003
	Cu	$Y = 0,334 - 0,001x$	0,025	0,158	0,879 ^{ns}
	Pb	$Y = 9,126 - 0,056x$	0,340	0,583	0,012
	Zn	$Y = 10,73 - 0,056x$	0,338	0,623	0,000
II	Cd	$Y = 0,192 - 0,001x$	0,101	0,318	0,032
	Cu	$Y = 0,458 - 0,003x$	0,349	0,591	0,001
	Pb	$Y = 6,408 - 0,025x$	0,311	0,558	0,001
	Zn	$Y = 8,407 - 0,030x$	0,221	0,470	0,005

^{ns} : tidak signifikan

A

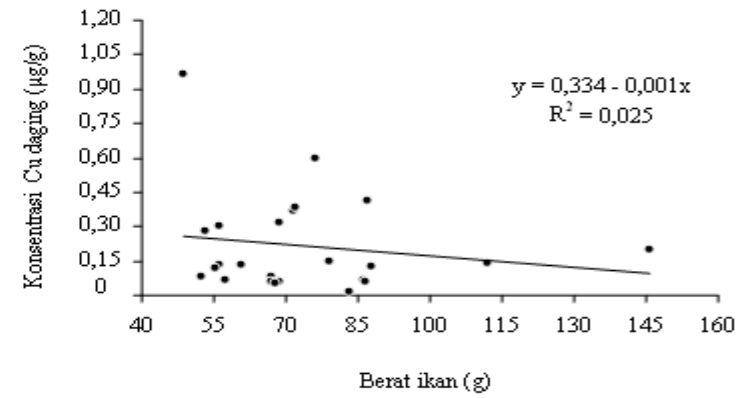
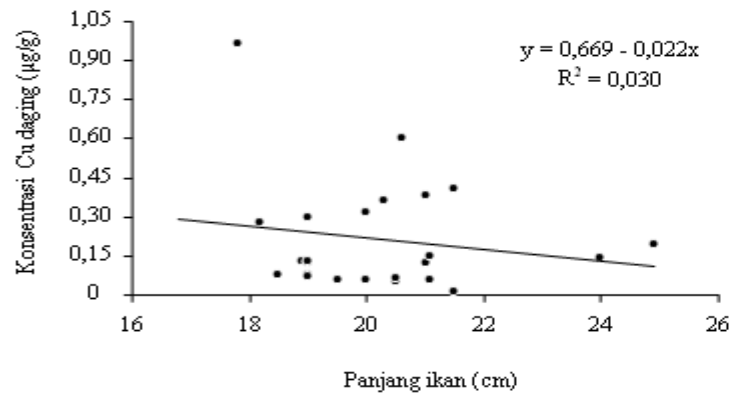


B

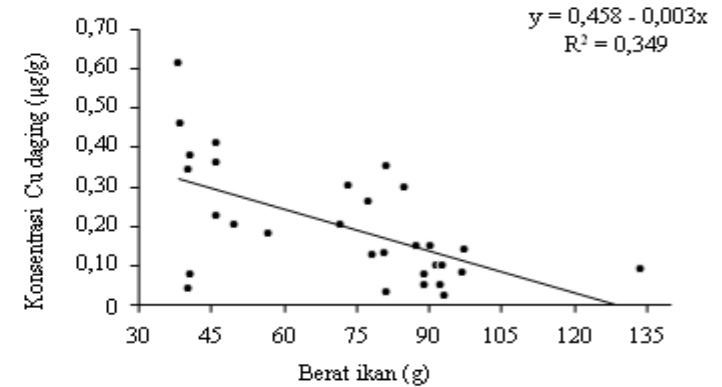
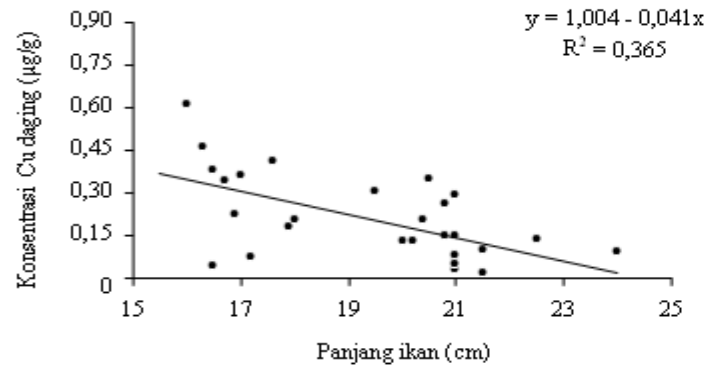


Gambar 5. Hubungan konsentrasi logam berat Cd pada daging dengan ukuran panjang dan berat ikan Gulama di Kawasan I (A) dan II (B)

A

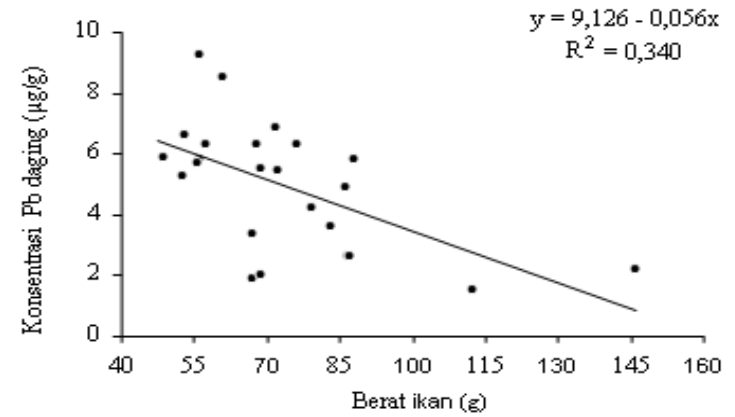
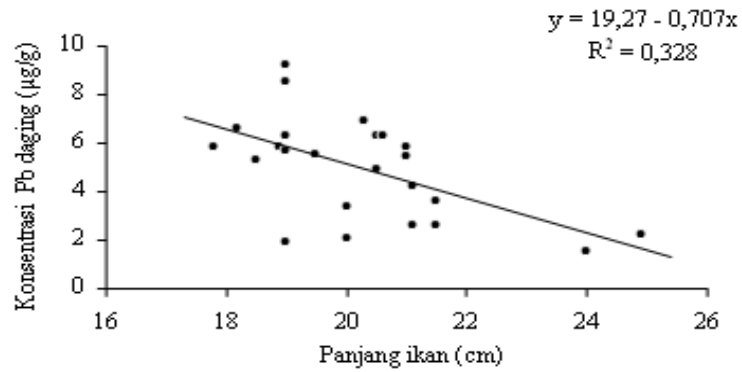


B

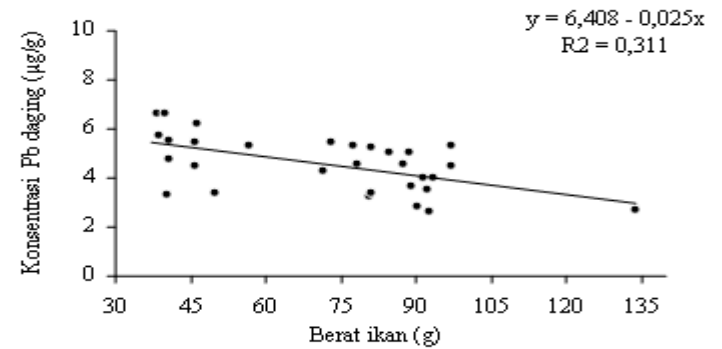
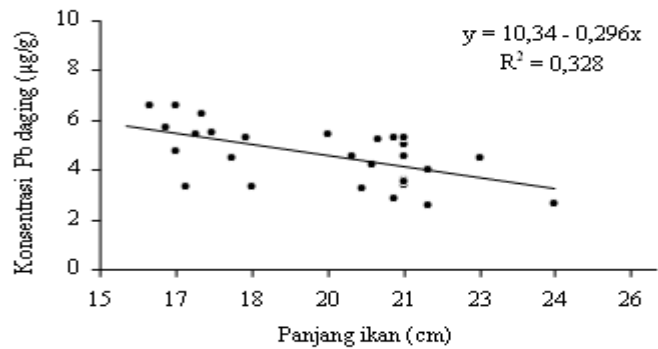


Gambar 6. Hubungan konsentrasi logam berat Cu pada daging dengan ukuran panjang dan berat ikan Gulama di Kawasan I (A) dan II (B)

A

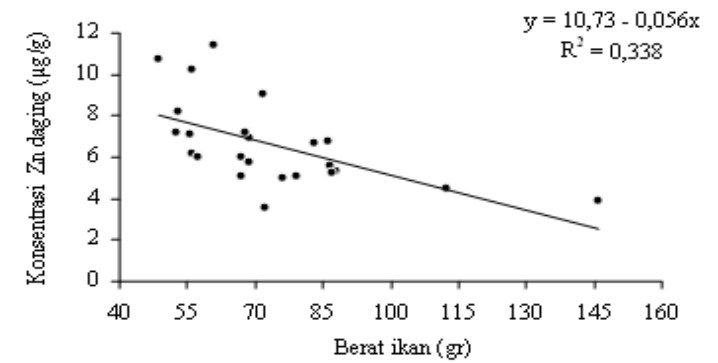
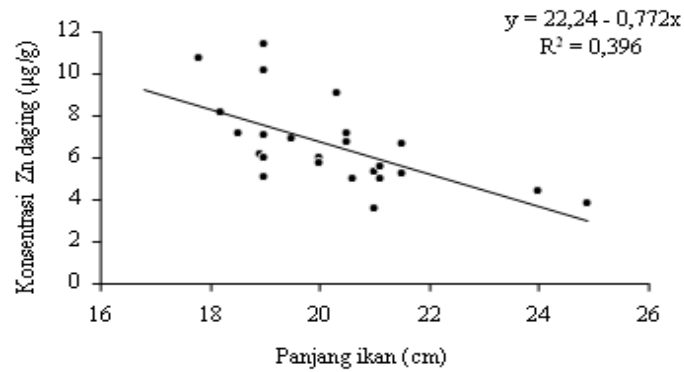


B

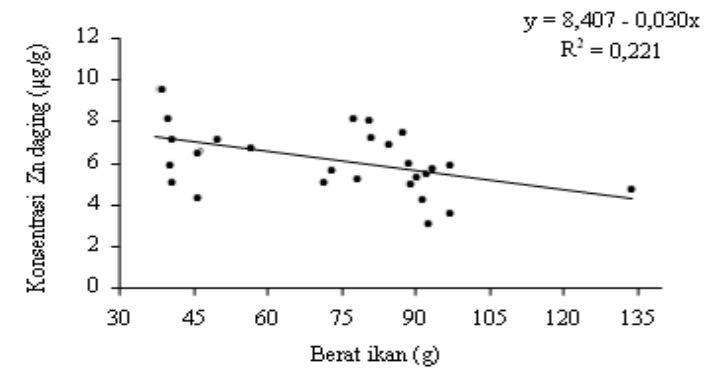
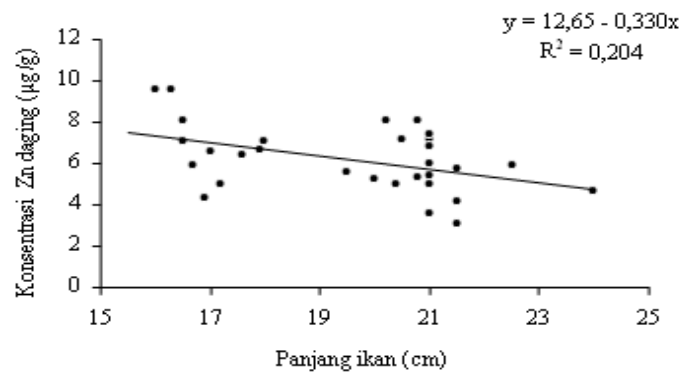


Gambar 7. Hubungan konsentrasi logam berat Pb pada daging dengan ukuran panjang dan berat ikan Gulama di Kawasan I (A) dan II (B)

A



B



Gambar 8. Hubungan konsentrasi logam berat Zn pada daging dengan ukuran panjang dan berat ikan Gulama di Kawasan I (A) dan II (B)

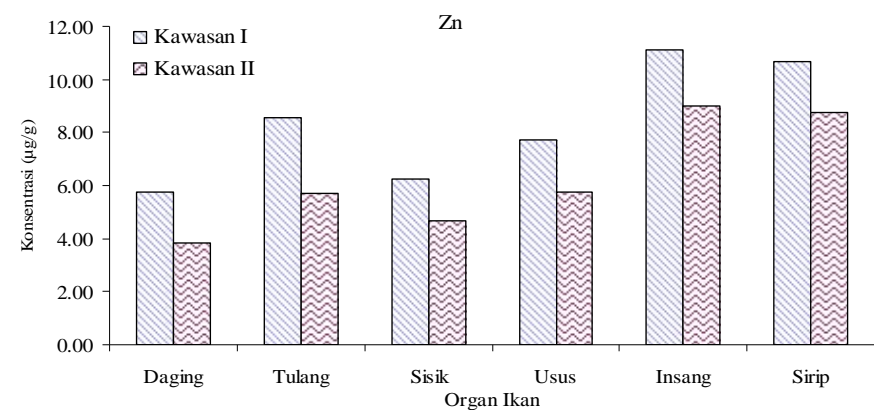
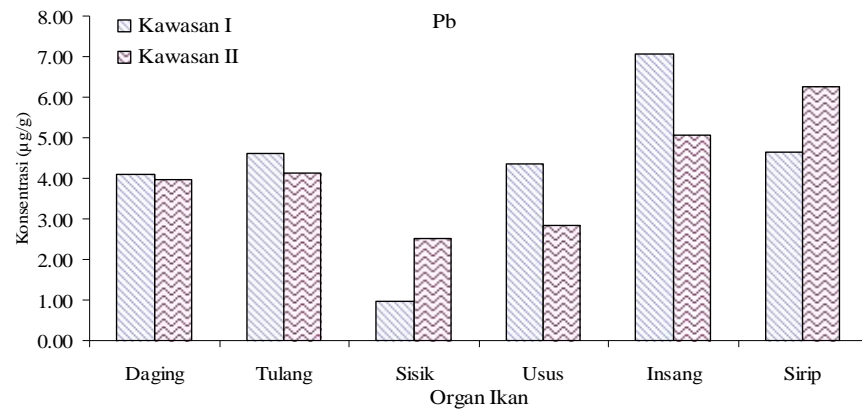
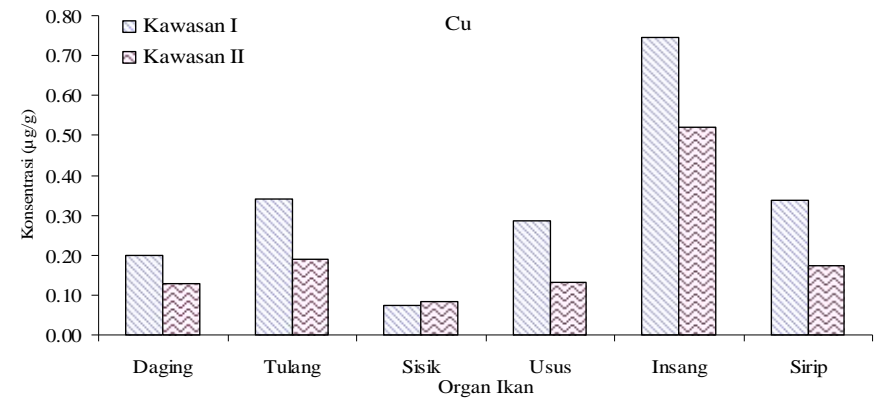
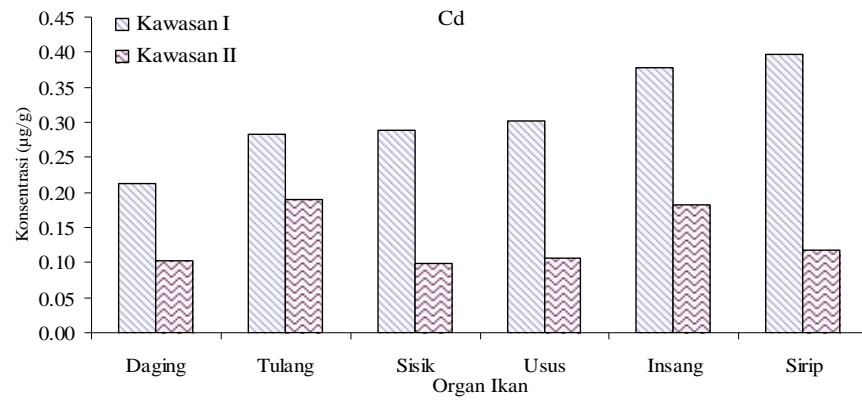
Untuk melihat distribusi konsentrasi logam berat pada organ ikan yang berbeda dipilih 15 ekor sampel ikan yang mempunyai ukuran panjang relatif sama. Konsentrasi logam berat Cd, Cu, Pb dan Zn dalam setiap organ tubuh ikan gulama bervariasi (Tabel 10). Hal ini mengindikasikan bahwa logam berat yang masuk ke dalam tubuh ikan gulama terdistribusi ke masing-masing organ dengan konsentrasi berbeda. Perbedaan kemampuan menyerap logam berat pada setiap organ kemungkinan bergantung pada faktor fisiologis dalam metabolisme ikan tersebut.

Konsentrasi logam berat pada setiap bagian tubuh ikan gulama secara berurutan dari yang tertinggi sampai yang terendah adalah sirip > insang > usus > sisik > tulang > daging untuk logam Cd; insang > tulang > sirip > usus > daging > sisik untuk logam Cu; insang > sirip > tulang > usus > daging > sisik untuk logam Pb; insang > sirip > tulang > usus > sisik > daging untuk logam Zn.

Konsentrasi logam berat pada daging relatif lebih rendah dibanding organ yang lain. Hal ini cukup menguntungkan dari segi kesehatan karena bagian inilah yang dikonsumsi oleh masyarakat. Konsentrasi tertinggi terdapat di bagian insang yang merupakan organ dimana terjadi pertukaran aktif dan pasif antara ikan dan lingkungannya sebagaimana yang dikemukakan oleh Heath (*dalam* Dural, 2006). Konsentrasi logam berat Cd, Cu, Pb dan Zn dalam beberapa organ ikan Gulama dari Kawasan I dan II di perairan Dumai dapat dilihat pada Gambar 9.

Tabel 10. Konsentrasi logam berat dalam beberapa organ ikan gulama dari perairan Dumai

Kawasan	Organ	Konsentrasi logam berat ($\mu\text{g/g}$)			
		Cd	Cu	Pb	Zn
I	Daging	0.212	0.198	4.109	5.755
	Tulang	0.283	0.341	4.601	8.558
	Sisik	0.289	0.073	0.970	6.232
	Usus	0.302	0.285	4.367	7.745
	Insang	0.377	0.746	7.074	11.115
	Sirip	0.397	0.337	4.637	10.686
II	Daging	0.103	0.130	3.979	3.813
	Tulang	0.189	0.189	4.144	5.713
	Sisik	0.099	0.082	2.527	4.649
	Usus	0.107	0.132	2.853	5.730
	Insang	0.182	0.520	5.053	8.988
	Sirip	0.118	0.175	6.262	8.777



Gambar 9. Konsentrasi logam berat Cd, Cu, Pb dan Zn dalam beberapa organ ikan Gulama dari Kawasan I dan II di perairan Dumai

Dari 54 ekor sampel ikan Gulama (*S. russelli*) yang telah dianalisis diketahui konsentrasi logam berat pada daging berturut-turut berkisar antara Cd 0,01 – 0,33 (0,13); Cu 0,01 – 0,97 (0,21); Pb 0,02 – 9,26 (2,31) dan Zn 3,05 – 10,74 (6,38) $\mu\text{g/g}$. Konsentrasi rata-rata tersebut masih berada di bawah ambang batas maksimum logam berat untuk biota air kecuali pada logam Pb yang telah melewati ambang batas, seperti keputusan yang telah ditetapkan oleh Ditjen POM Depkes RI No. 03725/B/SK/1989 yaitu Cd 1 ppm, Cu 20 ppm, Pb 2 ppm, dan Zn 100 ppm. FAO (1983) juga menetapkan bahwa kadar maksimum konsentrasi logam berat yang dapat dikonsumsi oleh manusia yaitu untuk logam Cd dan Pb 0,5 mg/kg, untuk logam Cu dan Zn sebesar 30 mg/kg.

Tingginya konsentrasi logam Pb yang terdapat pada daging ikan Gulama (*S. russelli*) dimungkinkan karena logam Pb bersifat nonesensial, dimana logam tersebut akan mengalami peningkatan konsentrasi di dalam jaringan seiring dengan kenaikan logam berat dalam badan perairan (Darmono, 1995). Selain itu juga tingginya logam Pb di perairan Dumai di sebabkan karena perairan ini banyak terdapat aktivitas perminyakan seperti kilang minyak dan bongkar muat tanker, perindustrian dan juga akibat dari korosi pipa-pipa industri serta limbah dari kapal-kapal barang dan penumpang yang berlabuh di kawasan perairan ini.

Rata-rata konsentrasi logam berat pada daging ikan Gulama di perairan Dumai secara umum (kecuali Pb) juga masih berada di bawah nilai ambang batas maksimum untuk konsumsi manusia bila dibandingkan dengan negara-negara lain. Seperti peraturan perundang-undangan Turki menetapkan bahwa batas maksimum yang diizinkan untuk konsumsi manusia yaitu logam Cd 0.1 mg/kg, Cu 20 mg/kg, Pb 1,0 mg/kg, dan Zn 50 mg/kg (Anonymous, 1996). Departemen kesehatan dan lembaga penelitian medis Australia menetapkan bahwa untuk menjaga kesehatan, maka asupan logam berat yang dapat dikonsumsi oleh manusia harus berada di bawah batas yang diizinkan untuk konsumsi yaitu logam Cd 0,2 $\mu\text{g/g}$, Cu 10 $\mu\text{g/g}$, dan Zn 150 $\mu\text{g/g}$ berat basah.

4.1.5 Logam berat pada sedimen

4.1.5.1 Konsentrasi dan distribusi pada sedimen

Konsentrasi rata-rata logam berat pada sedimen dari perairan Dumai pada masing-masing stasiun serta konsentrasi rata-rata untuk kawasan Dumai bagian Timur dan Dumai bagian Barat dapat dilihat pada Tabel 11. Konsentrasi logam berat tersebut lebih tinggi di stasiun yang dekat dengan Kota Dumai dimana aktivitas antropogeniknya lebih tinggi. Pesatnya pembangunan berbagai industri maupun pemukiman penduduk, industri kelapa sawit, kilang minyak bumi dan pelabuhan banyak yang terkonsentrasi di kawasan Kota Dumai. Disamping itu, dua sungai besar juga bermuara ke pantai di sekitar kawasan ini. Konsentrasi logam Cd dan Cu (1,70 dan 10,47 $\mu\text{g/g}$) tertinggi terdapat di stasiun Pelindo, Pb dan Zn (59,73 dan 73,81 $\mu\text{g/g}$) di Pelabuhan Ferry. Sedangkan konsentrasi terendah Cd, Cu dan Zn (0,60; 3,56 dan 39,57 $\mu\text{g/g}$) terdapat di Basilam Baru serta Pb (26,25 $\mu\text{g/g}$) di Lubuk Gaung.

Distribusi konsentrasi logam berat pada sedimen di perairan Dumai dapat dilihat pada Gambar 10 untuk masing-masing stasiun dan pada Gambar 11 untuk masing-masing kawasan. Konsentrasi logam yang lebih tinggi terdapat pada sedimen di kawasan Dumai bagian Timur yang kemungkinan selain disebabkan oleh lebih banyaknya aktifitas antropogenik di kawasan tersebut, juga oleh adanya sistem pola arus di perairan Selat Rupa yang membawa massa air Selat Malaka dari Barat Laut kearah Selatan di Selat Rupa dan kemudian berbelok ke arah Timur menuju ke Selat Malaka pada waktu pasang. Pada saat surut, massa air tersebut akan kembali dengan arah yang berlawanan dengan arah arus pada saat pasang (Gambar 12). Perairan pantai Dumai juga menerima masukan dari limbah aktivitas antropogenik di kawasan pesisir pantai melalui beberapa saluran dan kanal pembuangan air, dan juga dari daratannya terutama melalui Sungai Dumai yang telah melewati kawasan pemukiman penduduk. Tingginya konsentrasi logam pada sedimen di stasiun Guntung dan Mundam kemungkinan disebabkan pengendapan partikel-partikel dalam massa air dari Selat Rupa dan Selat Malaka oleh adanya sistem arus pada saat pasang surut dan adanya pembangunan kawasan industri Pelitung serta pembangunan Pelabuhan internasional beberapa waktu yang lalu. Menurut Chen *et al.* (2007), aktivitas pelabuhan dan kawasan industri dapat meningkatkan konsentrasi logam berat di kawasan sekitarnya.

Secara umum terlihat pada Gambar 5 bahwa konsentrasi logam berat Cd, Cu, Pb dan Zn di kawasan Dumai Timur lebih tinggi dari Dumai bagian Barat. Lebih rendahnya konsentrasi logam berat tersebut di kawasan Dumai bagian Barat kemungkinan disebabkan oleh lebih rendahnya aktivitas yang ada di kawasan tersebut dan umumnya pinggiran pantainya masih ditutupi oleh hutan mangrove yang cukup baik. Tidak ada industri besar di kawasan ini dan tidak ada kapal-kapal besar dan tanker yang berlabuh di perairan ini. Disamping itu penduduk yang menghuni kawasan ini lebih sedikit dan kegiatannya hanya bertani di kawasan yang jauh di daratan dan sebagian menggantungkan hidupnya sebagai nelayan tradisional yang hanya menggunakan sampan.

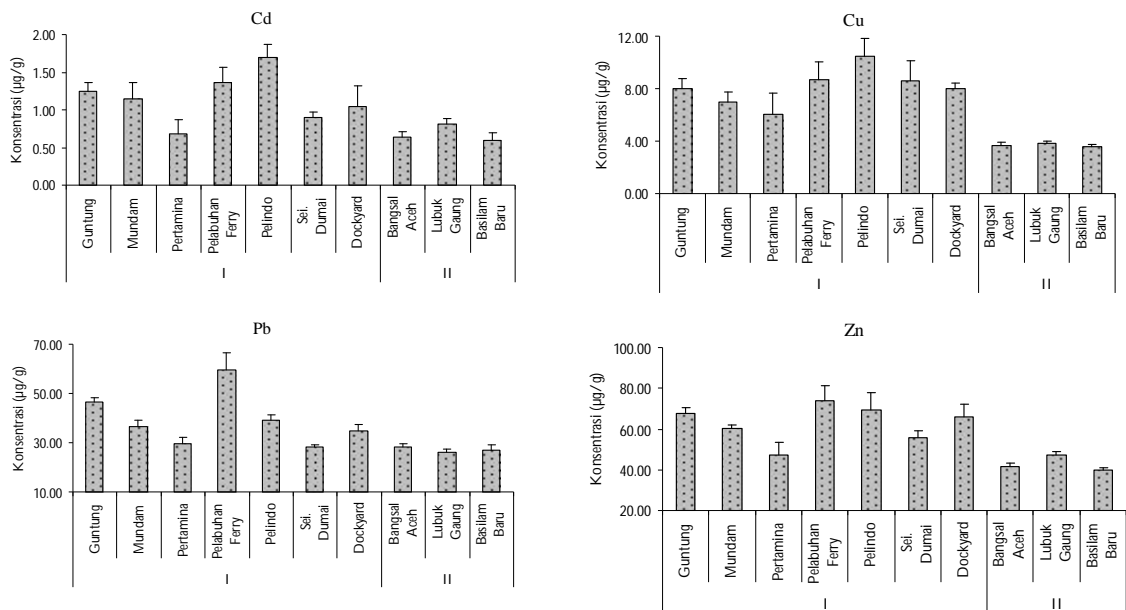
Tabel 11. Lokasi pengambilan sampel dan konsentrasi logam berat pada sedimen di perairan Dumai

Kawasan	Stasiun	Kordinat		Stasiun	Konsentrasi ($\mu\text{g/g}$)			
		L U	B T		Cd	Cu	Pb	Zn
I	1	01°38'35"	101°34'55"	Guntung	1.24	7.97	46.58	67.90
	2	01°40'12"	101°30'03"	Mundam	1.15	6.99	36.49	60.40
	3	01°41'10"	101°28'52"	Pertamina	0.68	6.01	29.55	46.99
	4	01°41'15"	101°27'55"	Pel. Ferry	1.36	8.65	59.73	73.81
	5	01°41'19"	101°27'03"	Pelindo	1.70	10.47	38.99	69.15
	6	01°41'21"	101°26'14"	Sei. Dumai	0.90	8.62	28.19	55.98
	7	01°41'36"	101°25'38"	Dockyard	1.04	8.04	34.59	65.93
<i>Rata-rata I</i>					1.15	8.11	39.16	62.88
II	8	01°44'40"	100°22'54"	Bangsai Aceh	0.64	3.64	28.45	41.55
	9	01°45'36"	101°22'16"	Lubuk Gaung	0.81	3.84	26.25	47.17
	10	01°51'26"	101°21'10"	Basilam Baru	0.60	3.56	27.00	39.67
<i>Rata-rata II</i>					0.68	3.68	27.23	42.79
<i>Rerata Sedimen^a</i>					0.17	33	19	95
<i>ERL^b</i>					1.2	34	46.7	150
<i>ERM^b</i>					9.6	270	218	410

Catatan:

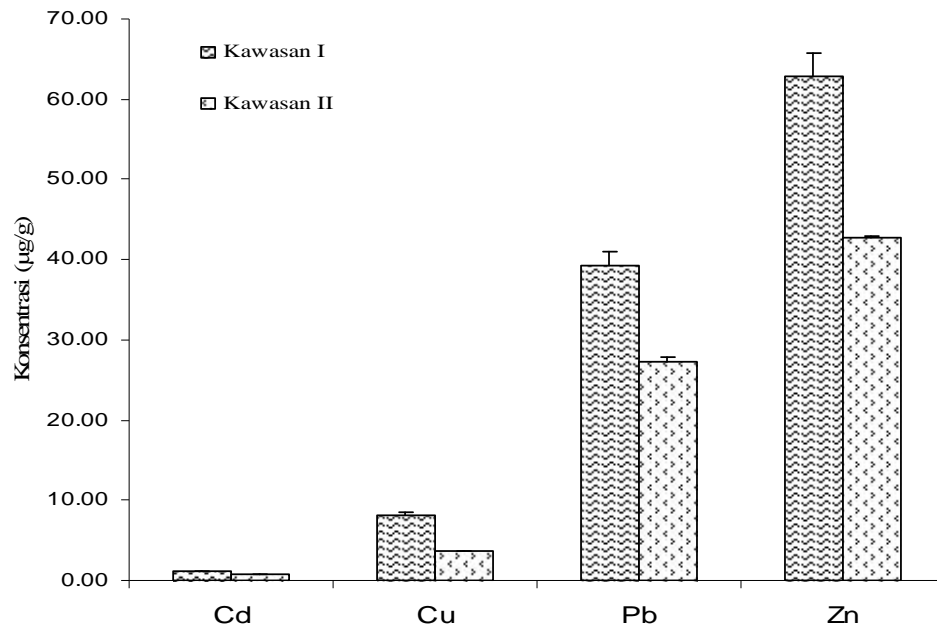
I = Dumai bagian Timur, II = Dumai bagian Barat

a = Salomon and Forstner, 1984; b = Long *et al.*, 1995; 1997



Gambar 10. Konsentrasi logam berat pada sedimen di masing-masing stasiun di perairan Dumai

Bila dilihat secara visual, sedimen di kawasan Dumai bagian Barat ini pun lebih banyak mengandung pasir dibandingkan pada kawasan Dumai bagian Timur sehingga diperkirakan berpengaruh juga pada rendahnya konsentrasi logam berat pada sedimen di kawasan ini. Tipe sedimen (ukuran butirannya) merupakan salah satu faktor utama yang dapat mempengaruhi konsentrasi logam berat pada sedimen (Fang *et al.*, 1999). Secara umum sudah diketahui bahwa sedimen yang lebih halus mempunyai konsentrasi logam berat yang lebih tinggi dibandingkan dengan sedimen yang lebih kasar. Penyebab utama dari hal tersebut adalah bahwa sedimen yang lebih halus memiliki rasio luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan sedimen yang lebih kasar (Salomons dan Forstner, 1984; Martincic *et al.*, 1990). Penelitian tentang adanya hubungan positif antara tipe sedimen dengan konsentrasi logam beratnya telah dilakukan (Rubio *et al.*, 2000; Cho *et al.*, 1999).



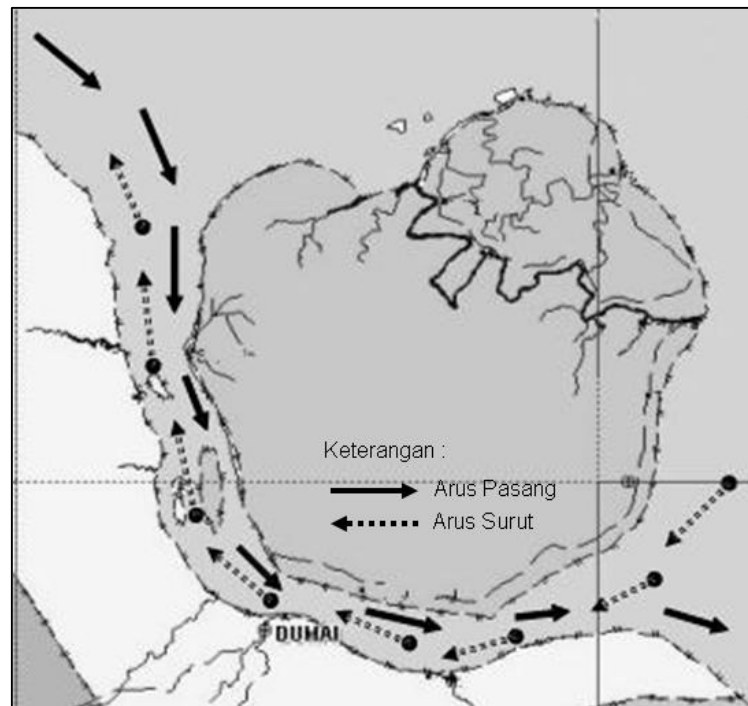
Gambar 11. Konsentrasi logam Cd, Cu, Pb dan Zn pada sedimen berdasarkan kawasan di perairan Dumai

Konsentrasi rata-rata logam Cd dan Pb pada sedimen di perairan Dumai ini berada diatas konsentrasi rata-rata pada sedimen yang dikemukakan oleh Salomon dan Forstner (1984). Sedangkan konsentrasi rata-rata Cu dan Zn masih berada dibawah konsentrasi rata-rata pada sedimen (Table 11). Bila dibandingkan dengan konsentrasi logam berat pada sedimen dari kawasan pantai Barat Semenanjung Malaysia, yang lokasinya berseberangan dengan Dumai di Selat Malaka, konsentrasi rata-rata logam Cd, Cu, Pb dan Zn pada sedimen di perairan Dumai (0,68; 3,68; 27,23; dan 42,79 µg/g) masih lebih rendah bila dibandingkan dengan konsentrasi logam berat pada sedimen dari perairan di Malaysia a tersebut. Yap *et al.* (2002) melaporkan bahwa konsentrasi rata-rata logam berat pada sedimen dari perairan Malaysia sebesar 1,30; 27,31; 39,67 dan 95,27 µg/g berturut-turut untuk logam Cd, Cu, Pb dan Zn.

Tabel 12. Uji t perbandingan konsentrasi logam berat pada sedimen antara Kawasan I dan Kawasan II

Jenis logam	Perbandingan antara kawasan	p value
Cd	Kawasan I > Kawasan II	< 0,01
Cu	Kawasan I > Kawasan II	< 0,01
Pb	Kawasan I > Kawasan II	< 0,05
Zn	Kawasan I > Kawasan II	< 0,01

Konsentrasi logam Cd, Cu, Pb dan Zn pada sedimen di perairan Dumai yang lebih tinggi terdapat di kawasan Dumai bagian Timur bila dibandingkan dengan kawasan Dumai bagian Barat. Berdasarkan uji t, rata-rata konsentrasi masing-masing logam tersebut berbeda nyata ($p < 0,05$) diantara kedua kawasan (Tabel 12).



Gambar 12. Arah arus pada saat pasang dan surut di perairan Dumai (Selat Rupat)

4.1.5.2 Spesiasi logam berat

Konsentrasi rata-rata logam berat, standar deviasi dan persentase masing-masing fraksi geokimia pada masing-masing stasiun dapat dilihat pada Tabel 13, 14, 15 dan 16 berturut-turut untuk Cd, Cu, Pb dan Zn. Konsentrasi total dari keempat fraksi ini berkisar antara 0,69 – 1,82 $\mu\text{g/g}$ (Cd); 3,76 – 13,16 $\mu\text{g/g}$ (Cu); 27,74 – 48,39 $\mu\text{g/g}$ (Pb) dan 40,82 – 88,19 $\mu\text{g/g}$ (Zn). Fraksi EFLE untuk Cd, Cu, Pb dan Zn berturut-turut berkisar antara 0,08 – 0,38 $\mu\text{g/g}$; 0,02 – 0,18 $\mu\text{g/g}$; 0,55 – 1,59 $\mu\text{g/g}$ dan 0,38 – 6,83 $\mu\text{g/g}$. Fraksi ‘acid-reducible’ berkisar antara 0,04 – 0,17 $\mu\text{g/g}$ (Cd), 0,01 – 0,10 $\mu\text{g/g}$ (Cu) dan 0,28 – 1,10 $\mu\text{g/g}$ (Pb) serta antara 4,32 – 13,20 $\mu\text{g/g}$ (Zn). Fraksi ‘oxidisable organic’ untuk Cd berkisar antara 0,07 – 0,59 $\mu\text{g/g}$ dan 0,42 – 2,44 $\mu\text{g/g}$ untuk Cu; antara 8,91 – 30,48 $\mu\text{g/g}$ (Pb) dan antara 10,94 – 26,52 $\mu\text{g/g}$ untuk Zn. Fraksi ‘resistant’ untuk Cd (0,36 – 0,90 $\mu\text{g/g}$), Cu (2,27 – 11,37 $\mu\text{g/g}$), Pb (11,02 – 23,21 $\mu\text{g/g}$) dan untuk Zn (25,07 – 41,46 $\mu\text{g/g}$).

Perbandingan antara fraksi resistant dan non-resistant logam berat Cd, Cu, Pb dan Zn pada sedimen masing-masing stasiun di perairan Dumai dapat dilihat pada Tabel 17 dan Gambar 13. Fraksi resistant berkisar antara 41,67% di Pelindo hingga 73,55% di Lubuk Gaung (Cd); 60,42% di Basilam Baru hingga 93,41% di Guntung (Cu), 42,07% di Mundam hingga 64,29% di Bangsal Aceh (Pb) dan 40,00% di Pelindo hingga 66,90% di Lubuk Gaung (Zn). Dari keseluruhan stasiun, dapat juga dilihat bahwa logam berat di sebagian besar lokasi pengambilan sampel tersebut didominasi oleh fraksi resistant (Cd: 80%, Cu: 100%, Pb: 70% dan Zn: 80%). Hanya pada stasiun Pertamina dan Pelabuhan yang memiliki fraksi non-resistant lebih tinggi dari fraksi resistant untuk logam Cd. Untuk logam Cu, tidak ada stasiun yang fraksi non-resistantnya lebih tinggi dari fraksi resistant. Namun demikian, persentase non-resistant yang lebih tinggi dari fraksi resistant untuk logam Cu dapat dilihat pada stasiun yang termasuk dalam kawasan Dumai bagian Timur. Sementara untuk logam Pb, persentase fraksi non-resistant lebih tinggi dibandingkan fraksi resistant di stasiun Guntung, Mundam dan Pelabuhan Ferry. Hanya stasiun di Pelindo dan Sungai Dumai yang menunjukkan fraksi non-resistant Zn lebih tinggi dari fraksi resistantnya.

Tabel 13. Konsentrasi logam berat Cd dalam masing-masing fraksi geokimia pada sedimen di perairan Dumai

Kawasan	No.	Station	Lat. (N)	Long.(E)	EFLE	Acid reducible	Oxidisable organic	Resistant	Total (100)
I	1	Guntung	01°38'35"	101°34'55"	0.23±0.02 (15.36)	0.12±0.02 (8.08)	0.23±0.05 (15.56)	0.90±0.13 (60.99)	1.48
	2	Mundam	01°40'12"	101°30'03"	0.12±0.04 (8.71)	0.10±0.05 (7.20)	0.25±0.03 (18.46)	0.90±0.16 (65.64)	1.38
	3	Pertamina	01°41'10"	101°28'52"	0.14±0.06 (16.57)	0.17±0.01 (20.68)	0.16±0.01 (18.43)	0.37±0.08 (44.31)	0.84
	4	Pelabuhan Ferry	01°41'15"	101°27'55"	0.33±0.09 (24.39)	0.16±0.08 (11.60)	0.15±0.07 (10.70)	0.72±0.19 (53.31)	1.36
	5	Pelindo	01°41'19"	101°27'03"	0.38±0.02 (20.80)	0.09±0.01 (4.92)	0.59±0.76 (32.61)	0.76±0.19 (41.67)	1.82
	6	Sei. Dumai	01°41'21"	101°26'14"	0.19±0.05 (19.72)	0.10±0.03 (10.43)	0.13±0.01 (13.23)	0.56±0.34 (56.62)	0.98
	7	Dockyard	01°41'36"	101°25'38"	0.26±0.08 (25.54)	0.07±0.04 (7.24)	0.07±0.02 (6.49)	0.61±0.30 (60.73)	1.00
II	8	Bangsai Aceh	01°44'40"	100°22'54"	0.17±0.05 (24.87)	0.04±0.02 (5.73)	0.12±0.02 (17.53)	0.36±0.09 (51.87)	0.69
	9	Lubuk Gaung	01°45'36"	101°22'16"	0.10±0.04 (11.49)	0.05±0.03 (5.08)	0.09±0.02 (9.88)	0.67±0.42 (73.55)	0.90
	10	Basilam Baru	01°51'26"	101°21'10"	0.08±0.02 (10.25)	0.10±0.03 (12.86)	0.10±0.03 (13.76)	0.48±0.21 (63.13)	0.76

Catatan : Angka dalam tanda kurung menunjukkan fraksi dalam bentuk persentase (%)

Tabel 14. Konsentrasi logam berat Cu dalam masing-masing fraksi geokimia pada sedimen di perairan Dumai

Kawasan	No.	Station	Lat. (N)	Long.(E)	EFLE	Acid reducible	Oxidisable organic	Resistant	Total (100)
I	1	Guntung	01°38'35"	101°34'55"	0.15±0.02 (1.63)	0.05±0.00 (0.55)	0.42±0.02 (4.60)	8.48±2.26 (93.23)	9.10
	2	Mundam	01°40'12"	101°30'03"	0.03±0.01 (0.37)	0.05±0.00 (0.66)	0.82±0.12 (10.09)	7.23±1.67 (88.88)	8.13
	3	Pertamina	01°41'10"	101°28'52"	0.05±0.02 (0.71)	0.02±0.00 (0.35)	1.04±0.09 (15.32)	5.69±1.33 (83.62)	6.80
	4	Pelabuhan Ferry	01°41'15"	101°27'55"	0.18±0.04 (1.37)	0.06±0.02 (0.49)	2.17±0.04 (16.48)	10.75±4.28 (81.66)	13.16
	5	Pelindo	01°41'19"	101°27'03"	0.14±0.02 (1.19)	0.10±0.02 (0.88)	2.44±0.86 (21.35)	8.75±4.71 (76.58)	11.42
	6	Sei. Dumai	01°41'21"	101°26'14"	0.11±0.02 (1.26)	0.09±0.01 (1.02)	2.44±0.99 (27.97)	6.09±1.43 (69.75)	8.74
	7	Dockyard	01°41'36"	101°25'38"	0.13±0.02 (1.66)	0.04±0.00 (0.47)	1.42±0.11 (18.22)	6.22±1.73 (79.65)	7.81
II	8	Bangsai Aceh	01°44'40"	100°22'54"	0.05±0.02 (1.10)	0.07±0.01 (1.72)	1.02±0.06 (23.37)	3.22±0.98 (73.82)	4.36
	9	Lubuk Gaung	01°45'36"	101°22'16"	0.04±0.00 (0.91)	0.01±0.00 (0.15)	1.13±0.01 (27.09)	3.01±0.66 (71.86)	4.19
	10	Basilam Baru	01°51'26"	101°21'10"	0.02±0.01 (0.48)	0.01±0.01 (0.28)	1.46±0.18 (38.83)	2.27±0.25 (60.42)	3.76

Catatan : Angka dalam tanda kurung menunjukkan fraksi dalam bentuk persentase (%)

Tabel 15. Konsentrasi logam berat Pb dalam masing-masing fraksi geokimia pada sedimen di perairan Dumai

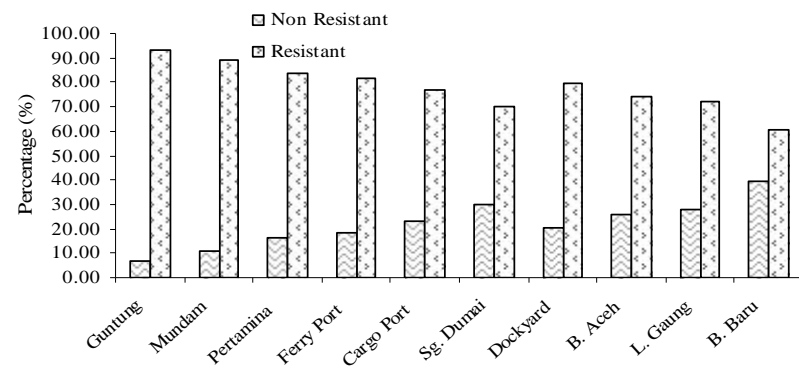
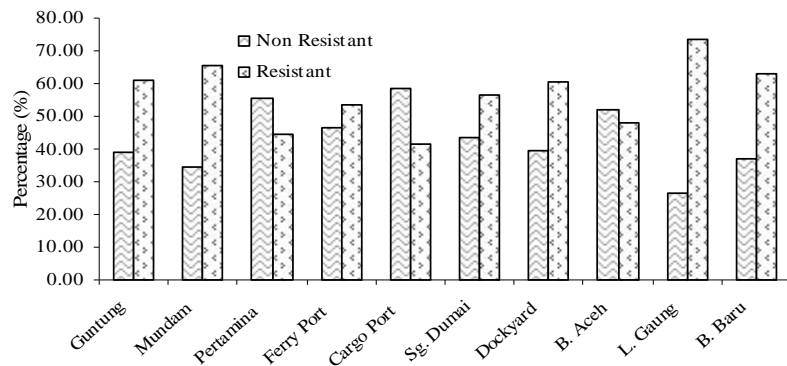
Kawasan	No.	Station	Lat. (N)	Long.(E)	EFLE	Acid reducible	Oxidisable organic	Resistant	Total (100)
I	1	Guntung	01°38'35"	101°34'55"	1.59±0.05 (3.29)	0.66±0.37 (1.37)	22.93±0.41 (47.38)	23.21±5.05 (47.96)	48.39
	2	Mundam	01°40'12"	101°30'03"	0.96±0.18 (2.52)	0.79±0.23 (2.08)	20.32±0.36 (53.32)	16.03±2.36 (42.07)	38.11
	3	Pertamina	01°41'10"	101°28'52"	0.74±0.30 (2.42)	0.93±0.23 (3.01)	12.61±0.07 (41.06)	16.43±4.21 (53.51)	30.71
	4	Pelabuhan Ferry	01°41'15"	101°27'55"	1.38±0.11 (2.26)	0.92±0.13 (1.50)	30.48±12.48 (49.81)	28.42±6.76 (46.44)	61.19
	5	Pelindo	01°41'19"	101°27'03"	1.07±0.02 (2.68)	0.46±0.09 (1.14)	18.15±2.91 (45.42)	20.28±6.02 (50.76)	39.95
	6	Sei. Dumai	01°41'21"	101°26'14"	1.55±0.22 (5.17)	0.28±0.12 (0.94)	12.62±0.88 (42.11)	15.52±3.86 (51.77)	29.98
	7	Dockyard	01°41'36"	101°25'38"	1.43±0.16 (4.00)	0.29±0.09 (0.80)	14.75±2.29 (41.11)	19.41±5.00 (54.08)	35.88
II	8	Bangsai Aceh	01°44'40"	100°22'54"	0.55±0.17 (1.88)	0.65±0.21 (2.24)	9.20±0.28 (31.59)	18.73±2.43 (64.29)	29.13
	9	Lubuk Gaung	01°45'36"	101°22'16"	0.71±0.02 (2.57)	0.62±0.09 (2.23)	8.91±0.87 (32.14)	17.49±3.03 (63.07)	27.74
	10	Basilam Baru	01°51'26"	101°21'10"	0.94±0.48 (3.32)	1.10±0.20 (3.88)	9.14±2.19 (32.29)	17.13±2.77 (60.52)	28.31

Catatan : Angka dalam tanda kurung menunjukkan fraksi dalam bentuk persentase (%)

Tabel 16. Konsentrasi logam berat Zn dalam masing-masing fraksi geokimia pada sedimen di perairan Dumai

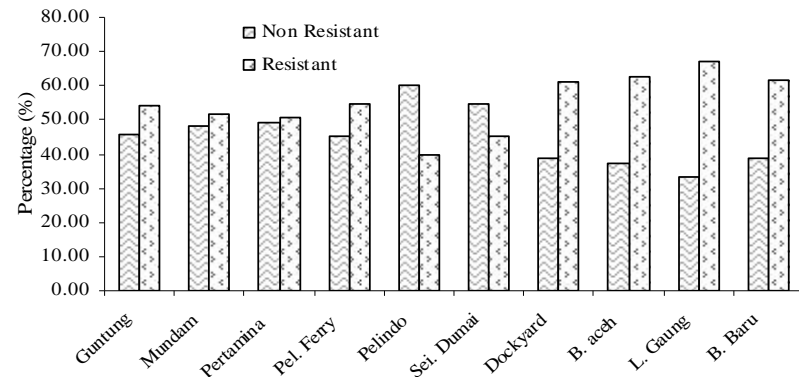
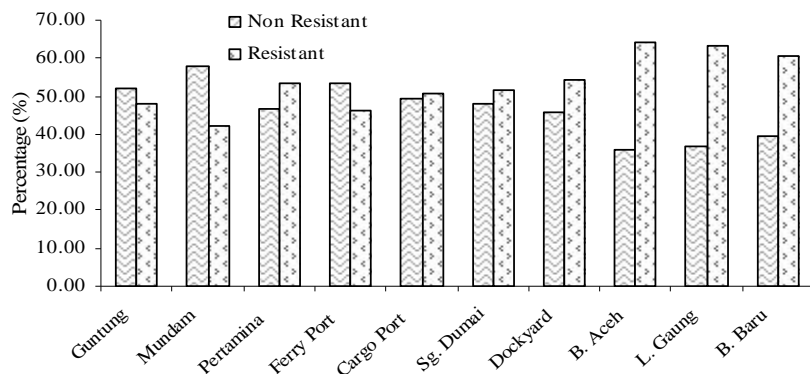
Kawasan	No.	Station	Lat. (N)	Long.(E)	EFLE	Acid reducible	Oxidisable organic	Resistant	Total (100)
I	1	Guntung	01°38'35"	101°34'55"	1.07±0.03 (1.52)	4.81±0.46 (6.88)	26.16±0.22 (37.43)	37.86±9.58 (54.16)	69.90
	2	Mundam	01°40'12"	101°30'03"	1.05±0.02 (1.71)	5.59±0.05 (9.09)	23.14±0.60 (37.62)	31.72±6.49 (51.58)	61.50
	3	Pertamina	01°41'10"	101°28'52"	1.51±0.49 (3.05)	6.22±1.11 (12.55)	16.76±0.24 (33.80)	25.08±6.20 (50.59)	49.57
	4	Pelabuhan Ferry	01°41'15"	101°27'55"	2.39±1.55 (2.71)	11.18±2.79 (12.68)	26.52±5.12 (30.07)	48.10±11.53 (54.54)	88.19
	5	Pelindo	01°41'19"	101°27'03"	6.83±0.86 (9.42)	13.20±6.35 (18.21)	23.46±8.50 (32.37)	28.99±8.00 (40.00)	72.47
	6	Sei. Dumai	01°41'21"	101°26'14"	3.74±2.41 (6.39)	9.24±1.47 (15.76)	18.99±1.34 (32.39)	26.65±7.91 (45.46)	58.63
	7	Dockyard	01°41'36"	101°25'38"	0.78±0.06 (1.15)	6.50±1.12 (9.58)	19.09±1.67 (28.14)	41.46±10.16 (61.13)	67.83
II	8	Bangsai Aceh	01°44'40"	100°22'54"	0.63±0.15 (1.39)	4.68±0.02 (10.29)	11.63±0.39 (25.57)	28.53±5.00 (62.74)	45.47
	9	Lubuk Gaung	01°45'36"	101°22'16"	0.38±0.03 (0.78)	4.32±0.15 (8.96)	11.26±0.22 (23.36)	32.25±6.17 (66.90)	48.20
	10	Basilam Baru	01°51'26"	101°21'10"	0.42±0.07 (1.03)	4.40±0.39 (10.77)	10.94±1.24 (26.80)	25.07±11.27 (61.40)	40.82

Catatan : Angka dalam tanda kurung menunjukkan fraksi dalam bentuk persentase (%)



Cd

Cu



Pb

Zn

Gambar 13. Fraksi Resistant dan Nonresistant logam Cd, Cu, Pb dan Zn di setiap stasiun

Tabel 17. Persentase (%) logam berdasarkan fraksi 'Non-Resistant' dan 'Resistant' pada masing-masing stasiun

Stasiun	Resistant				Non Resistant			
	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn
Guntung	60.99	93.23	47.96	54.16	39.01	6.77	52.04	45.84
Mundam	65.64	88.88	42.07	51.58	34.36	11.12	57.93	48.42
Pertamina	44.31	83.62	53.51	50.59	55.69	16.38	46.49	49.41
Pel. Ferry	53.51	81.66	46.44	54.54	46.49	18.34	53.56	45.46
Pelindo	41.67	76.58	50.76	40.00	58.33	23.42	49.24	60.00
Sei. Dumai	56.62	69.75	51.77	45.46	43.38	30.25	48.23	54.54
Dockyard	60.73	79.65	54.08	61.13	39.27	20.35	45.92	38.87
Bangsai Aceh	51.87	73.82	64.29	62.74	48.13	26.18	35.71	37.26
Lubuk Gaung	73.55	71.86	63.07	66.90	26.45	28.14	36.93	33.10
Basilam Baru	63.13	60.42	60.52	61.40	36.87	39.58	39.48	38.60

Secara keseluruhan dapat dikatakan bahwa input logam berat Pb (3 stasiun) ke perairan Dumai dari aktivitas antropogenik yang dilihat dari fraksi non-resistant lebih banyak dibanding logam Cd dan Zn (masing-masing 2 stasiun) dan Cu (tidak ada stasiun dengan fraksi non-resistant lebih tinggi dari fraksi resistant). Banyaknya masukan logam Pb dari aktivitas antropogenik tersebut kemungkinan disebabkan oleh kombinasi dari banyaknya aktivitas antropogenik berupa pemukiman penduduk dan aktivitas industri di sepanjang pesisir Kota Dumai, aktivitas kapal tanker dan kargo serta kapal penumpang dan runoff dari daratan Kota Dumai ke perairan tersebut.

Fraksi EFLE secara umum mempunyai kontribusi yang sangat kecil dari total logam Cu, Pb dan Zn di semua stasiun yang menunjukkan rendahnya ketersediaan logam ini secara biologi bagi organisme perairan. Untuk logam Cd, fraksi EFLE ini relatif lebih tinggi dibandingkan logam lain. Konsentrasi yang tertinggi dari fraksi EFLE ini terdapat di Dockyard (25,54 %), Dockyard (1,66 %), Sungai Dumai (5,17 %) dan di Pelindo (9,42 %) berturut-turut untuk logam Cd, Cu, Pb dan Zn. Penelitian yang dilakukan oleh Yap *et al.* (2003; 2005) di pantai Barat Semenanjung Malaysia juga mendapatkan fraksi EFLE umumnya tidak lebih dari 10 %. Meskipun persentase fraksi ini cukup rendah dibanding fraksi lain, namun fraksi ini sangat penting dari segi ekotoksikologi karena fraksi inilah yang tersedia secara biologi bagi organisme yang hidup di sedimen dan juga bagi organisme yang menyerap sedimen sebagai makanannya sehingga membahayakan kesehatan lingkungan perairan secara umum. Fraksi non-resistant sangat berpotensi untuk bersifat toksik pada organisme karena

sangat mudah diserap oleh organisme, terutama fraksi EFLE, sedangkan fraksi Acid reducible dan Oxidisable organic dapat juga dimanfaatkan oleh organisme tergantung pada kondisi parameter fisika dan kimia perairan seperti konsentrasi oksigen, perubahan redoks potensial dan aktivitas bakteri (Morillo *et al.*, 2004; Ramirez *et al.*, 2005; Yap *et al.*, 2005; 2006).

Secara umum fraksi non-resistant lebih rendah dari fraksi resistant, hanya logam Pb pada kawasan Dumai Timur yang fraksi nonresistannya lebih besar (meskipun secara statistik perbedaan tersebut tidak signifikan) dari fraksi resistant (50,49 % berbanding 49,51 %). Hal ini mengindikasikan bahwa aktivitas antropogenik di wilayah pesisir dan pantai Kota Dumai hanya memberikan sedikit kontribusi terhadap pencemaran logam berat di perairan Dumai. Kontribusi fraksi resistant dan non-resistant pada masing-masing kawasan dapat dilihat pada Tabel 18 dan Gambar 14.

Tabel 18. Persentase (%) logam berdasarkan fraksi 'Non-Resistant' dan 'Resistant' pada masing-masing kawasan

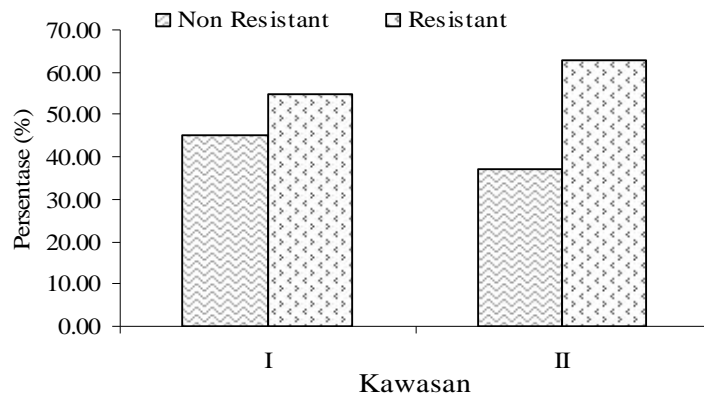
Kawasan	Resistant				Non Resistant			
	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn
I	54.75	81.91	49.51	51.07	45.25	18.09	50.49	48.93
II	62.85	68.70	62.63	63.68	37.15	31.30	37.37	36.32

Diantara kedua kawasan tersebut, persentase fraksi EFLE (fraksi yang labil) untuk logam Cd, Cu, Pb dan Zn di kawasan Dumai bagian Timur (Kawasan I) lebih tinggi dibandingkan dengan Dumai bagian Barat (Kawasan II) yaitu berturut-turut sebesar 18,73 %, 1,17 % dan 3,19 % dan 3,71 % mengindikasikan bahwa kawasan Dumai bagian Timur merupakan sumber potensial bagi kontaminasi logam Cd pada organisme yang ada di kawasan tersebut.

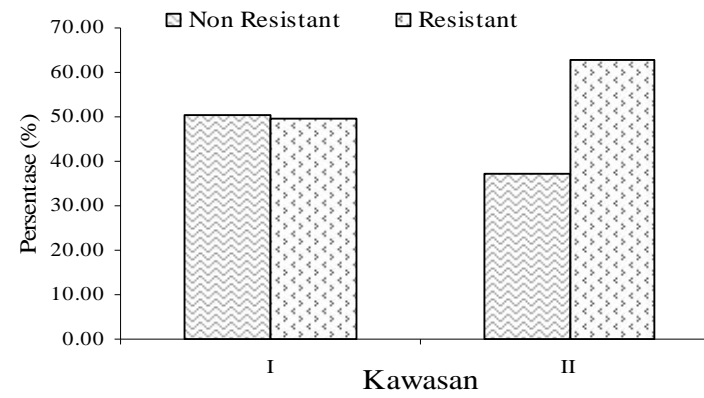
Rata-rata persentase fraksi Acid reducible dalam penelitian ini adalah 9,38 %, 0,66 %, 1,92 % dan 11,48 % untuk logam Cd, Cu, Pb dan Zn. Hasil penelitian ini masih sebanding dengan hasil penelitian terdahulu pada sedimen dari perairan pantai Barat Semenanjung Malaysia (Yap *et al.*, 2005; 2006) yang mendapatkan hanya <

10% Cd dan Cu serta 3 – 17% untuk logam Pb dan 12% untuk logam Zn dan juga pada sediment dari perairan Chile antara 10 – 30 % (Ramirez *et al.*, 2005).

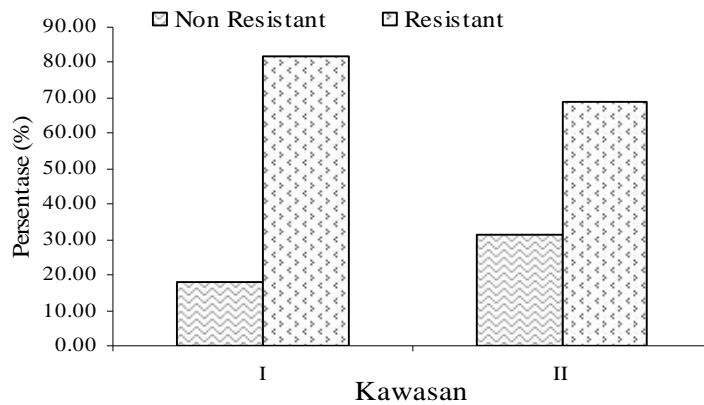
Persentase tertinggi fraksi oxidisable organic (terikat dengan bahan organik) pada logam Cd terdapat di Stasiun Pelindo (32,61 %), Cu di Stasiun Basilam Baru (38,83 %), Pb di Stasiun Mundam (53,32 %) dan Zn di Stasiun Mundam (37,62 %). Secara umum fraksi ini juga lebih tinggi (kecuali logam Cu) persentasenya di kawasan Dumai bagian Timur bila dibandingkan dengan kawasan bagian Barat. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh input bahan organik dari wilayah sekitar kawasan Dumai bagian Timur lebih banyak seperti dari Sungai Pelintung dan dari kawasan pusat Kota Dumai yang padat penduduk. Demikian juga dengan halnya arus yang datang pada waktu pasang membawa bahan organik dan partikel-partikel tersuspensi yang akhirnya mengendap di kawasan Dumai bagian Timur karena bertemu dengan massa air pada saat surut. Penelitian lain di Spanyol juga menemukan bahwa fraksi Oxidisable organic yang tertinggi dijumpai pada kawasan yang dekat dengan Sungai Tinto dan Ordiel di kawasan pantai Baratdaya Spanyol (Morillo *et al.*, 2004). Tingginya persentase fraksi ini diperkirakan berkaitan dengan input bahan organik dari aktivitas antropogenik sebagaimana yang telah dilaporkan oleh peneliti terdahulu (Cuong dan Obbart, 2006; Yap *et al.*, 2003a; b). Logam-logam tersebut kemungkinan berasosiasi dengan beberapa bentuk material organik kompleks dan partikel logam sulfida (Hanson *et al.*, 1993; Cuong dan Obbart, 2006; Tokalioglu *et al.*, 2000). Buangan limbah dari industri dan rumah tangga serta sungai-sungai di sekitar kawasan ini juga diperkirakan mempunyai kontribusi yang cukup banyak pada masuknya bahan organik di perairan Dumai, terutama di kawasan Dumai bagian Timur. Berbeda dengan tiga logam lainnya, persentase tertinggi fraksi Oxidisable organic logam Cu terdapat di kawasan Dumai bagian Barat (29,76 %). Di sekitar kawasan ini masih berupa hutan mangrove dan beberapa pemukiman penduduk. Disamping itu pembangunan pabrik pengolahan semen dan kelapa sawit di sekitar kawasan ini diduga memberikan andil dalam peningkatan bahan organik yang mengikat Cu di perairan ini. Namun demikian penjelasan lebih lanjut dan rinci mengenai perbedaan ini masih memerlukan kajian lebih lanjut.



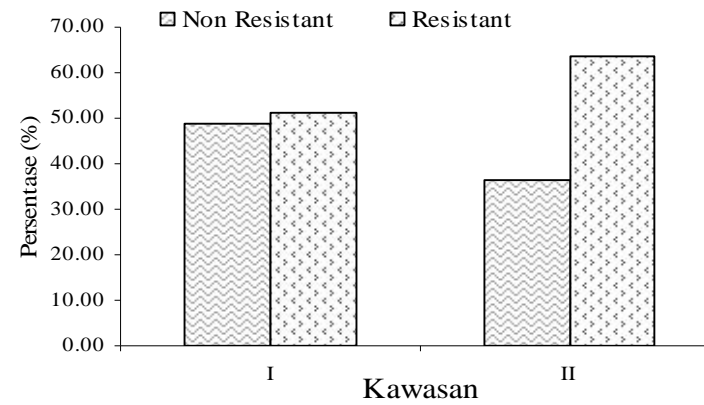
Cd



Pb



Cu



Zn

Gambar 14. Fraksi Resistant dan Nonresistant logam Cd, Cu, Pb dan Zn pada masing-masing kawasan

Fraksi resistant untuk semua logam yang dianalisa pada sedimen (logam Cd, Cu, Pb dan Zn) mencapai lebih dari 50 % dari konsentrasi totalnya, kecuali Pb di kawasan Dumai bagian Timur yang hanya 49,51 %. Hal ini menggambarkan bahwa secara umum perairan pantai Dumai belum mengalami pencemaran logam berat secara serius. Logam dalam fraksi resistant ini menurut Badri dan Aston (1983) disebabkan oleh sumber alami seperti peluruhan dari batuan dan juga dari dekomposisi detritus dari biota. Input logam-logam tersebut dari sumber antropogenik (yang digambarkan dari rendahnya fraksi nonresistan) masih lebih rendah dibandingkan fraksi resistant ataupun yang berasal dari sumber alamiah. Logam dari sumber alamiah menurut Badri dan Aston (1983) dan Yap *et al.* (2002; 2003a) diperkirakan logam yang terikat dengan mineral silikat dan menyatu dengan bentuk kristal dari mineral tersebut sehingga fraksi resistant tersebut sangat rendah ketersediaan biologinya bagi organisme.

Fraksi non-resistant (jumlah dari fraksi 1, 2 dan 3) untuk logam Cd, Cu, Pb dan Zn dalam sedimen merupakan fraksi yang menjadi perhatian dari sisi ekotoksikologi. Disamping dapat menyebabkan pengaruh negatif pada organisme, fraksi non-resistant ini umumnya berasal dari aktivitas antropogenik dan bukan dari sumber alamiah (Yap *et al.*, 2002). Disamping berasal dari sumber alamiah, logam berat tersebut dapat masuk ke perairan pantai melalui proses deposisi udara yang membawa partikel-partikel debu yang kecil dari aktivitas industri, kebakaran hutan dan lainnya yang memang sering terjadi di sekitar kawasan Dumai. Hal tersebut, disamping aktivitas kapal di pantai, pemukiman penduduk, dan aktivitas yang berhubungan dengan perminyakan di Dumai, perlu juga mendapat perhatian sebagai sumber antropogenik logam berat. Namun demikian fraksi non-resistant pada penelitian ini masih tergolong rendah. Fraksi non-resistant logam Cd mencakup 50 – 70 % dari total konsentrasi logam Cd pada sedimen di Spanyol (Morillo *et al.*, 2004); 57 % pada sedimen dari Terusan Suez (Abd. El-Azim dan El-Moselhy, 2005); 50 – 70 % pada sedimen dari Singapura (Cuong dan Obbard, 2006) dan 82 % pada sedimen dari muara Sungai Yangtze, China (Fang dan Wang, 2006).

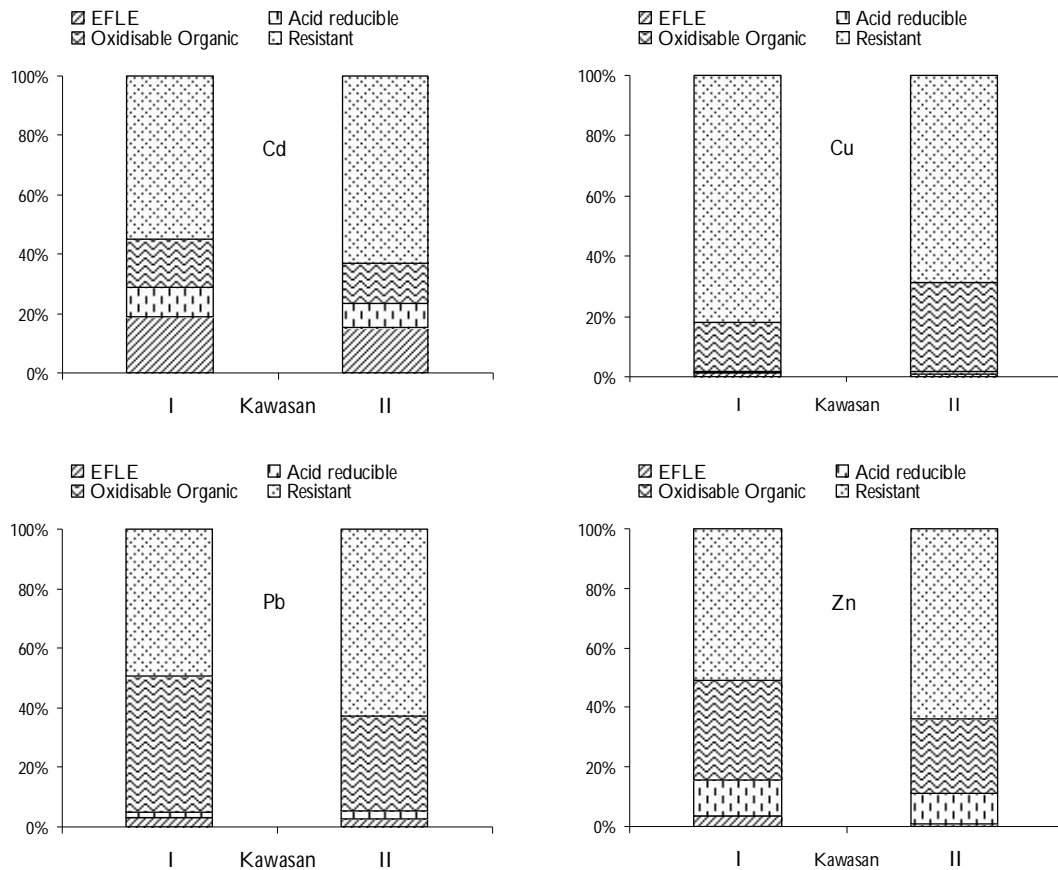
Namun demikian, fraksi nonresistant logam Cu menyumbang sekitar 16 - < 50 % dari total konsentrasi Cu dan memberikan gambaran bahwa logam tersebut berasal dari sumber alami (Yap *et al.*, 2003b; Morillo *et al.*, 2004; Abd. El-Azim dan El-

Moselhy, 2005; Cuong dan Obbard, 2006; Fang dan Wang (2006). Sementara itu Yap *et al.* (2002; 2003b) melaporkan bahwa fraksi nonresistant menyumbang sekitar 50 % dari total konsentrasi logam Cu sedangkan Cd menyumbang antara 24 – 71 % fraksi nonresistant dari total konsentrasi logam tersebut yang memberikan indikasi adanya sumber nonalami logam tersebut ke dalam perairan pantai Barat Semenanjung Malaysia di Selat Malaka.

Fraksi nonresistant logam Pb dan Zn pada sedimen di kebanyakan stasiun masih tergolong rendah. Di perairan Semenanjung Malaysia (Yap *et al.*, 2004) melaporkan bahwa kontribusi fraksi non-resistant logam Zn berkisar antara 30 – 40 % yang mengindikasikan rendahnya pengaruh aktivitas antropogenik terhadap masukan logam Zn secara keseluruhan. Namun demikian fraksi nonresistant logam Pb justru memberi kontribusi sebesar 71 – 74 % dari total konsentrasi Pb yang menunjukkan bahwa sebagian besar logam Pb berasal dari adanya aktivitas antropogenik (Yap *et al.*, 2003b). Demikian juga halnya dengan fraksi non-resistant pada sedimen dari Terusan Suez yang memberikan kontribusi 69 % (Pb) dan 30 % untuk logam Zn (Abd El-Azim dan El-Moselhy, 2006).

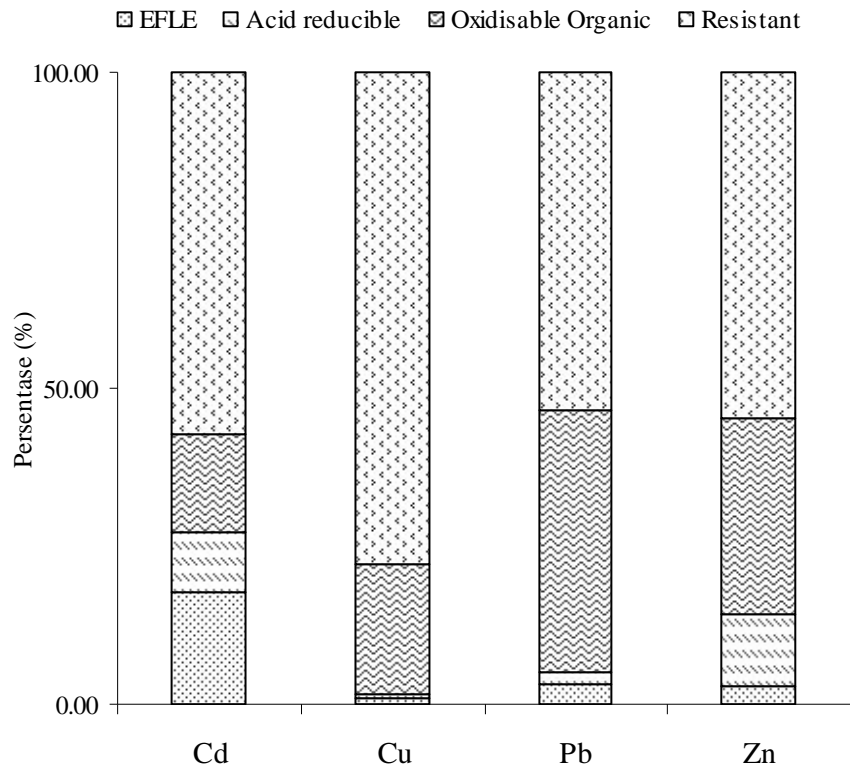
Kontribusi setiap fraksi yang dianalisa dalam penelitian ini untuk setiap kawasan dapat dilihat pada Gambar 15. Pembagian keseluruhan stasiun menjadi dua kawasan ini (didasarkan pada asumsi aktivitas antropogenik yang ada) maka dapat dikatakan bahwa konsentrasi logam Cd, Cu dan Zn didominasi oleh fraksi resistant (> 50 %). Hanya Pb pada sedimen di kawasan Dumai bagian Timur yang didominasi oleh fraksi non-resistant (50,49 %). Dapat juga diketahui bahwa perairan kawasan Dumai bagian Timur menunjukkan persentase fraksi non-resistant lebih tinggi, terutama logam Pb. Kawasan ini mempunyai aktivitas antropogenik lebih banyak dibandingkan kawasan Dumai bagian Barat. Fraksi non-resistant telah dilaporkan lebih tinggi di kawasan perairan yang tercemar (Calmano dan Forstner, 1983). Peneliti lain (Ismail dan Ramli, 1997) melaporkan bahwa fraksi non-resistant logam Cu meningkat di stasiun yang dekat dengan sumber pencemaran. Secara keseluruhan, distribusi fraksi geokimia logam Cd, Cu, Pb dan Zn di perairan Dumai dapat dilihat pada Gambar 16. Oleh karena jumlah fraksi EFLE, Acid reducible dan Oxidisable organic dianggap sebagai fraksi nonresistant (Badri dan Aston, 1983) dan diperkirakan sebagai logam yang berasal dari aktivitas antropogenik (Tessier *et al.*,

1979), maka dapat disimpulkan bahwa sekitar 43 % (Cd), 22 % (Cu), 47 % (Pb) dan 45 % (Zn) dalam sedimen di perairan Dumai berasal dari aktivitas antropogenik.



Gambar 15. Distribusi fraksi geokimia logam Cd, Cu, Pb dan Zn di setiap kawasan

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa diantara fraksi non-resistant tersebut logam Cu, Pb dan Zn lebih banyak terdapat pada fraksi Oxidisable organic. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh affinitas yang tinggi dari logam tersebut terhadap substansi humus (Forstner dan Wittmann, 1981). Logam tersebut kemungkinan juga berasosiasi dengan berbagai bentuk material organik seperti organisme hidup, detritus atau menyelimuti partikel mineral (Tokalioglu *et al.*, 2000). Zat organik terlarut ini juga dapat menghalangi distribusi antara bentuk oksidasi dan perubahan bentuk logam (Siger, 1977). Peneliti lain juga melaporkan bahwa sebagian besar logam berat dalam sedimen berasosiasi dengan bahan-bahan organik (Chou *et al.*, 2002; Mendiguchia *et al.*, 2006; Mucha *et al.*, 2003).



Gambar 16. Distribusi fraksi geokimia logam Cd, Cu, Pb dan Zn pada sedimen di perairan Dumai secara keseluruhan

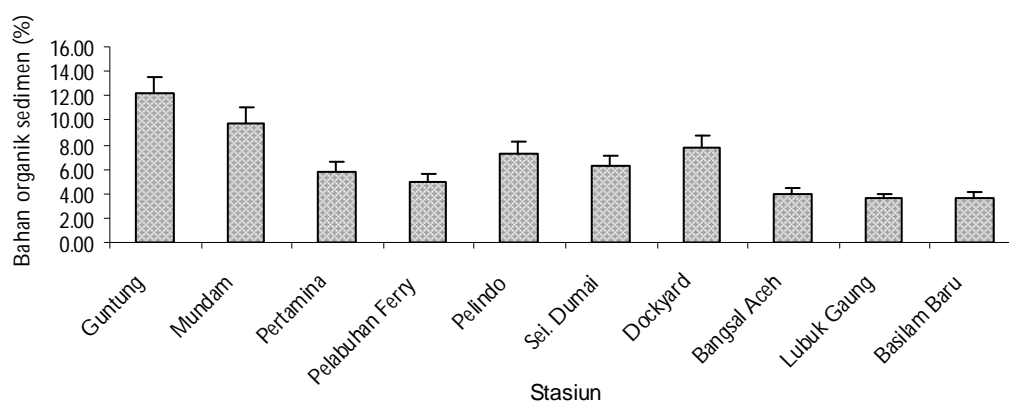
Diantara keempat logam yang dianalisa pada penelitian ini, fraksi non-resistant logam Pb lebih besar dari logam Cd, Cu dan Zn. Mobilitas logam (sebagaimana didasarkan pada fraksi EFLE nya) Cd (17,77 %) lebih tinggi dibanding logam Pb (3,01 %), Zn (2,92 %) dan terendah logam Cu (1,07 %). Ini menunjukkan bahwa logam Cd lebih mudah dimanfaatkan oleh organisme dan juga untuk pertukaran atau terlepas ke lingkungan perairan laut. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Cuong dan Obbard (2006) di perairan Singapura juga menunjukkan hasil yang sama dengan hasil penelitian ini.

4.2 Bahan organik sedimen dan korelasinya dengan konsentrasi logam berat

Kandungan rata-rata bahan organik total dalam sedimen di perairan Dumai berkisar antara 3,66 – 12,23 % dengan rata-rata keseluruhan 6,54 % (Tabel 19). Kandungan bahan organik total tertinggi terdapat di stasiun Guntung dan terendah di stasiun Basilam Baru (Gambar17).

Tabel 19. Kandungan bahan organik (%) dalam sedimen dari perairan Dumai

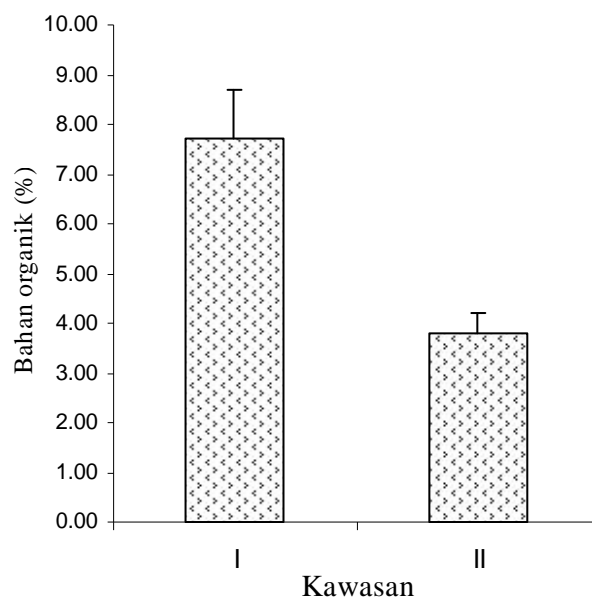
No.	Stasiun	Ulangan			Rata-rata
		1	2	3	
1.	Guntung	10.82	13.44	12.42	12.23
2.	Mundam	8.63	11.07	9.68	9.79
3.	Pertamina	5.03	6.56	5.96	5.85
4.	Pelabuhan Ferry	4.08	5.61	4.91	4.87
5.	Pelindo	6.21	8.19	7.37	7.26
6.	Sei. Dumai	5.58	7.13	6.30	6.34
7.	Dockyard	6.87	8.81	7.39	7.69
8.	Bangsai Aceh	3.55	4.38	4.00	3.98
9.	Lubuk Gaung	3.43	3.62	4.03	3.69
10.	Basilam Baru	3.68	3.37	3.94	3.66



Gambar 17. Kandungan bahan organik (%) dalam sedimen dari perairan Dumai

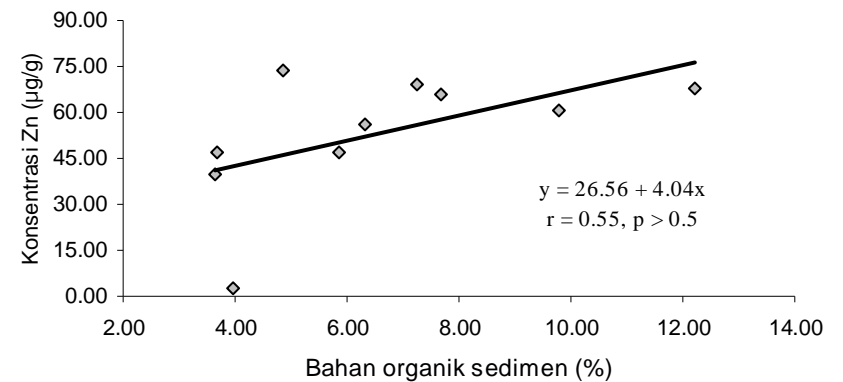
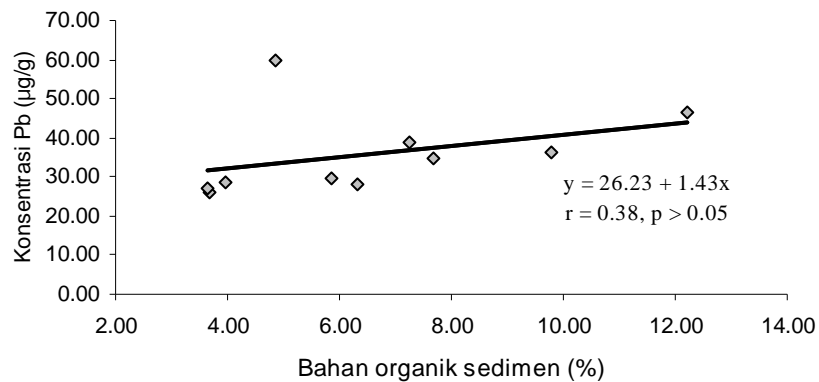
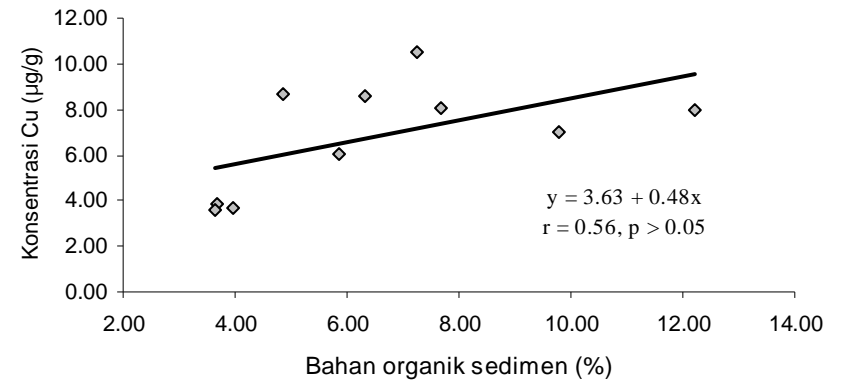
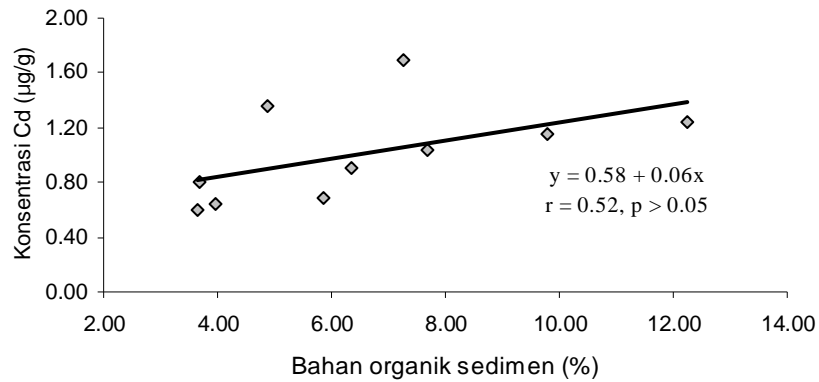
Apabila dilihat berdasarkan kawasan, maka kandungan bahan organik sedimen di kawasan Dumai bagian Timur lebih tinggi dari pada di kawasan Dumai bagian Barat (Gambar 18). Rendahnya kandungan bahan organik pada stasiun di kawasan Dumai bagian Barat disebabkan oleh substrat dasar dari stasiun di kawasan ini didominasi oleh fraksi pasir. Sedimen dari kawasan Dumai bagian Timur lebih banyak mengandung lumpur. Keadaan ini sesuai dengan pendapat Nybakken (1992) bahwa sedimen berpasir memiliki kandungan bahan organik yang lebih rendah dibandingkan sedimen berlumpur, karena dasar perairan berlumpur cenderung mengakumulasi

bahan organik yang terbawa aliran air, dimana tekstur dan ukuran partikel yang halus memudahkan terserapnya bahan organik tersebut.



Gambar 18. Kandungan bahan organik dalam sedimen pada masing-masing kawasan di perairan Dumai

Hubungan antara kandungan logam berat dengan kandungan bahan organik dalam sedimen dapat dilihat pada Gambar 19. Uji regresi linier sederhana menunjukkan terdapat hubungan positif antara konsentrasi logam berat dengan bahan organik pada sedimen di perairan Dumai dengan persamaan $Y = 0,58 + 0,06X$, $r = 0,52$ untuk logam Cd; $Y = 3,63 + 0,48X$, $r = 0,56$ untuk logam Cu; $Y = 26,23 + 1,43X$, $r = 0,38$ untuk logam Pb dan $Y = 26,56 + 4,04X$, $r = 0,55$ untuk logam Zn. Hal ini mengindikasikan bahwa bahan organik sedimen berperan cukup penting dalam hal pola distribusi logam berat di suatu perairan. Shriadah (1999) menyatakan bahwa konsentrasi logam berat disamping sangat berkaitan erat dengan fraksi sedimen juga mempunyai korelasi positif dengan bahan organik sedimen tersebut. Hal ini dibuktikan dengan lebih tingginya konsentrasi logam berat di kawasan Dumia bagian Timur yang juga mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi.



Gambar 19. Hubungan antara bahan organik dan konsentrasi logam berat Cd, Cu, Pb dan Zn dalam sedimen di perairan Dumai

4.3 Evaluasi tingkat pencemaran logam berat di perairan Dumai

4.3.1 Effective Range Low (ERL) dan Effective Range Medium (ERM) dan Pollution Load Index (PLI),

Untuk mengevaluasi kemungkinan adanya dampak negatif pada lingkungan dari logam yang dianalisa pada penelitian ini, konsentrasi logam-logam tersebut dibandingkan dengan Standar kualitas lingkungan untuk sedimen yaitu Effect Range Low (ERL) dan Effect Range Median (ERM) yang dikemukakan oleh Long *et al.* (1995; 1997). ERL mewakili konsentrasi dibawah mana logam berat mempunyai efek biologi yang tidak nyata, sedangkan ERM mewakili konsentrasi dimana efeknya pada organisme perairan akan sering terlihat. Secara umum, efek negatif itu akan terjadi pada kurang dari 10 % dari hasil penelitian dimana konsentrasi tersebut dibawah ERL dan dapat dilihat pada lebih dari 75 % dimana konsentrasinya melebihi nilai standard ERM (Long *et al.* (1995; 1997).

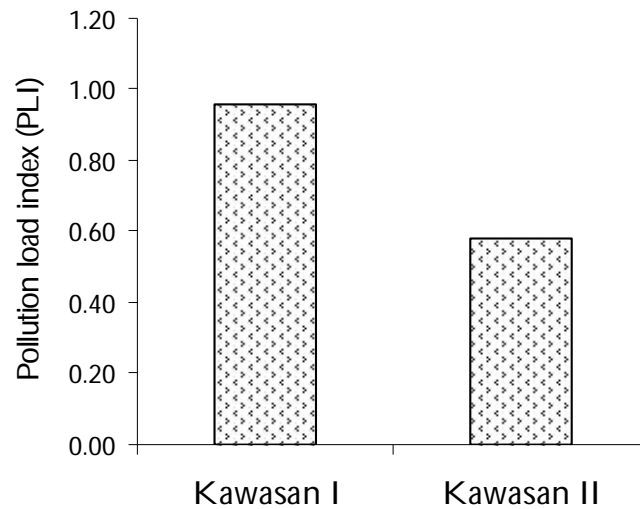
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa logam Cd pada sebagian besar stasiun masih berada dibawah nilai ERL (1,2 $\mu\text{g/g}$) dan ERM (9,6 $\mu\text{g/g}$). Hanya di stasiun Guntung, Pelabuhan Ferry dan Pelindo yang melebihi batas nilai ERL tetapi masih berada di bawah nilai standard ERM. Meskipun demikian, konsentrasi logam Cd di semua stasiun telah melewati konsentrasi standar untuk sedimen yang belum terkontaminasi (0,17 $\mu\text{g/g}$) yang dikemukakan oleh Salomon dan Forstner (1984). Konsentrasi logam Cu di semua stasiun masih dibawah nilai standar ERL (34,0 $\mu\text{g/g}$) dan nilai standar ERM (270,0 $\mu\text{g/g}$) dan bahkan masih berada di bawah standar untuk sedimen yang belum terkontaminasi (33 $\mu\text{g/g}$) sebagaimana disarankan oleh Salomon dan Forstner (1984). Konsentrasi logam Pb pada sedimen di hampir semua stasiun masih berada di bawah standar ERL (46,7 $\mu\text{g/g}$) dan ERM 218 $\mu\text{g/g}$. Hanya di Stasiun Pelabuhan Ferry konsentrasi Pb (59,73 $\mu\text{g/g}$) melebihi standar ERL. Demikian pula halnya dengan konsentrasi logam Zn di semua stasiun masih berada dibawah nilai standard ERL (150 $\mu\text{g/g}$) dan ERM (410 $\mu\text{g/g}$). Meskipun sebagian besar konsentrasi logam masih berada di bawah standar yang ditetapkan, baik ERL maupun ERM, monitoring kondisi perairan Dumai sangat diperlukan sejalan dengan semakin banyaknya aktivitas pembangunan yang ada sehingga kualitas lingkungan perairan pantai akan tetap terjaga.

Berdasarkan perhitungan nilai PLI yang mengacu pada standar rata-rata shale yang dikemukakan oleh Turekian dan Wedephol (1961) maka diketahui bahwa pada semua stasiun di kawasan Dumai bagian Barat nilai PLI masih sangat rendah dengan rata-rata 0,58 ($PLI < 1$) yang mengindikasikan masih rendahnya masalah pencemaran yang terjadi di perairan Dumai bagian Barat (Table 20 dan Gambar 20). Namun demikian, nilai PLI yang lebih tinggi dengan rata-rata 0,96 dapat dilihat pada kawasan Dumai bagian Timur, terutama di Stasiun Guntung, Pelabuhan Ferry dan Pelindo (nilai $PLI > 1$), sehingga perlu mendapatkan perhatian terutama dalam pengaturan tata ruang Kota Dumai untuk kawasan pengembangan industri dan pemukiman. Dengan mengacu pada kriteria nilai PLI yang diukemukakan oleh Angula (1996), maka pada saat ini tidak ada yang perlu dikhawatirkan tentang status pencemaran logam berat di perairan Dumai.

Tabel 20. Rata-rata nilai Pollution Load Index (PLI) logam berat di perairan Dumai

Kawasan	No.	Stasiun	Pollution Load Index (PLI) *
I	1.	Guntung	1,05
	2.	Mundam	0,91
	3.	Pertamina	0,68
	4.	Pelabuhan Ferry	1,16
	5.	Pelindo	1,16
	6.	Sei. Dumai	0,83
	7.	Dockyard	0,92
		<i>Rata-rata</i>	<i>0,96</i>
II	8.	Bangsai Aceh	0,57
	9.	Lubuk Gaung	0,62
	10.	Basilam Baru	0,55
		<i>Rata-rata</i>	<i>0,58</i>
		Rata-rata Total	0,86

* * berdasarkan standar shale (Turekian dan Wedephol, 1961)



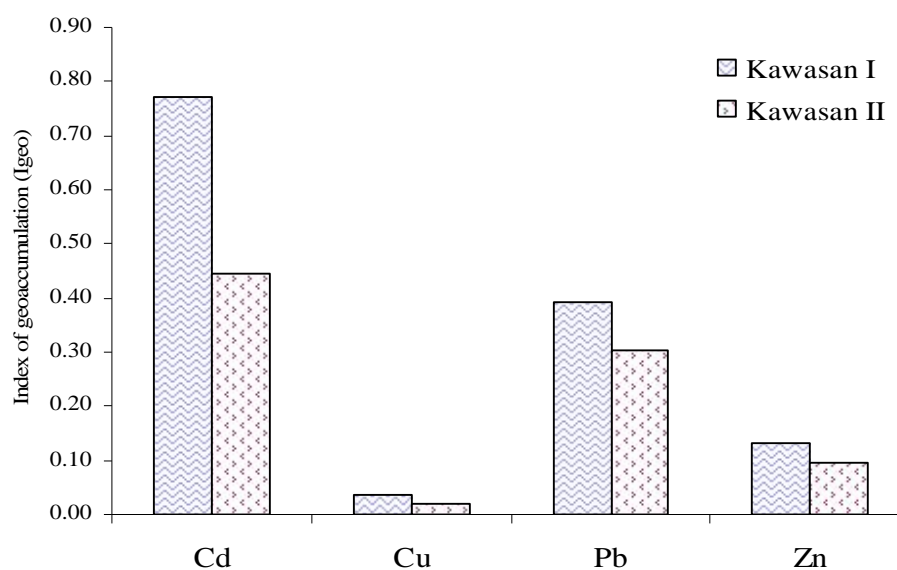
Gambar 20. Nilai Pollution Load Index (PLI) logam berat pada sedimen di perairan Dumai berdasarkan rata-rata standar shale

4.4.2 Index of Geoaccumulation (I_{geo}) dan Enrichment Factor (EF)

Hasil perhitungan nilai Index of Geoaccumulation pada sedimen menunjukkan bahwa untuk logam Cu, Pb dan Zn pada seluruh stasiun (100%) termasuk kedalam Kelas 1 (belum tercemar), sedangkan untuk logam Cd sebagian besar (90%) stasiun juga masuk kedalam Kelas 1, hanya 10 % yang masuk kedalam Kelas 2 (tercemar ringan) yaitu di stasiun Pelindo (Tabel 21). Secara keseluruhan, dapat dikatakan bahwa berdasarkan kelas indeks tersebut maka perairan Dumai berada pada Kelas 1 dan dikategorikan sebagai wilayah perairan yang belum tercemar. Namun demikian apabila dilihat nilai indeksnya, maka stasiun di kawasan Dumai bagian Timur sudah menunjukkan nilai yang lebih tinggi dari stasiun di kawasan Dumai bagian Barat (Gambar 21).

Tabel 21. Rata-rata nilai Index of Geoaccumulation (I_{geo}) dan klasifikasinya pada sedimen di perairan Dumai

Kawasan	No.	Stasiun	Nilai I_{geo}				Klasifikasi			
			Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn
I	1.	Guntung	0.83	0.04	0.47	0.14	1	1	1	1
	2.	Mundam	0.77	0.03	0.37	0.13	1	1	1	1
	3.	Pertamina	0.45	0.03	0.30	0.10	1	1	1	1
	4.	Pelabuhan Ferry	0.91	0.04	0.60	0.16	1	1	1	1
	5.	Pelindo	1.13	0.05	0.39	0.15	2	1	1	1
	6.	Sei. Dumai	0.61	0.04	0.28	0.12	1	1	1	1
	7.	Dockyard	0.70	0.04	0.35	0.14	1	1	1	1
		Rata-rata	0.77	0.04	0.39	0.13	1	1	1	1
II	8.	Bangsai Aceh	0.54	0.02	0.26	0.10	1	1	1	1
	9.	Lubuk Gaung	0.39	0.02	0.37	0.10	1	1	1	1
	10.	Basilam Baru	0.40	0.02	0.27	0.08	1	1	1	1
		Rata-rata	0.45	0.02	0.30	0.10	1	1	1	1
		Rata-rata Total	0.67	0.03	0.37	0.12	1	1	1	1



Gambar 21. Nilai rata-rata Index of Geoaccumulation (I_{geo}) masing-masing logam pada sedimen di perairan Dumai

Nilai Enrichment Factor (EF) untuk masing-masing logam telah dihitung berdasarkan pada rata-rata konsentrasi *shale* (Turekian dan Wedephol, 1961) dan hasilnya disajikan pada Tabel 22. Nilai EF untuk logam Cu pada semua stasiun masih < 1 , yang menunjukkan bahwa belum terjadi pengayaan atau peningkatan konsentrasi logam tersebut di perairan Dumai. Untuk logam Cd, Pb dan Zn secara

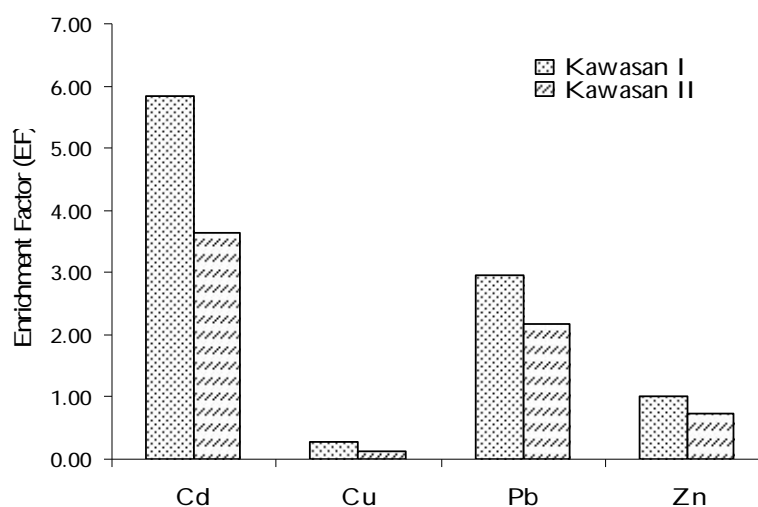
umum telah menunjukkan terjadinya pengayaan sedang (moderate enrichment), terutama di stasiun Pelindo yang berada di sekitar pusat Kota Dumai dengan aktivitas antropogenik yang lebih banyak dimana nilai EF mencapai 9,04 untuk logam Cd dan 3,53 untuk Pb di stasiun Guntung yang juga berada di sekitar pusat Kota Dumai .

Nilai rata-rata EF di perairan Dumai secara keseluruhan untuk logam Cu dan Zn (EF = 0,23 dan 0,92) masih rendah (< 1) yang mengindikasikan belum terjadinya pengayaan kedua jenis logam tersebut (no enrichment) di perairan Dumai. Sedangkan untuk logam Cd (EF = 5,18) menunjukkan pengayaan sedang (moderate enrichment), dan untuk logam Pb (EF = 2,73) menunjukkan pengayaan yang kecil (minor enrichment). Nilai EF tertinggi berada di stasiun Pelindo untuk logam Cd, Cu dan Zn sedangkan untuk logam Pb di stasiun Pelabuhan Ferry (Tabel 22). Diantara logam yang dianalisa, maka dapat diketahui bahwa logam Cu dan Zn mempunyai nilai EF yang tergolong rendah ($< 1,5$) yang menunjukkan bahwa logam tersebut lebih banyak berasal dari proses alami. Sedangkan untuk logam Cd dan Pb yang mempunyai nilai $EF > 1,5$ mengindikasikan, menurut Zhang dan Liu (2002), adanya kontaminasi kedua jenis logam tersebut di perairan Dumai.

Tabel 22. Nilai Enrichment Factor (EF) logam Cd, Cu, Pb dan Zn pada masing-masing stasiun di perairan Dumai

Kawasan	No.	Stasiun	Enrichment Factor (EF)			
			Cd	Cu	Pb	Zn
I	1.	Guntung	6.27	0.27	3.53	1.08
	2.	Mundam	5.93	0.24	2.83	0.98
	3.	Pertamina	3.58	0.21	2.35	0.79
	4.	Pelabuhan Ferry	6.43	0.27	4.24	1.10
	5.	Pelindo	9.04	0.37	3.12	1.16
	6.	Sei. Dumai	4.61	0.29	2.16	0.90
	7.	Dockyard	5.02	0.26	2.50	1.00
		Rata-rata	5.84	0.27	2.96	1.00
II	8.	Bangsai Aceh	3.36	0.13	2.23	0.69
	9.	Lubuk Gaung	4.21	0.13	2.05	0.78
	10.	Basilam Baru	3.37	0.13	2.27	0.70
		Rata-rata	3.65	0.13	2.18	0.72
		Rata-rata Total	5.18	0.23	2.73	0.92

Berdasarkan masing-masing kawasan, maka dapat dilihat bahwa kawasan Dumai bagian Timur menunjukkan nilai EF yang lebih tinggi daripada kawasan Dumai bagian Barat (Gambar 22). Berdasarkan interpretasi yang dikemukakan oleh Birch (2003), maka sedimen di kawasan Dumai bagian Timur tersebut dikategorikan sebagai kawasan yang mengalami pengayaan yang cukup tinggi (moderate severe enrichment), sedangkan di kawasan Dumai bagian Barat dikategorikan sebagai kawasan yang mengalami pengayaan sedang (moderate enrichment) oleh logam Cd. Pengayaan sedang (moderate enrichment) untuk logam Pb hanya terjadi di kawasan Dumai bagian Timur, sedangkan untuk kawasan lain hanya mengalami pengayaan yang kecil (minor enrichment). Tidak terjadi pengayaan logam Cu dan Zn pada kedua kawasan tersebut. Kawasan Dumai bagian Timur sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, mempunyai aktivitas antropogenik yang lebih banyak dibandingkan dengan kawasan Dumai bagian Barat. Hal ini juga tercermin dari perbedaan nilai EF pada kedua kawasan tersebut. Penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa pembuangan limbah industri dan rumah tangga merupakan sumber yang signifikan terhadap peningkatan konsentrasi logam berat di kawasan perairan pantai (Gonzalez dan Brugmann, 1991). Nilai EF di perairan Dumai ini lebih tinggi (untuk logam Cd dan Pb) dan lebih rendah (untuk logam Cu dan Zn) dibandingkan nilai EF pada sedimen di perairan pantai Barat India seperti yang dilaporkan oleh Laluraj dan Nair (2006).



Gambar 22. Nilai Enrichment Factor (EF) logam Cd, Cu, Pb dan Zn pada Kawasan I dan II di perairan Dumai

4.4 Perbandingan dengan penelitian lain

Konsentrasi logam berat yang dianalisa pada penelitian ini secara umum masih tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan di daerah lain sebagaimana dilaporkan dalam beberapa literatur (Tabel 23). Konsentrasi logam Cd masih berada dalam kisaran konsentrasi logam Cd di daerah lain, namun lebih tinggi dibandingkan dengan di Laut Jawa (Everaarts, 1989), Laut Pantai Barat Malaysia (Yap *et al.*, 2003a), Pantai Chile (Ramirez *et al.*, 2005), Estuaria Sungai Hugli di India (Sarkar *et al.*, 2004), perairan Pulau Kranji dan Pulau Tekong di Singapura (Cuong dan Obbard, 2006). Namun demikian konsentrasi logam Cd di perairan Dumai ini masih lebih rendah dibandingkan dengan di perairan Coruga dan Gaderu di India (Ray *et al.*, 2006), perairan pantai Alang-Sosiya, India (Reddy *et al.*, 2004). Konsentrasi logam Cu juga masih setara dengan atau lebih rendah dari konsentrasi logam tersebut di kawasan lain dan lebih tinggi dari di perairan Tanjung Piai, Malaysia (Yap *et al.*, 2006).

Tabel 23. Konsentrasi logam berat pada sedimen dari perairan Dumai dan pbandingannya dengan perairan lain

Lokasi penelitian	Cd	Cu	Pb	Zn	Referensi
Tg. Piai, Malaysia	0.72-1.19	3.43-3.81	16.50 - 21.60	40.30 - 43.10	Yap <i>et al.</i> , 2006
Pantai Barat Malaysia	0.10-1.42	0.25-13.80	3.59 - 25.36	4.00 - 79.05	Yap <i>et al.</i> , 2002; 2003a
Intertidal Pantai Barat, Malaysia	0.03-1.98	0.40-315.00	0.96 - 69.81	3.12 - 306.20	Yap <i>et al.</i> , 2002; 2003b
Seberang Prai, Malaysia	0.27-4.68	9.99-63.44	22.19 - 45.32	30.03- 513.20	Ismail and Asmah, 1999
Pantai Bintulu, Malaysia	1.00-5.00	7.00-13.00	11.00 - 36.00	39.00 - 91.00	Ismail, 1993
Estuaria Ponggol, Singapura	0.24	34.65	17.30	-	Nayar <i>et al.</i> , 2004
Kranji dan P. Tekong, Singapura	0.06-0.19	7.70-17.90	26.1 - 29.8	49.8 - 62.1	Cuong and Obbard, 2006
Kawasan Mangrove, Singapura	0.18-0.27	7.06-32.00	12.28 - 30.98	51.24- 120.23	Cuong <i>et al.</i> , 2005
Pantai Semarang, Indonesia	-	33.00-72.00	18.00 - 44.00	84.00 - 259.00	Takarina <i>et al.</i> , 2004
Teluk Jakarta, Indonesia	-	3.00-128.00	1.00 - 111.00	4.00 - 595.00	Williams <i>et al.</i> , 2000
Laut Jawa, Indonesia	0.03-0.61	6.00-54.00	5.00 - 46.00	33.00 - 122.00	Everaarts, 1989
Teluk Jiaozhou, China	0.10-0.32	17.64-34.26	24.57-49.59	80.79-110.00	Li <i>et al.</i> , 2006
Pelabuhan Kaoshiung, Taiwan	0.1-6.8	5-946	9.5-470	52-1369	Chen <i>et al.</i> , 2007
Pantai Karachi, Pakistan	0.01-0.14	0.01-0.10	0.06 - 0.08	0.04 - 0.10	Qori <i>et al.</i> , 2005
Perairan Pantai, India	8.57-45.85	85.17-312.87	65.95 - 262.54	718.02-1483.43	Reddy <i>et al.</i> , 2004
Periran Dumai, Indonesia	0.49-1.70	1.67-10.55	15.15-59.73	31.75-75.26	Penelitian ini

Konsentrasi logam Pb juga tidak jauh berbeda dengan konsentrasi logam tersebut pada sedimen di perairan Laut Jawa (Everaarts, 1989), perairan Semarang (Takarina *et al.*, 2004), perairan laut dan pantai Baratdaya Semenanjung Malaysia

(Yap *et al.*, 2002), Seberang Prai, Malaysia (Ismail dan Asmah, 1999), Selat Johor, Singapura (Wood *et al.*, 1997). Namun demikian konsentrasi tersebut masih lebih rendah dibandingkan dari perairan pantai Barat Spanyol (Morillo *et al.*, 2004), perairan Alang-Sosiya, India (Reddy *et al.*, 2004) dan perairan sekitar Pelabuhan Victoria, Hong Kong (Wong *et al.*, 1995; Tanner *et al.*, 2000). Konsentrasi logam Zn masih tidak jauh berbeda dari konsentrasi yang diperoleh di perairan Laut Jawa (Everaarts, 1989), perairan laut dan pantai Baratdaya Semenanjung Malaysia (Yap *et al.*, 2003a,b) dan lebih rendah dari perairan Semarang, Indonesia (Takarina *et al.*, 2004), perairan pantai India (Reddy *et al.*, 2004). Secara umum dapat dilihat bahwa konsentrasi logam berat Cd, Cu, Pb dan di perairan Dumai masih berada dalam kisaran konsentrasi logam tersebut di perairan yang belum tercemar sebagaimana dilaporkan dalam beberapa literatur (Tabel 23).