

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 1. Konsentrasi dan Distribusi Logam Berat

Konsentrasi rata-rata logam berat pada sedimen dari perairan Dumai dan kisarannya pada masing-masing stasiun serta konsentrasi rata-rata untuk masing-masing kawasan (Dumai bagian Timur, Dumai bagian Tengah dan Dumai bagian Barat) dapat dilihat pada Tabel 2. 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, dan pelabuhan banyak yang terkonsentrasi di kawasan Kota Dumai. Disamping itu, dua buah sungai besar juga bermuara ke pantai sekitar kawasan ini. Konsentrasi logam Cd ( $1,70 \mu\text{g/g}$ ) tertinggi terdapat di stasiun Pelabuhan, Cu dan Zn ( $10,55$  dan  $75,26 \mu\text{g/g}$ ) di Pelintung dan Pb ( $46,58 \mu\text{g/g}$ ) in Guntung. Sedangkan konsentrasi terendah Cd ( $0,60 \mu\text{g/g}$ ), Cu ( $3,56 \mu\text{g/g}$ ) dan Zn ( $39,57 \mu\text{g/g}$ ) terdapat di stasiun Basilam Baru serta Pb ( $23,68 \mu\text{g/g}$ ) di stasiun Purnama.

Distribusi konsentrasi logam berat pada sedimen di perairan Dumai dapat dilihat pada Gambar 4 untuk masing-masing stasiun dan pada Gambar 5 untuk masing-masing kawasan. Konsentrasi logam yang lebih tinggi terdapat pada sedimen di kawasan Dumai bagian Timur dan Dumai bagian Tengah, yang kemungkinan selain disebabkan oleh lebih banyaknya aktifitas antropogenik di kawasan tersebut, juga oleh adanya sistem pola arus di perairan Selat Rupat yang membawa massa air Selat Malaka dari Barat Laut kearah Selatan di Selat Rupat dan kemudian berbelok

kearah 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 6). 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 melalui Sungai Dumai dan Sungai Mesjid. Tingginya kandungan logam pada sedimen di Pelintung 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 Pelintung 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 Tengah dan yang terendah di kawasan Dumai bagian Barat. Lebih rendahnya konsentrasi logam berat tersebut di kawasan Dumai bagian Barat bila dibandingkan dengan kedua kawasan lainnya 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. Tambahan lagi di kawasan ini tidak terdapat sungai yang cukup besar seperti di Dumai bagian Tengah.

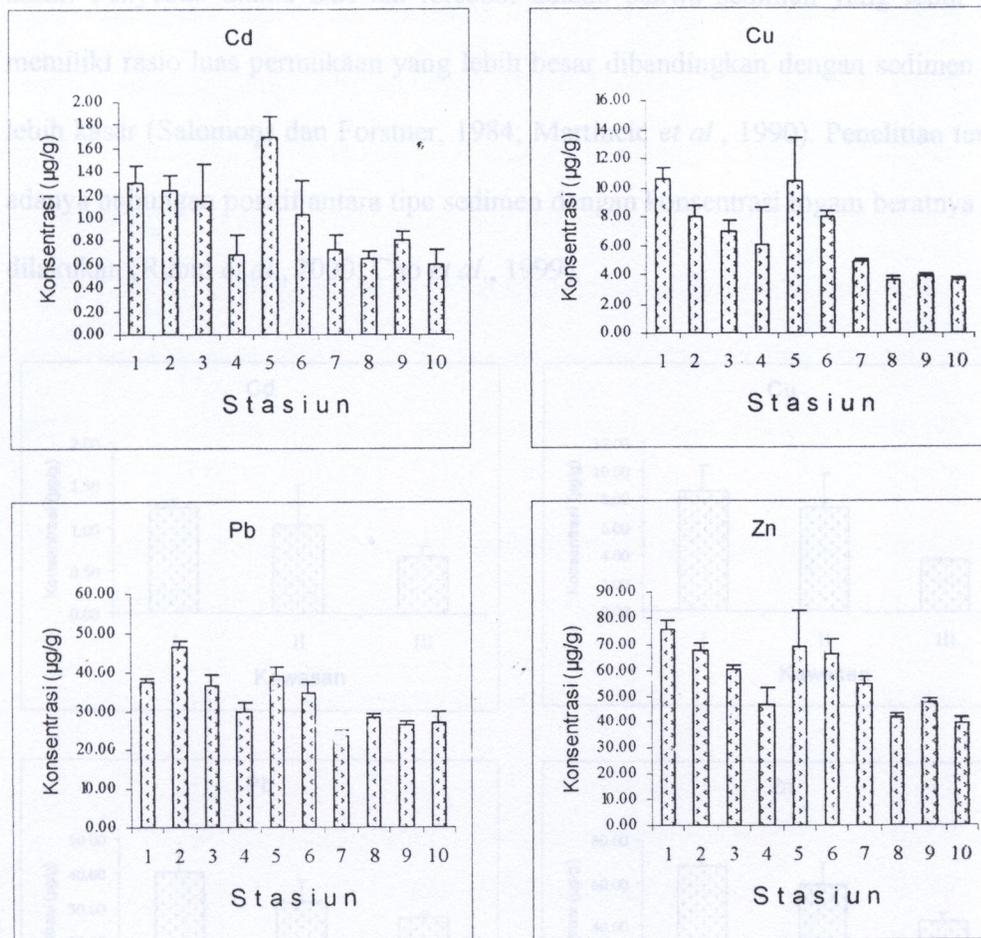
Tabel 2. Lokasi Pengambilan Sampel dan Konsentrasi Logam Berat pada Sedimen di Perairan Dumai

Kawasan	Stasiun	Kordinat		Stasiun	Konsentrasi ( $\mu\text{g/g}$ )			
		LU	BT		Cd	Cu	Pb	Zn
I	1	01°40'23"	101°41'49"	Pelintung	1.31	10.55	37.39	75.26
	2	01°38'35"	101°34'55"	Guntung	1.24	7.97	46.58	67.90
	3	01°40'12"	101°30'03"	Mundam	1.15	6.99	36.49	60.40
				<i>Rerata I</i>	<i>1.23</i>	<i>8.50</i>	<i>40.15</i>	<i>67.85</i>
II	4	01°41'10"	101°28'52"	Pertamina	0.68	6.01	29.55	46.99
	5	01°41'19"	101°27'03"	Pelabuhan	1.70	10.47	38.99	69.15
	6	01°41'36"	101°25'38"	Dockyard	1.04	8.04	34.59	65.93
	7	01°42'34"	101°24'14"	Purnama	0.73	4.95	23.68	54.64
				<i>Rerata II</i>	<i>1.14</i>	<i>7.94</i>	<i>35.93</i>	<i>63.52</i>
III	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>Rerata III</i>	<i>1.02</i>	<i>6.87</i>	<i>33.75</i>	<i>58.34</i>
				<i>Rerata Dumai</i>	<i>0.99</i>	<i>6.60</i>	<i>32.90</i>	<i>56.87</i>
				<i>Min</i>	0.60	3.56	23.68	39.67
				<i>Max</i>	1.70	10.55	46.58	75.26
				<i>Rerata Shale<sup>a</sup></i>	0.3	45	20	95
				<i>Rerata Sedimen<sup>b</sup></i>	0.17	33	19	95
				<i>ERL<sup>c</sup></i>	1.2	34	46.7	150
				<i>ERM<sup>c</sup></i>	9.6	270	218	410

Catatan :

I = Dumai bagian Timur, II = Dumai bagian Tengah, III = Dumai bagian Barat

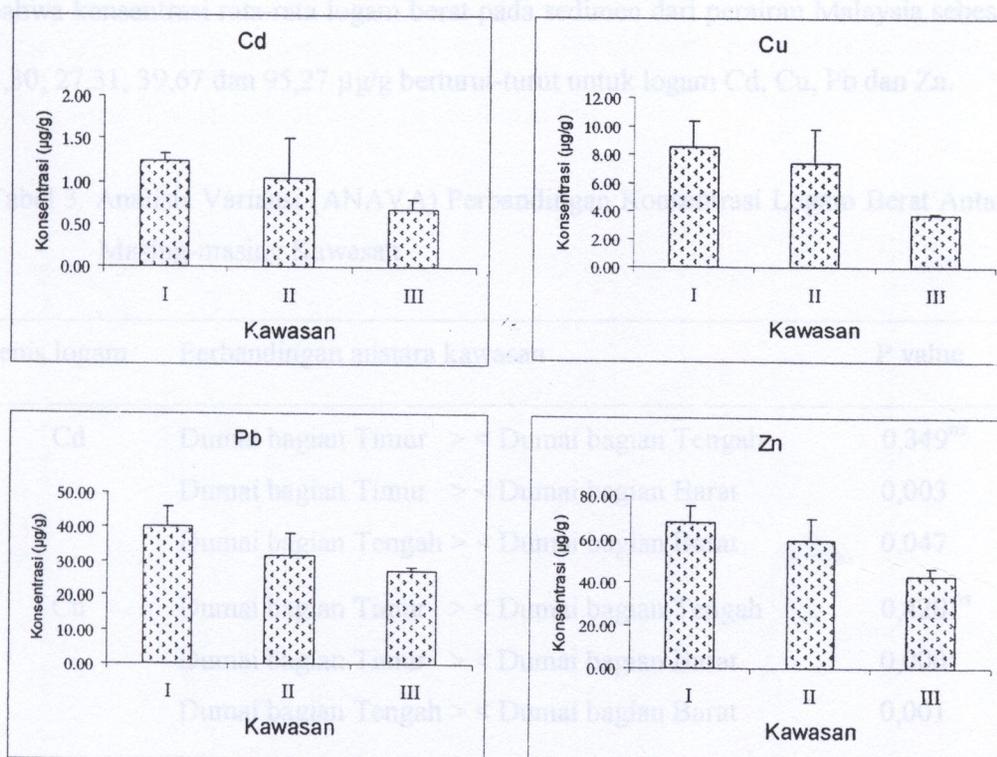
a = Turekian and Wedephol, 1961; b = Salomon and Forstner, 1984; c = Long *et al.*, 1995; 1997



Gambar 4. 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 kedua kawasan lainnya 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 5. 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 *shale* (Turekian dan Wedephol, 1961) dan konsentrasi rata-rata sedimen yang dikemukakan oleh Salomon dan Forstner (1984). Sedangkan konsentrasi rata-rata Cu dan Zn masih berada dibawah konsentrasi pada *shale* dan rata-rata konsentrasi pada sedimen (Table 2). 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 (0,99; 6,60; 32,90 dan 56,87  $\mu\text{g/g}$ ) masih lebih rendah bila dibandingkan dengan konsentrasi logam berat pada sedimen dari perairan di Malaysia 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  $\mu\text{g/g}$  berturut-turut untuk logam Cd, Cu, Pb dan Zn.

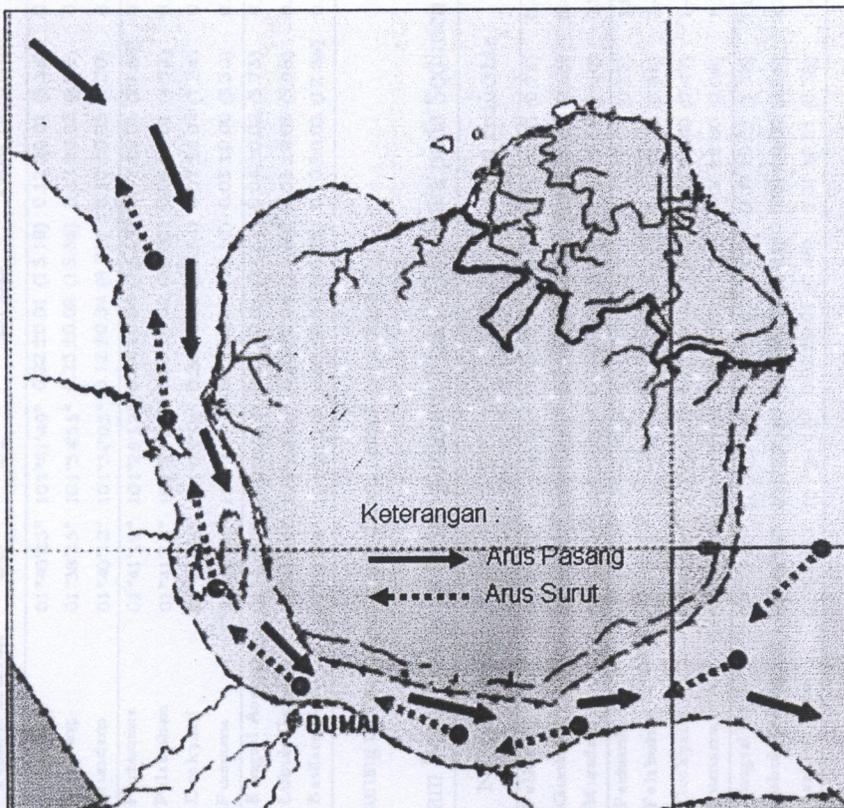
Tabel 3. Analisis Variansi (ANOVA) Perbandingan Konsentrasi Logam Berat Antara Masing-masing Kawasan

Jenis logam	Perbandingan anantara kawasan	P value
Cd	Dumai bagian Timur > < Dumai bagian Tengah	0,349 <sup>ns</sup>
	Dumai bagian Timur > < Dumai bagian Barat	0,003
	Dumai bagian Tengah > < Dumai bagian Barat	0,047
Cu	Dumai bagian Timur > < Dumai bagian Tengah	0,420 <sup>ns</sup>
	Dumai bagian Timur > < Dumai bagian Barat	0,000
	Dumai bagian Tengah > < Dumai bagian Barat	0,001
Pb	Dumai bagian Timur > < Dumai bagian Tengah	0,002 <sup>ns</sup>
	Dumai bagian Timur > < Dumai bagian Barat	0,000
	Dumai bagian Tengah > < Dumai bagian Barat	0,124
Zn	Dumai bagian Timur > < Dumai bagian Tengah	0,075 <sup>ns</sup>
	Dumai bagian Timur > < Dumai bagian Barat	0,000
	Dumai bagian Tengah > < Dumai bagian Barat	0,001

Keterangan : ns = non significant

Konsentrasi logam Cd, Cu, Pb dan Zn pada sedimen di perairan Dumai yang tertinggi terdapat di kawasan Dumai bagian Timur diikuti Bagian Tengah dan

terendah terdapat di kawasan Dumai bagian Barat. Berdasarkan uji ANOVA, rata-rata konsentrasi masing-masing logam tersebut berbeda nyata ( $p < 0,05$ ) diantara ketiga kawasan. Uji lanjut Tukey digunakan untuk melihat perbedaan antar kawasan dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3. Hampir semua logam berat pada sedimen di kawasan yang satu berbeda nyata ( $p < 0,05$ ) dibandingkan dengan kawasan lainnya. Hanya antara kawasan Dumai bagian Timur dengan Dumai bagian Tengah yang tidak berbeda nyata ( $p > 0,05$ ) untuk logam Cd, Cu dan Zn serta antara Dumai bagian Tengah dengan Dumai bagian Barat untuk logam Pb.



Gambar 6. Arah Arus pada Saat Pasang dan Surut di Perairan Dumai (Selat Rupat)

Tabel 4. Konsentrasi Logam Berat Cd dalam Masing-masing Fraksi Geokimia pada Sedimen di Perairan Dumai

Kawasan	No. Stasiun	Nama Stasiun	LU	BT	EFLC	Acid reducible	Oxidisable organic	Resistant	Total (100)
I	1	Pelintang	01°40'23"	101°41'49"	0.22±0.01 (15.18)	0.12±0.02 (8.36)	0.40±0.03 (28.15)	0.69±0.24 (48.31)	1.43
	2	Guntang	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
	3	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
II	4	Pestamina	01°41'10"	101°28'52"	0.14±0.06 (16.57)	0.17±0.01 (20.68)	0.16±0.01 (18.45)	0.57±0.08 (44.31)	0.84
	5	Pelabuhan	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	Dookyard	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
III	7	Pumarna	01°42'34"	101°24'14"	0.15±0.04 (18.10)	0.03±0.00 (3.30)	0.10±0.00 (12.21)	0.55±0.35 (66.38)	0.83
	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	Basilera Baru	01°51'26"	101°21'10"	0.08±0.02 (10.25)	0.10±0.03 (12.96)	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 5. Konsentrasi Logam Berat Cu dalam Masing-masing Fraksi Geokimia pada Sedimen di Perairan Dumai

Kawasan	No. Stasiun	Nama Stasiun	LU	BT	EFLC	Acid reducible	Oxidisable organic	Resistant	Total (100)
I	1	Pelintang	01°40'23"	101°41'49"	0.22±0.13 (1.81)	0.09±0.00 (0.75)	0.49±0.08 (4.03)	11.37±3.72 (93.41)	12.17
	2	Guntang	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
	3	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
II	4	Pestamina	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
	5	Pelabuhan	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	Dookyard	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)	7.91
III	7	Pumarna	01°42'34"	101°24'14"	0.08±0.01 (1.34)	0.06±0.00 (0.98)	1.17±0.13 (20.12)	4.50±0.90 (77.56)	5.81
	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 (75.82)	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	Basilera 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 6. Konsentrasi Logam Berat Pb dalam Masing-masing Fraksi Geokimia pada Sedimen di Perairan Dumai

Kawasan	No. Stasiun	Nama Stasiun	LU	BT	EFLE	Acid reducible	Oxidisable organic	Resistant	Total (100)
I	1	Pelintung	01°40'23"	101°41'40"	1.19±0.16 (2.99)	0.61±0.23 (1.53)	26.45±1.99 (66.49)	11.53±3.16 (28.99)	39.78
	2	Guntung	01°38'33"	101°34'55"	1.59±0.05 (3.29)	0.66±0.37 (1.57)	22.93±0.41 (47.38)	23.21±5.05 (47.96)	48.39
	3	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
II	4	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
	5	Pelabuhan	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
III	6	Dookyard	01°41'36"	101°25'38"	1.45±0.16 (4.00)	0.29±0.09 (0.80)	14.75±2.29 (41.11)	19.41±5.00 (54.08)	35.88
	7	Puansama	01°42'34"	101°24'14"	0.85±0.06 (3.36)	0.96±0.60 (3.81)	12.41±0.93 (49.19)	11.02±8.14 (43.64)	25.24
	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	Basilani 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 7. Konsentrasi Logam Berat Zn dalam Masing-masing Fraksi Geokimia pada Sedimen di Perairan Dumai

Kawasan	No. Stasiun	Nama Stasiun	LU	BT	EFLE	Acid reducible	Oxidisable organic	Resistant	Total (100)
I	1	Pelintung	01°40'23"	101°41'49"	0.64±0.03 (0.84)	3.78±0.48 (4.94)	33.76±0.44 (44.21)	38.19±15.72 (50.01)	76.37
	2	Guntung	01°38'33"	101°34'55"	1.07±0.03 (1.52)	4.81±0.46 (6.88)	26.16±0.22 (37.45)	37.86±9.58 (54.16)	69.90
	3	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
II	4	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
	5	Pelabuhan	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
III	6	Dookyard	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
	7	Puansama	01°42'34"	101°24'14"	0.88±0.14 (1.60)	5.37±0.50 (9.79)	15.88±0.15 (28.92)	32.78±6.21 (59.69)	54.91
	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
III	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	Basilani 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

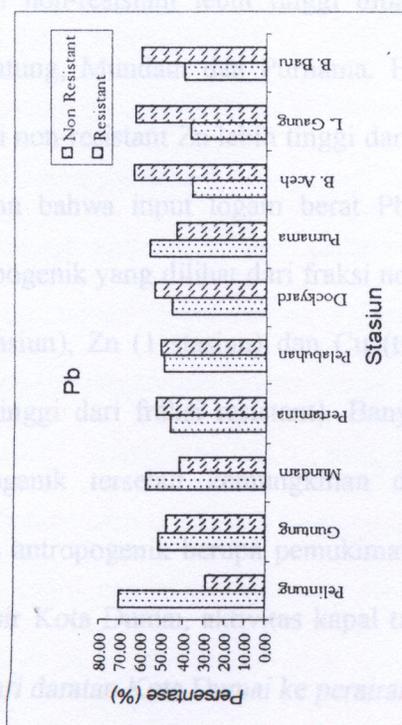
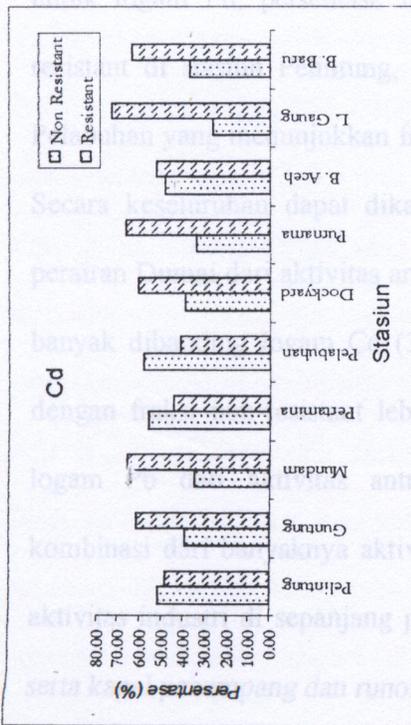
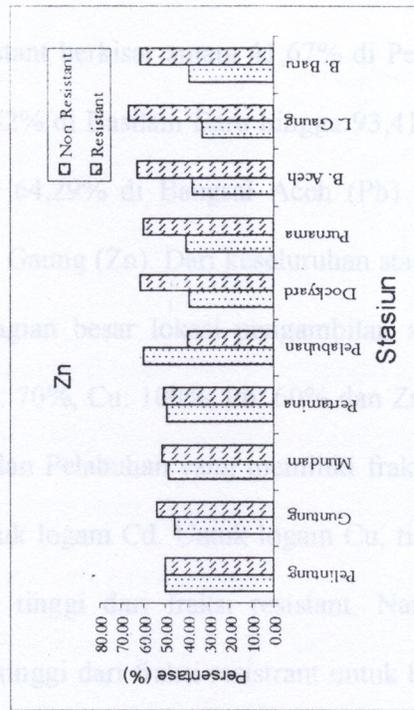
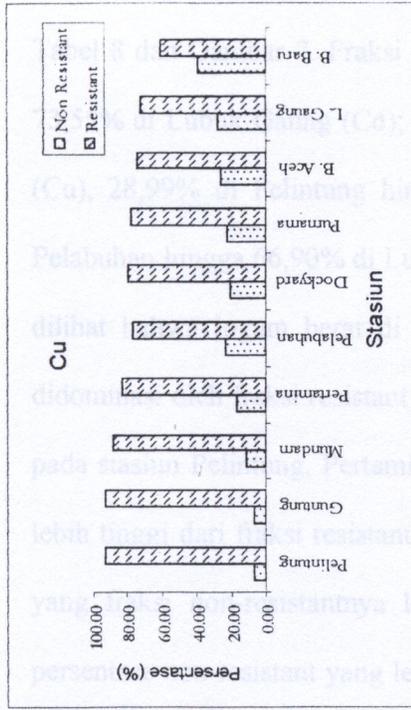
Catatan : Angka dalam tanda kurung menunjukkan fraksi dalam bentuk persentase (%)

## 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 4, 5, 6 dan 7 berturut-turut untuk Cd, Cu, Pb dan Zn. Konsentrasi total dari keempat fraksi ini berkisar antara 0,69 – 1,82 µg/g (Cd); 3,76 – 12,17 µg/g (Cu); 25,24 – 48,39 µg/g (Pb) dan 40,82 – 76,37 µg/g (Zn). Fraksi EFLE untuk Cd, Cu, Pb dan Zn berturut-turut berkisar antara 0,08 – 0,38 µg/g; 0,02 – 0,22 µg/g; 0,55 – 1,59 µg/g dan 0,38 – 6,83 µg/g. Fraksi 'acid-reducible' berkisar antara 0,03 – 0,17 µg/g (Cd), 0,01 – 0,10 µg/g (Cu) dan 0,29 – 1,10 µg/g (Pb) serta antara 2,78 – 13,20 µg/g (Zn). Fraksi 'oxidisable organic' untuk Cd berkisar antara 0,07 – 0,59 µg/g dan 0,42 – 2,44 µg/g untuk Cu; antara 8,91 – 26,45 µg/g (Pb) dan antara 10,94 – 33,76 µg/g untuk Zn. Fraksi 'resistant' untuk Cd (0,36 – 0,90 µg/g), Cu (2,27 – 11,37 µg/g, Pb (11,02 – 23,21 µg/g) dan untuk Zn (25,07 – 41,46 µg/g).

Tabel 8. Persentase (%) Logam Berdasarkan Fraksi 'Non-Resistant' dan 'Resistant' pada Masing-masing Stasiun

Stasiun	Resistant				Non Resistant			
	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn
Pelintung	48.31	93.41	28.99	50.01	51.69	6.59	71.01	49.99
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
Pelabuhan	41.67	76.58	50.76	40.00	58.33	23.42	49.24	60.00
Dockyard	60.73	79.65	54.08	61.13	39.27	20.35	45.92	38.87
Purnama	66.38	77.56	43.64	59.69	33.62	22.44	56.36	40.31
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



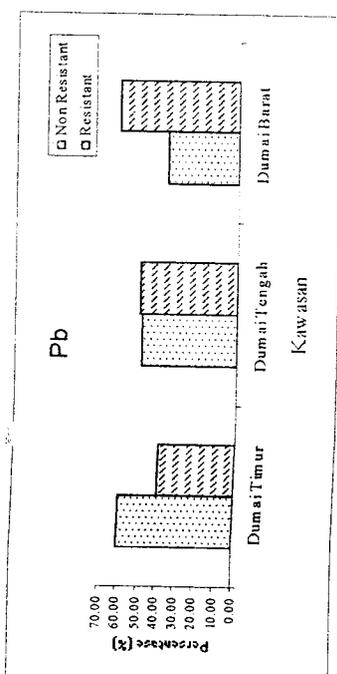
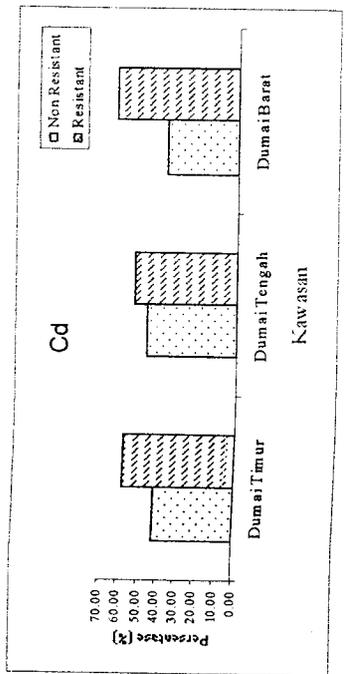
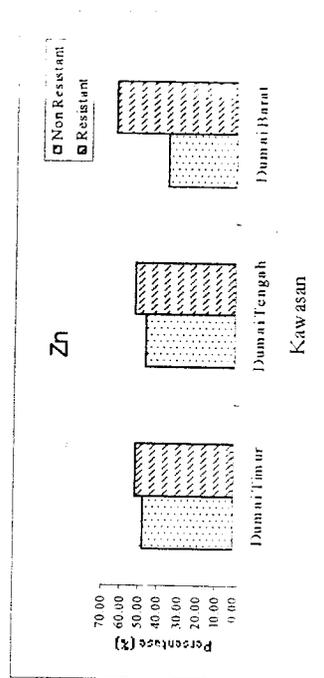
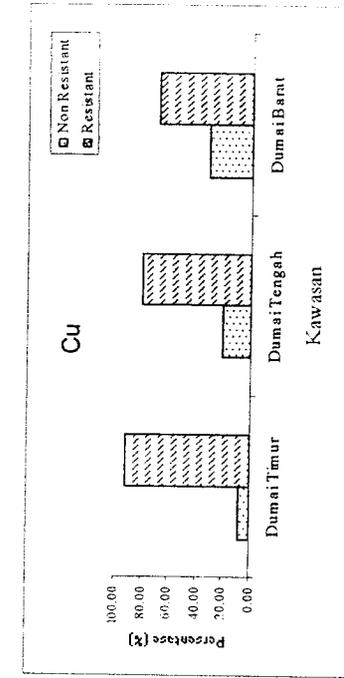
Gambar 7. Fraksi Resistant dan Nonresistant Logam Cd, Cu, Pb dan Zn di Setiap Stasiun

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 8 dan Gambar 7. Fraksi resistant berkisar antara 41,67% di Pelabuhan hingga 73,55% di Lubuk Gaung (Cd); 60,42% di Basilam Baru hingga 93,41% di Pelintung (Cu), 28,99% di Pelintung hingga 64,29% di Bangsal Aceh (Pb) dan 40,00% di Pelabuhan 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: 70%, Cu: 100%, Pb: 60% dan Zn: 90%). Hanya pada stasiun Pelintung, 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 Pelintung, Guntung, Mundam dan Purnama. Hanya stasiun di Pelabuhan yang menunjukkan fraksi non-resistant Zn lebih tinggi dari fraksi resistant. Secara keseluruhan dapat dikatakan bahwa input logam berat Pb (4 stasiun) ke perairan Dumai dari aktivitas antropogenik yang dilihat dari fraksi non-resistant lebih banyak dibanding logam Cd (3 stasiun), Zn (1 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.

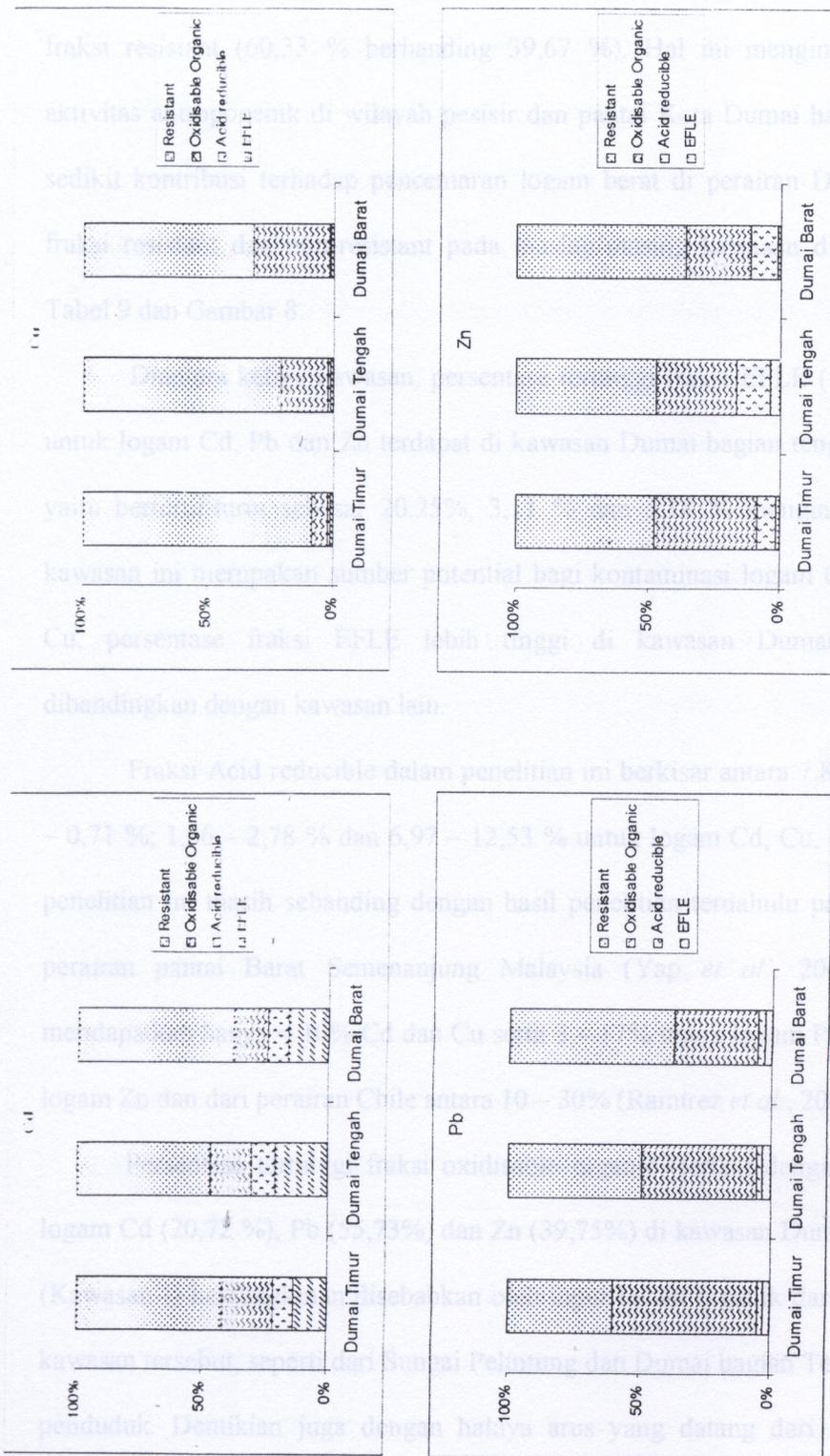
Tabel 9. Persentase (%) Logam Berdasarkan Fraksi 'Non-Resistant' dan 'Resistant' pada Masing-masing Kawasan

Kawasan	Resistant				Non Resistant			
	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn
Dumai bagian Timur	58.31	91.84	39.67	51.92	41.69	8.16	60.33	48.08
Dumai bagian Tengah	53.27	79.35	50.50	52.85	46.73	20.65	49.50	47.15
Dumai bagian Barat	62.85	68.70	62.63	63.68	37.15	31.30	37.37	36.32

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 %), Pelintung (1,81 %), Dockyard (4,00 %) dan di Pelabuhan (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 yang menyerap sedimen sebagai makanannya sehingga membahayakan kesehatan lingkungan perairan secara umum. Fraksi non-seristant 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 kandungan oksigen, perubahan redoks potensial dan aktivitas bakteri (Morillo *et al.*, 2004; Ramirez *et al.*, 2005; Yap *et al.*, 2005; 2006).



Gambar 8. Fraksi Resistant dan Nonresistant Logam Cd, Cu, Pb dan Zn pada Masing-masing Kawasan



Gambar 9. Distribusi Fraksi Geokimia Logam Cd, Cu, Pb dan Zn di Setiap Kawasan

Secara umum fraksi non-resistant lebih rendah dari fraksi resistant, hanya logam Pb pada kawasan Dumai Timur yang fraksi nonresistannya lebih besar dari fraksi resistant (60,33 % berbanding 39,67 %). 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 9 dan Gambar 8.

Diantara ketiga kawasan, persentase tertinggi fraksi EFLE (fraksi yang labil) untuk logam Cd, Pb dan Zn terdapat di kawasan Dumai bagian tengah (Kawasan II) yaitu berturut-turut sebesar 20,25%, 3,11 % dan 3,18 % mengindikasikan bahwa kawasan ini merupakan sumber potensial bagi kontaminasi logam Cd. Untuk logam Cu, persentase fraksi EFLE lebih tinggi di kawasan Dumai bagian Timur dibandingkan dengan kawasan lain.

Fraksi Acid reducible dalam penelitian ini berkisar antara 7,88 – 9,04 %; 0,65 – 0,71 %; 1,66 – 2,78 % dan 6,97 – 12,53 % 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 dari perairan Chile antara 10 – 30% (Ramirez *et al.*, 2005).

Persentase tertinggi fraksi oxidisable organic (terikat dengan organik) pada logam Cd (20,72 %), Pb (55,73%) dan Zn (39,75%) di kawasan Dumai bagian Timur (Kawasan I) kemungkinan disebabkan oleh input bahan organik dari wilayah sekitar kawasan tersebut, seperti dari Sungai Pelintung dan Dumai bagian Tengah yang padat penduduk. Demikian juga dengan halnya arus yang datang dari kawasan Dumai

bagian tengah pada waktu pasang membawa bahan organik dan partikel-partikel tersuspensi yang akhirnya mengendap di kawasan Dumai bagian Timur karena bertemu dengan arus pada saat surut. Penelitian terdahulu 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 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 dan tengah. 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.

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 39,67%. 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 ketersediaannya 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 estuaria 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.

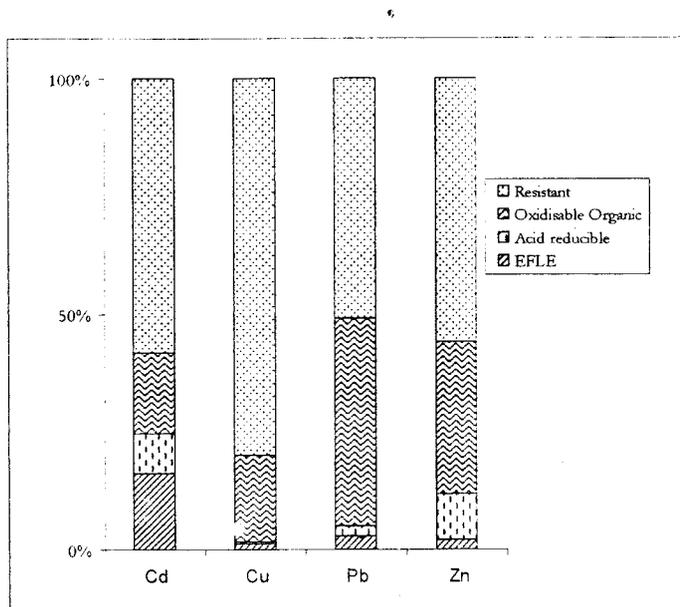
Fraksi nonresistant logam Pb dan Zn pada sedimen di kebanyakan stasiun masih tergolong rendah. Di perairan Semenanjung Malaysia (Yap *et al.*, 2004) melaporkan bahwa kontribusi fraksi non-resistant logam Zn berkisar antara 30 – 40% yang mengindikasikan rendahnya pengaruh aktivitas antropogenik terhadap 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 9. Pembagian keseluruhan stasiun menjadi tiga 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 (62,63%). Dapat juga diketahui bahwa kawasan Dumai bagian Timur dan bagian Tengah perairan Dumai menunjukkan persentase fraksi non-resistant lebih tinggi, terutama logam Pb. Kawasan ini mempunyai aktivitas antropogenik lebih banyak dibandingkan kawasan lain. 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 10. 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 42 % (Cd), 20 % (Cu), 49 % (Pb) dan 43 % (Zn) dalam sedimen di perairan Dumai berasal dari aktivitas antropogenik.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa diantara fraksi non-resistant tersebut, maka logam Cd, 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 10. 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 Zn, Cd dan Cu. Mobilitas logam (sebagaimana didasarkan pada fraksi EFLE nya) Cd (16,29%) lebih tinggi dibanding logam Pb (2,88%), Zn (2,085) dan terendah logam Cu (1,11%). Ini menunjukkan bahwa logam Cd lebih mudah dimanfaatkan oleh organisme dan juga untuk pertukaran atau terlepas ke lingkungan perairan laut. Hasil penelitian ini sama dengan yang dilakukan di perairan Singapura oleh Cuong dan Obbard (2006).

### 3. Evaluasi tingkat pencemaran logam berat di perairan Dumai

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

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 Pelintung, Guntung dan Pelabuhan 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 diakemukakan 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  $\mu\text{g/g}$ . 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.

Tabel 10. Rata-rata Nilai PLI Logam Berat di Perairan Dumai

Kawasan	No. Stasiun	Stasiun	Pollution Load Index (PLI)		
			A	B	C
I	1	Pelintung	0.79	0.98	2.68
	2	Guntung	0.73	0.91	2.48
	3	Mundam	0.66	0.83	2.25
II	4	Pertamina	0.52	0.64	1.75
	5	Pelabuhan	0.77	0.96	2.61
	6	Dockyard	0.69	0.85	2.33
	7	Purnama	0.50	0.64	1.73
III	8	Bangsai Aceh	0.46	0.57	1.54
	9	Lubuk Gaung	0.46	0.53	1.64
	10	Basilam Baru	0.31	0.55	1.47
		<i>Rerata</i>	<i>0.59</i>	<i>0.75</i>	<i>2.05</i>

Catatan :

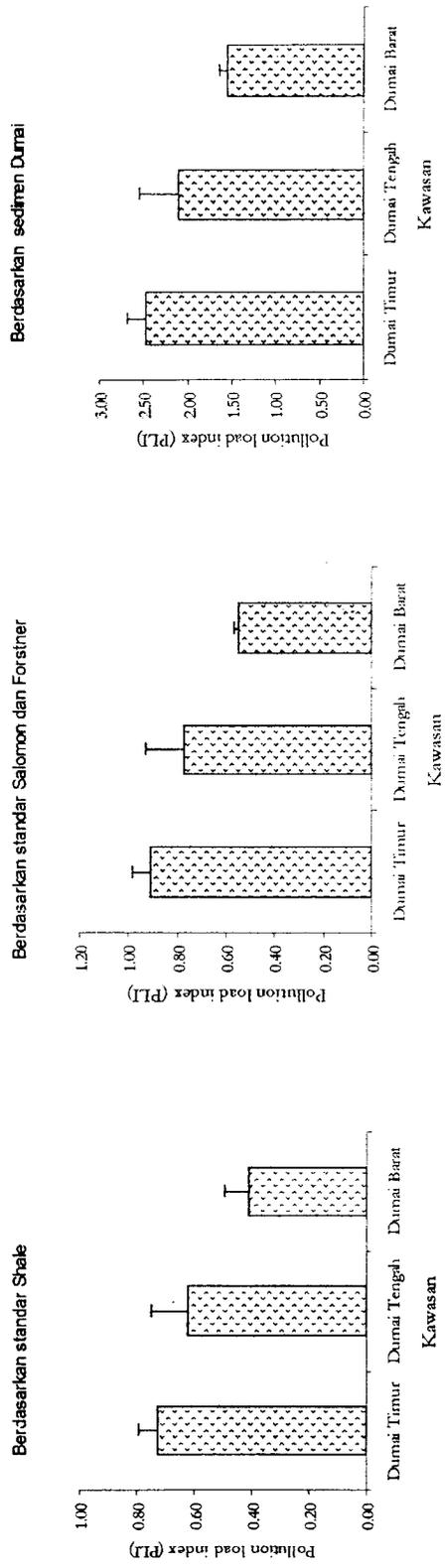
A = berdasarkan nilai shale (Turekian & Wedephol, 1961)

B = berdasarkan nilai Salomon & Forstner (1984)

C = berdasarkan nilai terendah pada sedimen di Dumai (penelitian ini)

Berdasarkan perhitungan nilai PLI maka diketahui pada semua stasiun nilai PLI masih sangat rendah ( $\text{PLI} < 1$ ) yang mengindikasikan masih rendahnya masalah pencemaran yang terjadi di perairan Dumai (Table 10 dan Gambar 11). Namun demikian, nilai PLI yang lebih tinggi dapat dilihat pada kawasan Dumai bagian Timur

dan Dumai bagian Tengah 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.



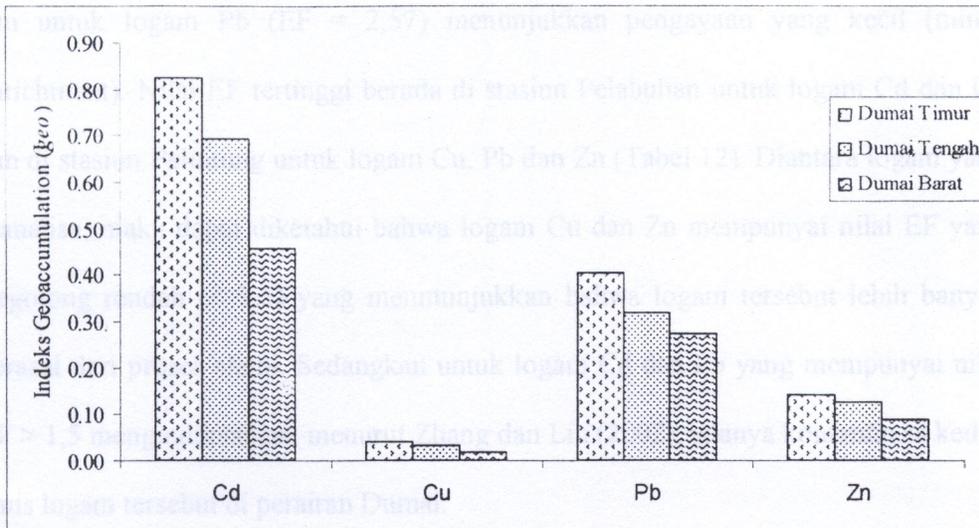
Gambar 11. Nilai Pollution Load Index (PLI) Logam Berat pada Sedimen Dumai Berdasarkan Beberapa Standar

### 3.2 Index of Geoaccumulation (I-geo), Enrichment Factor (EF)

Hasil perhitungan nilai Index of Geoaccumulation pada sedimen menunjukkan bahwa untuk logam Cu, Pb dan Zn, seluruh stasiun (100%) termasuk kedalam Kelas 1 (belum tercemar), sedangkan untuk logam Cd sebagian besar (90%) stasiun masuk kedalam Kelas I, hanya 10 % yang masuk kedalam Kelas 2 (tercemar ringan) yaitu di stasiun Pelabuhan (Tabel 11). 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 kawasan Dumai bagian Timur sudah menunjukkan nilai yang cukup tinggi dan lebih tinggi dari kawasan Dumai bagian Tengah dan bagian Barat (Gambar 12).

Tabel 11. Rata-rata Nilai Index of Geoaccumulation (I-geo) dan Kelasnya pada Sedimen di Perairan Dumai

Kawasan	No. Stasiun	Stasiun	I geo berdasarkan Shale				Kelas I geo			
			Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn
I	1	Pelintung	0.88	0.05	0.38	0.16	1	1	1	1
	2	Guntung	0.83	0.04	0.47	0.14	1	1	1	1
	3	Mundam	0.77	0.03	0.37	0.13	1	1	1	1
II	4	Pertamina	0.45	0.03	0.30	0.10	1	1	1	1
	5	Pelabuhan	1.13	0.05	0.39	0.15	2	1	1	1
	6	Dockyard	0.70	0.04	0.35	0.14	1	1	1	1
	7	Purnama	0.49	0.02	0.24	0.12	1	1	1	1
III	8	Bangsar Aceh	0.43	0.02	0.29	0.09	1	1	1	1
	9	Lubuk Gaung	0.54	0.02	0.26	0.10	1	1	1	1
	10	Basilam Baru	0.40	0.02	0.27	0.08	1	1	1	1
		<i>Rerata</i>	<i>0.66</i>	<i>0.03</i>	<i>0.33</i>	<i>0.12</i>				



Gambar 12. Nilai Rata-rata Index of Geoaccumulation (Igeo) 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 12. 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 Pelabuhan 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 disekitar pusat Kota Dumai .

Nilai rata-rata EF di perairan Dumai secara keseluruhan untuk logam Cu dan Zn (EF = 0,23 dan 0,93) masih rendah (< 1) yang mengindikasikan belum terjadinya pengayaan kedua jenis logam tersebut (no enrichment) di perairan Dumai. Sedangkan untuk logam Cd (EF = 4,52) menunjukkan pengayaan sedang (moderate enrichment),

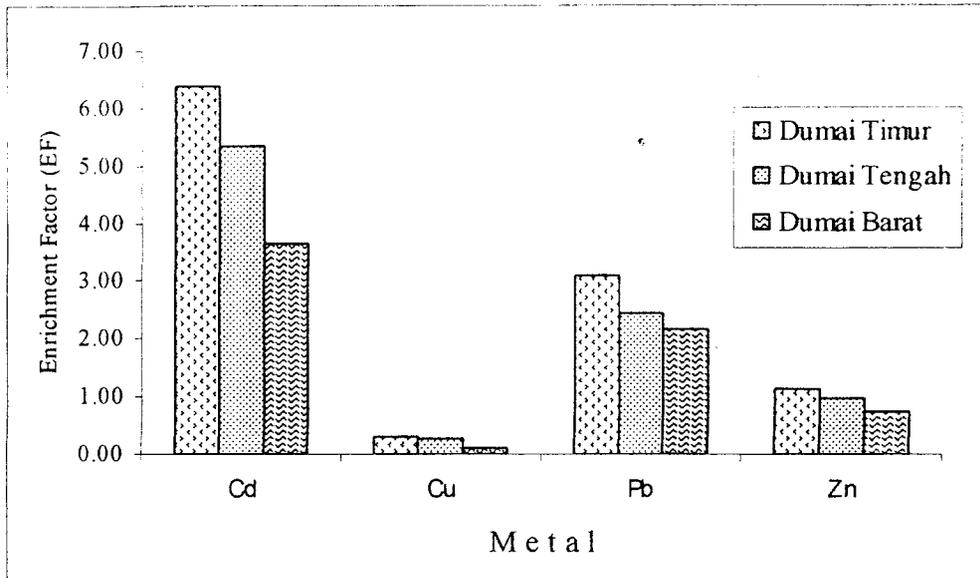
dan untuk logam Pb (EF = 2,57) menunjukkan pengayaan yang kecil (minor enrichment). Nilai EF tertinggi berada di stasiun Pelabuhan untuk logam Cd dan Cu dan di stasiun Pelintung untuk logam Cu, Pb dan Zn (Tabel 12). Di antara logam yang dianalisa, maka dapat diketahui bahwa logam Cu dan Zn mempunyai 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 12. Nilai Enrichment Factor (EF) Logam Cd, Cu, Pb dan Zn pada Masing-masing Stasiun di Perairan Dumai

Kawasan	No. Stasiun	Stasiun	Enrichment Factor (EFs)			
			Cd	Cu	Pb	Zn
I	1	Pelintung	6.91	0.37	2.96	1.25
	2	Guntung	6.27	0.27	3.53	1.08
	3	Mundam	5.93	0.24	2.83	0.98
II	4	Pertamina	3.58	0.21	2.35	0.79
	5	Pelabuhan	9.04	0.37	3.12	1.16
	6	Dockyard	5.02	0.26	2.50	1.00
	7	Purnama	3.74	0.17	1.82	0.88
III	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
		<i>Rerata</i>	<i>5.14</i>	<i>0.23</i>	<i>2.57</i>	<i>0.93</i>

Berdasarkan masing-masing kawasan, maka dapat dilihat bahwa kawasan Dumai bagian Timur menunjukkan nilai EF tertinggi, diikuti kawasan Dumai bagian Tengah dan nilai EF terkecil berada di kawasan Dumai bagian Barat (Gambar 13). Nilai rata-rata EF untuk Cd, Cu, Pb dan Zn berturut-turut adalah 6,37; 0,29; 3,11 dan 1,11 di kawasan Dumai bagian Timur dan 5,34; 0,25; 2,45 dan 0,96 di kawasan

Dumai bagian Tengah dan 3,65; 0,13; 2,18 dan 0,72 di kawasan Dumai bagian Barat. Berdasarkan interpretasi yang dikemukakan oleh Birch (2003), maka sedimen di kawasan Dumai bagian Timur dan Dumai bagian Tengah 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 semua kawasan, kecuali pada kawasan Dumai bagian Timur yang mengalami sedikit pengayaan (minor enrichment) untuk logam Zn. Kawasan Dumai bagian Timur dan Dumai bagian Tengah, 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 ketiga 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 13. Nilai Enrichment Factor (EF) logam Cd, Cu, Pb dan Zn pada Masing-masing Stasiun di Perairan Dumai

### 3.3 Perbandingan dengan penelitian lain

Secara umum konsentrasi logam berat yang dianalisa pada penelitian ini masih tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan di daerah lain sebagaimana dilaporkan dalam beberapa literatur (Tabel 13). 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 13. Konsentrasi Logam Berat pada Sedimen dari Perairan Dumai dan 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
Perairan 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

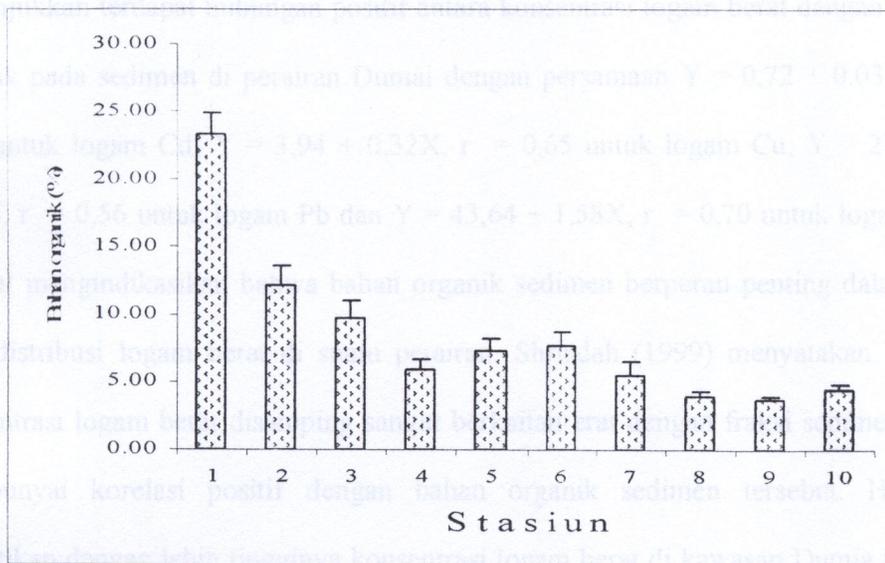
(Everaarts, 1989), perairan laut dan pantai Baratdaya Semenanjung Malaysia (Yap *et al.*, 2003a,b) dan lebih rendah dari perairan Semarang, Indonesia (Takarina *et al.*, 2004), perairan pantai India (Reddy *et al.*, 2004). Secara umum dapat dilihat bahwa konsentrasi logam berat Cd, Cu, Pb dan di perairan Dumai masih berada dalam kisaran konsentrasi logam tersebut di perairan yang belum tercemar sebagaimana dilaporkan dalam beberapa literatur (Tabel 13).

#### 4. Bahan organik sedimen dan korelasinya dengan kandungan logam berat

Kandungan rata-rata bahan organik total dalam sedimen di perairan Dumai berkisar antara 3,69 - 23,32 % dengan rata-rata keseluruhan 8,38 % (Tabel 10). Kandungan bahan organik total tertinggi terdapat di stasiun Pelintung dan terendah di stasiun Lubuk Gaung (Tabel 14 dan Gambar14).

Tabel 14. Kandungan Bahan Organik (%) dalam Sedimen dari Perairan Dumai

Stasiun	Ulangan			Rerata
	1	2	3	
Pelintung	22.16	22.73	25.08	23.32
Guntung	10.82	13.44	12.42	12.23
Mundam	8.63	11.07	9.68	9.79
Pertamina	5.03	6.56	5.96	5.85
Pelabuhan	6.21	8.19	7.37	7.26
Dockyard	6.87	8.81	7.39	7.69
Purnama	5.54	6.44	4.43	5.47
Bangsai Aceh	3.55	4.38	4.00	3.98
Lubuk Gaung	3.43	3.62	4.03	3.69
Basilam Baru	4.68	4.17	4.74	4.53
Rerata	7.69	8.94	8.51	8.38

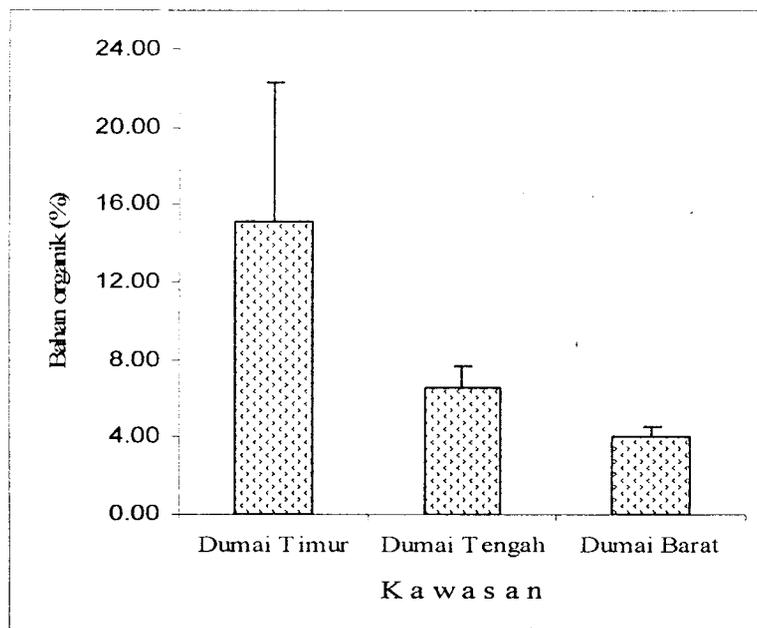


Gambar 14. Kandungan Bahan Organik (%) dalam Sedimen dari Perairan Dumai

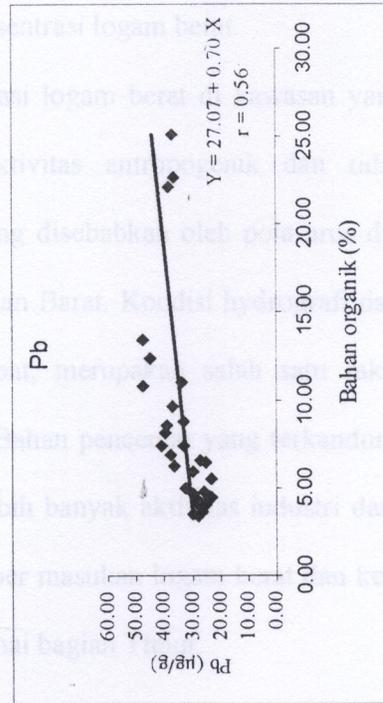
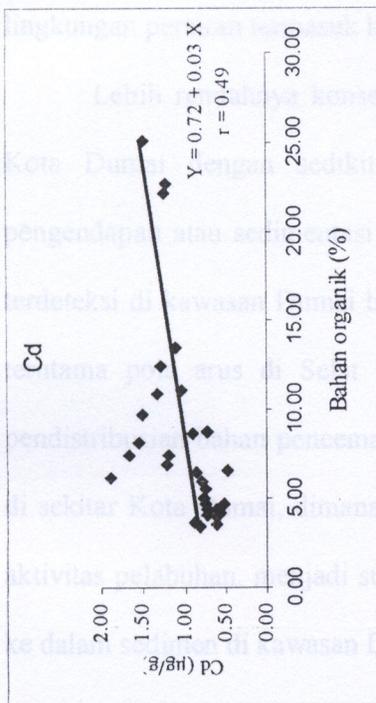
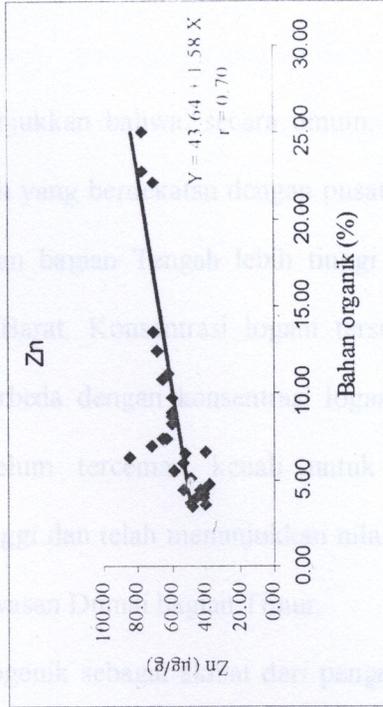
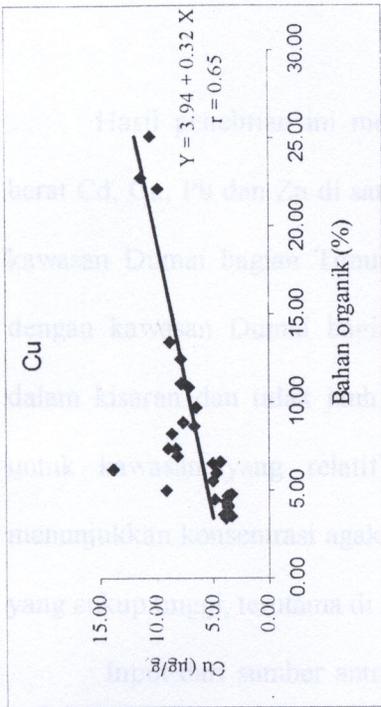
Apabila dilihat berdasarkan kawasan, maka kandungan bahan organik sedimen tertinggi berada pada sedimen di kawasan Dumai bagian Timur, diikuti Dumai bagian Tengah dan terendah di kawasan Dumai bagian Barat (Gambar 15). Rendahnya kandungan bahan organik pada stasiun di kawasan Dumai bagian Barat disebabkan oleh substrat dasar dari stasiun ini didominasi oleh fraksi pasir yang berbeda dengan stasiun lainnya. Sedimen dari kawasan Dumai bagian Timur dan bagian Tengah lebih banyak mengandung lumpur. Keadaan ini sesuai dengan pendapat Nybakken (1988) 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.

Hubungan antara kandungan logam berat dengan kandungan bahan organik dalam sedimen dapat dilihat pada Gambar 16. Uji regresi linier sederhana

menunjukkan terdapat hubungan positif antara konsentrasi logam berat dengan bahan organik pada sedimen di perairan Dumai dengan persamaan  $Y = 0,72 + 0,03X$ ,  $r = 0,49$  untuk logam Cd;  $Y = 3,94 + 0,32X$ ,  $r = 0,65$  untuk logam Cu;  $Y = 27,07 + 0,70X$ ,  $r = 0,56$  untuk logam Pb dan  $Y = 43,64 + 1,58X$ ,  $r = 0,70$  untuk logam Zn. Hal ini mengindikasikan bahwa bahan organik sedimen berperan 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 15. Kandungan Bahan Organik (%) dalam Sedimen pada Masing-masing Kawasan di Perairan Dumai



Gambar 16. Hubungan Antara Bahan Organik dan Kandungan Logam Berat Cd, Cu, Pb dan Zn dalam Sedimen di Perairan Dumai