

KAJIAN DISTRIBUSI DAN TINGKAT KONTAMINASI POLUTAN DALAM SEDIMEN DAERAH PESISIR (*COASTAL*) NANGRO ACEH DARUSSALAM (NAD) PASKA-TSUNAMI

Ali Arman, Zainal Abidin, Yulizon Menry dan Bungkus Pratikno

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi- BATAN

Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Pasar Jumat, Jakarta Selatan

Telp.021-7690709; Fax: 021-7691607

ABSTRAK

KAJIAN DISTRIBUSI DAN TINGKAT KONTAMINASI POLUTAN DALAM SEDIMEN DAERAH PESISIR (*COASTAL*) NANGRO ACEH DARUSSALAM (NAD) PASKA-TSUNAMI. Kajian tentang distribusi polutan dan tingkat cemaran pada sedimen permukaan dan sedimen core di daerah pesisir Banda Aceh akibat tsunami telah dilakukan menggunakan teknik nuklir. Sample sedimen diambil menggunakan alat grab dan gravity core untuk mendapatkan pola sebaran polutan secara horizontal dan vertikal, sedangkan tingkat kontaminasi dibandingkan dengan nilai indeks kualitas sedimen Hong-kong dan kandungan sedimen dari yang tidak terkena dampak tsunami. Kandungan polutan logam berat dianalisis menggunakan metode analisis aktivasi neutron, jenis sedimen dianalisis dengan metode pipet dan distribusi dan laju sedimentasi ditentukan dengan metode isotop alam Pb-210. Hasil penelitian menunjukkan jenis sedimen di daerah pesisir Banda Aceh adalah dominan pasir di daerah sebelah timur dan dominan lanau di daerah sebelah barat dan tengah. Sebaran polutan logam berat baik secara horizontal maupun vertikal adalah berfluktuasi dan kandungan As dan Cr cukup tinggi sedangkan logam lainnya berada di bawah nilai indeks kualitas sedimen. Selanjutnya kandungan logam dari daerah pesisir Banda Aceh umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan daerah yang tidak terkena dampak, dan khusus Cr memiliki konsentrasi 3 kali lebih tinggi.

PENDAHULUAN

Gempa yang disusul oleh tsunami tanggal 26 Desember 2004 di daerah Nangro Aceh Darussalam (NAD) dan Sumatera Utara dengan epicenter di sekitar pulau Semeulue (provinsi NAD) mengakibatkan korban hampir 150 ribu jiwa serta kerusakan lingkungan terutama daerah pesisir di kedua provinsi tersebut. Melihat dampak kerusakan yang terjadi, pemerintah Republik Indonesia menetapkan bencana tsunami di NAD sebagai bencana nasional. Kerusakan lingkungan meliputi perubahan garis pantai akibat erosi/sedimentasi, kontaminasi polutan pada ekosistem di daerah pesisir, kontaminasi dan kerusakan terumbu karang dan hutan mangrove serta kontaminasi airtanah dan lahan pertanian oleh airlaut dan berbagai polutan organik dan anorganik.

Lebih lanjut laporan terakhir menyebutkan bahwa akibat tsunami menimbulkan kerusakan berat pada ekosistem daerah pesisir seperti terumbu karang, mangrove dan rumput laut. Kerusakan pada terumbu karang sekitar 30 % dari populasi dunia dan 26 % dari total mangrove. Erosi sedimen akibat gelombang tsunami dari daerah *offshore* menimbulkan kerusakan tidak hanya terumbu karang dan rumput laut tetapi juga pada kehidupan biota laut di daerah tersebut. Perkiraan pada beberapa tempat, gelombang airlaut dapat mencapai 3 km ke arah darat, sehingga mengakibatkan kontaminasi airlaut. Sementara itu arah sebaliknya gelombang tsunami membawa polutan dari daratan yang mengkontaminasi daerah pesisir. Hal ini mengakibatkan kesulitan pada penduduk yang

sumber kehidupannya dari pesisir dan sekitarnya seperti objek wisata laut, perikanan tambak, nelayan dan aquakultur karena kerusakan yang berat sepanjang pantai dan intrusi airlaut ke daratan pesisir.

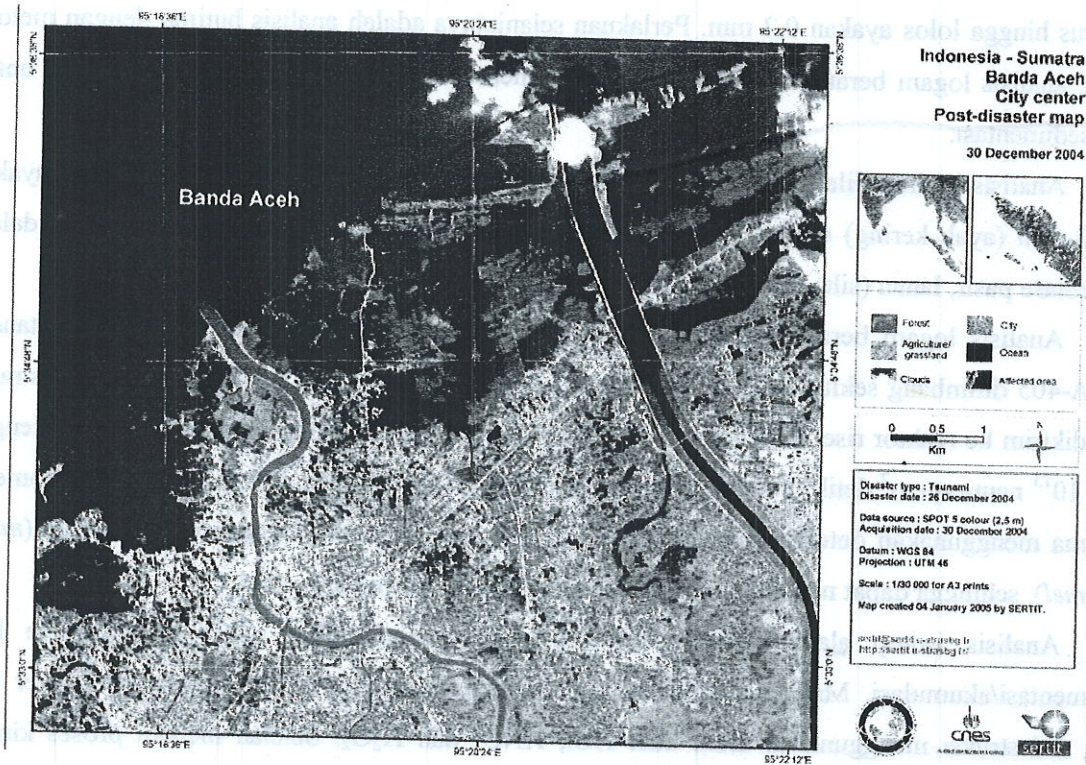
Dampak dari tsunami juga dialami secara langsung oleh negara-negara anggota (*Member States*) dari peserta RCA (*Regional Cooperative Agreement*) Asia selatan disamping Indonesia antara lain Srilanka, Thailand dan India serta secara tidak langsung oleh antara lain Malaysia, Philippine dan Myanmar. Berdasarkan hal tersebut serta dengan mengedepankan teknologi nuklir dan isotop sebagai *tool* untuk kajian transport dan pengaruh polutan pada lingkungan pesisir, UNDP(Korea) dan RCARO (RCA-Regional Office) berinisiatif serta mengundang negara-negara anggota RCA menyusun suatu project bersama dengan tujuan untuk membantu negara-negara anggota RCA yang terutama mengalami dampak langsung dari tsunami. Penyusunan kegiatan dalam bentuk *Formulation Meeting* (FM) berjudul "*Post-Tsunami Environment Impact Assessment Project, Mitigation of Coastal Impacts of Natural Disasters like Tsunami Using Nuclear or Isotope-based Techniques*" dilaksanakan di KAERI (*Korean Atomic Energy and Research Institute*), Korea pada tanggal 23-24 Februari 2006. Kegiatan ini akan dilaksanakan selama 3 tahun dari Juni 2006 sampai Desember 2008 dan diperpanjang hingga Desember 2009.

Indonesia sebagai salah satu negara yang merasakan dampak tsunami dan merupakan negara yang paling banyak terkena dampak diantara negara-negara anggota RCA diharapkan berpartisipasi lebih aktif dalam kegiatan tersebut melalui pemanfaatan teknik nuklir untuk kajian lingkungan pesisir. Oleh karenanya, Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data tingkat kontaminasi airtanah sebagai sumber air minum penduduk, konsentrasi dan sebaran logam berat dan TE-NORM dalam sedimen permukaan dan distribusi dalam sedimen coring serta kandungan logam berat dalam terumbu karang daerah pesisir NAD paska-tsunami, serta redistribusi sedimen dan transport polutan dari daratan ke pesisir dan sebaliknya. Bioakumulasi logam berat dalam terumbu karang untuk menentukan tingkat cemaran dan kaitannya dengan perikanan.

BAHAN DAN METODA

Lokasi penelitian meliputi daerah Nangroe Aceh Darussalam yang dapat dilihat pada Gambar 1. Bahan penelitian adalah sedimen permukaan dan sedimen coring yang diambil di daerah pesisir Banda Aceh yang terkena dampak tsunami menggunakan alat grab dan gravity core. Pengambilan sampel dilakukan pada tanggal 2-11 Mei 2007 dan tanggal 7-21 Juni 2008, total sampel diperoleh adalah 7 sedimen core dan 14 sedimen permukaan. Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 2. Sebagai pembandingan satu sedimen core diambil dari daerah pesisir barat Padang, Sumatera Barat yang merupakan daerah yang tidak terkena dampak tsunami. Untuk analisis tingkat cemaran polutan logam berat, seharusnya digunakan data kualitas lokal ataupun nasional. Akan

tetapi data tersebut belum tersedia maka digunakan Hong-kong Interim Sediment Quality Values (ISQV).



Gambar 1. Peta daerah pesisir Banda Aceh sebagai lokasi pengambilan sample untuk proyek kajian lingkungan paska tsunami RCA-UNDP (credit: SERTIT, post disaster map).



Gambar 2. Titik-titik sampling sediment dan airtanah di Banda Aceh yang disesuaikan dengan peta bumi google.

Sampel sedimen coring dipotong-potong tiap 2 cm. Selanjutnya seluruh sampel baik sedimen permukaan maupun sedimen core dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C selama kira-kira 3 hari. Sampel kering ditimbang untuk memperoleh nilai kandungan air dan porositas. Kemudian sedimen digerus hingga lolos ayakan 0,2 mm. Perlakuan selanjutnya adalah analisis butiran dengan metode pipet, analisis logam berat dengan metode aktivasi neutron dan analisis isotop alam Pb-210 untuk laju sedimentasi.

Analisis butiran dilakukan dengan terlebih dahulu mengayak sedimen dengan ukuran ayakan 0,063 mm (ayak kering) dan selanjutnya dilakukan pemipetan. Hasil analisis disampaikan dalam persentase pasir, lanau (silt) dan lempung (clay).

Analisis logam berat dengan metode aktivasi neutron, masing-masing sampel dan standar IAEA-405 ditimbang sekitar 200 mg dan dimasukkan ke dalam plastik polietilen, di bungkus rapat dan dikirim ke reaktor riset Siwabessy, Batan Serpong. Irradiasi dilakukan selama 20 menit dengan fluks 10^{13} neutron/cm².detik. Sampel yang sudah diaktivasi selanjutnya diukur dengan spektrometer gamma menggunakan detektor koaksial efisiensi 10% dan terhubung dengan multi saluran (*multi channel*), sehingga dapat mengukur sekitar 20 unsur dalam waktu yang sama.

Analisis isotop alam Pb-210 dilakukan pada sedimen core untuk mendapatkan laju sedimentasi/akumulasi. Masing-masing lapisan sedimen diambil 3 gram, ditambahkan tracer Po-209, didestruksi menggunakan asam kuat HCl, HNO₃ dan H₂O₂. Setelah melalui proses kimia, akhirnya dilakukan deposisi pada plat Cu. Selanjutnya diukur dengan spektrometer alpha menggunakan detektor PIPS (Passivated Implanted Planar Silicon) dengan luas area 450mm² dan resolusi antara 20 sampai 30 keV.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis distribusi butiran pada sedimen permukaan dapat dilihat pada table 1 dan gambar 3. Fraksi rata-rata pasir, lanau dan lempung adalah 63.09, 22.31, 14.60 pada sebelah barat, 39.86, 43.84, 15.34 pada bagian tengah dan 62.39, 27.71, 9.90 pada bagian timur pesisir Banda Aceh. Sedimen yang lebih halus (lanau dan lempung) lebih dominan terdapat di daerah tengah dibanding sebelah timur dan barat pesisir Banda Aceh dan juga lebih dominan di daerah yang dalam (*offshore*) di banding di daerah pinggir pantai (*onshore*).

Sampel sedimen coring dipotong-potong tiap 2 cm. Selanjutnya seluruh sampel baik sedimen permukaan maupun sedimen core dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C selama kira-kira 3 hari. Sampel kering ditimbang untuk memperoleh nilai kandungan air dan porositas. Kemudian sedimen digerus hingga lolos ayakan 0,2 mm. Perlakuan selanjutnya adalah analisis butiran dengan metode pipet, analisis logam berat dengan metode aktivasi neutron dan analisis isotop alam Pb-210 untuk laju sedimentasi.

Analisis butiran dilakukan dengan terlebih dahulu mengayak sedimen dengan ukuran ayakan 0,063 mm (ayak kering) dan selanjutnya dilakukan pemipetan. Hasil analisis disampaikan dalam persentase pasir, lanau (silt) dan lempung (clay).

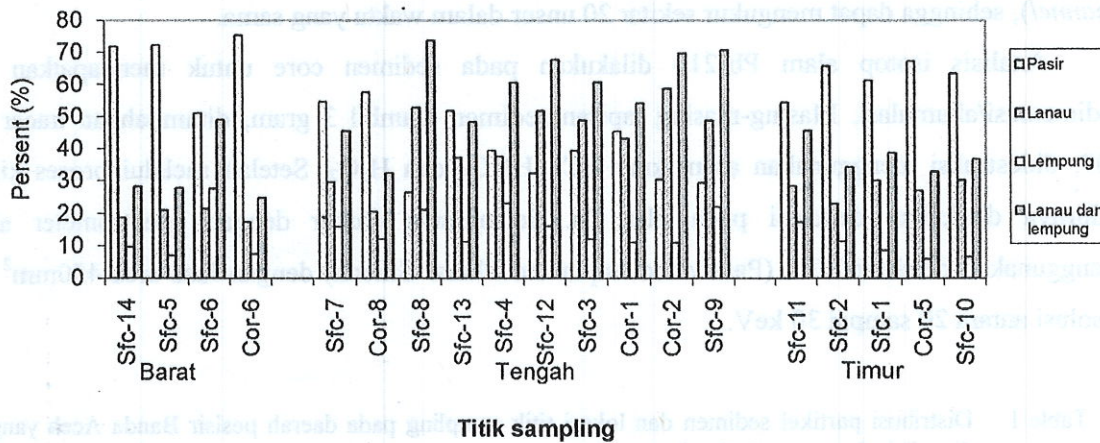
Analisis logam berat dengan metode aktivasi neutron, masing-masing sampel dan standar IAEA-405 ditimbang sekitar 200 mg dan dimasukkan ke dalam plastik polietilen, di bungkus rapat dan dikirim ke reaktor riset Siwabessy, Batan Serpong. Irradiasi dilakukan selama 20 menit dengan fluks 10^{13} neutron/cm².detik. Sampel yang sudah diaktivasi selanjutnya diukur dengan spektrometer gamma menggunakan detektor koaksial efisiensi 10% dan terhubung dengan multi saluran (*multi channel*), sehingga dapat mengukur sekitar 20 unsur dalam waktu yang sama.

Analisis isotop alam Pb-210 dilakukan pada sedimen core untuk mendapatkan laju sedimentasi/akumulasi. Masing-masing lapisan sedimen diambil 3 gram, ditambahkan tracer Po-209, didestruksi menggunakan asam kuat HCl, HNO₃ dan H₂O₂. Setelah melalui proses kimia, akhirnya dilakukan deposisi pada plat Cu. Selanjutnya diukur dengan spektrometer alpha menggunakan detektor PIPS (Passivated Implanted Planar Silicon) dengan luas area 450mm² dan resolusi antara 20 sampai 30 keV.

Table 1. Distribusi partikel sedimen dan lokasi titik sampling pada daerah pesisir Banda Aceh yang dianalisis dengan metode pipet.

Sedimen permukaan	Posisi		Fraksi butiran sedimen			Lokasi
	Lintang	Bujur	Pasir (%)	Lanau (%)	Lempung (%)	
1	5°36'30.00"N	95°20'43.00"E	61.3	30.12	8.58	Timur
2	5°36'15.00"N	95°20'15.00"E	65.76	22.93	11.31	Timur
3	5°35'01.86"N	95°18'47.42"E	39.31	48.73	11.96	Tengah
4	5°34'20.00"N	95°18'30.00"E	39.39	37.56	23.05	Tengah
5	5°33'40.00"N	95°16'40.00"E	72.22	20.89	6.89	Barat
6	5°34'03.23"N	95°15'59.20"E	51.04	21.39	27.57	Barat
7	5°34'33.23"N	95°16'59.20"E	54.60	29.60	15.80	Tengah
8	5°35'03.23"N	95°17'39.20"E	26.31	52.73	20.96	Tengah
9	5°36'13.23"N	95°18'59.20"E	29.31	48.73	21.96	Tengah
10	5°36'53.23"N	95°20'59.20"E	63.29	30.17	6.54	Timur
11	5°36'55.34"N	95°19'44.78"E	54.37	28.44	17.19	Timur
12	5°35'26.78"N	95°18'25.67"E	32.31	51.73	15.96	Tengah
13	5°34'31.06"N	95°17'43.62"E	51.77	37.11	11.12	Tengah
14	5°32'59.89"N	95°16'49.93"E	71.78	18.7	9.52	Barat
Sedimen core						
1	5°35'33.82"N	95°18'48.73"E	45.33	43.16	11.01	Tengah
2	5°35'12.42"N	95°18'49.01"E	30.31	58.73	10.96	Tengah
3	5°35'21.74"N	95°21'21.87"E	66.58	30.18	3.24	Timur
4	5°35'14.19"N	95°21'16.04"E	87.06	6.83	6.11	Timur
5	5°36'12.92"N	95°20'49.18"E	80.39	10.27	9.34	Timur
6	5°33'29.36"N	95°16'44.38"E	75.31	17.27	7.42	Barat
7	5°33'57.14"N	95°17'17.97"E	57.56	20.47	11.97	Tengah

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Dohmen-Janssen (2006) tentang jenis dan distribusi sedimen sebelum dan sesudah tsunami di daerah yang sama menyimpulkan bahwa sedimen di daerah pesisir Banda Aceh berasal dari daerah sekitarnya. Sehingga yang berada di daerah pesisir Banda Aceh adalah berasal dari daratan (up-land) dan hulu yang terbawa oleh sungai maupun gelombang tsunami. Distribusi sedimen sepanjang core dari permukaan hingga dasar juga dianalisis dan diperoleh jenis sedimen hampir sama dengan sedikit perbedaan yaitu lebih halus pada lapisan bawah.

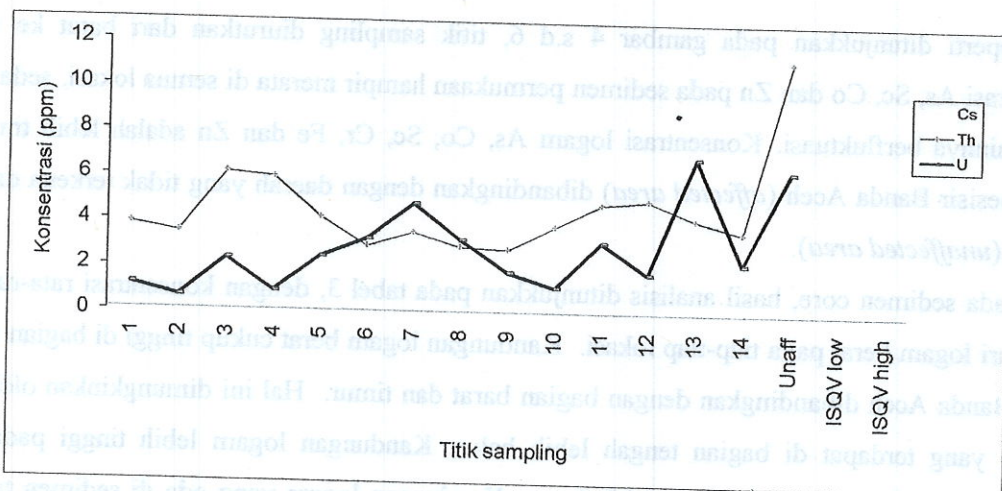


Gambar 3. Jenis butiran sedimen dan distribusi pada sedimen permukaan, (sf = permukaan, cor = coring)

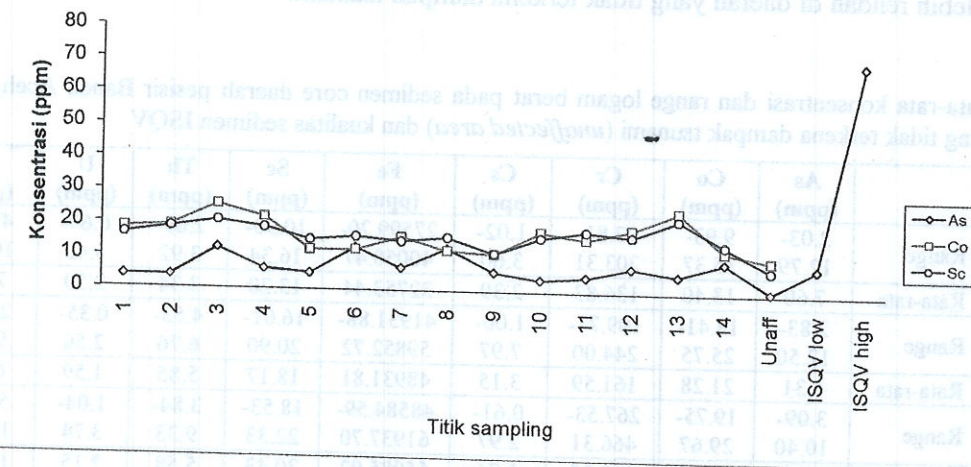
Table 2. Distribusi rata-rata sedimen core dan panjang sedimen yang diperoleh daerah pesisir Banda Aceh.

Core	Posisi		Panjang core (cm)	Rata-rata fraksi butiran (%)		
	Lintang	Bujur		Pasir	Lanau	Lempung
1	5°35'33.82"N	95°18'48.73"E	36	28.14	51.55	20.07
2	5°35'12.42"N	95°18'49.01"E	34	23.99	59.01	17.01
3	5°35'21.74"N	95°21'21.87"E	22	60.66	31.09	8.24
4	5°35'14.19"N	95°21'16.04"E	16	70.31	15.25	13.29
5	5°36'12.92"N	95°20'49.18"E	26	79.00	14.64	6.37
6	5°33'29.36"N	95°16'44.38"E	10	70.51	20.25	9.58
7	5°33'57.14"N	95°17'17.97"E	12	56.53	24.39	14.09

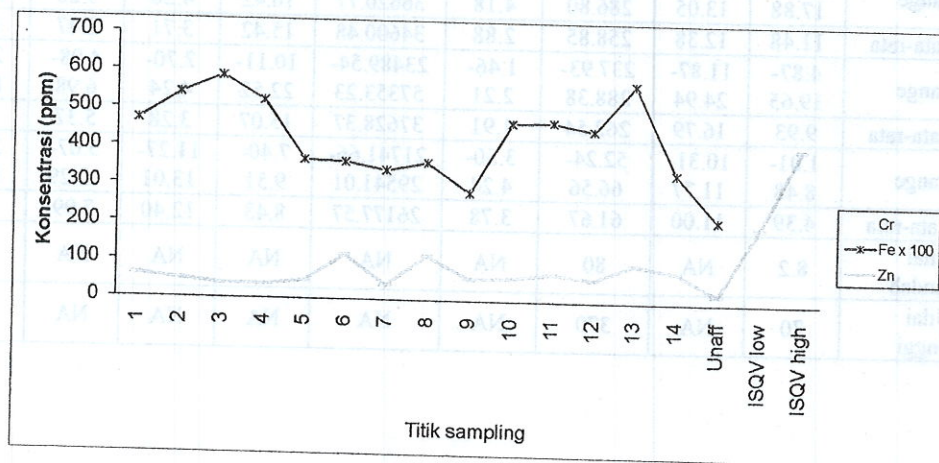
Kandungan logam berat ditentukan dengan metode aktivasi neutron. Logam berat yang diukur adalah As, Co, Cr, Cs, Fe, Sc, Th, U, dan Zn pada sedimen permukaan dan sedimen core. Hasil analisis logam berat pada sedimen permukaan dapat dilihat pada gambar 4, 5 dan 6, dan pada sedimen core dapat dilihat pada gambar 7, 8 dan 9.



Gambar 4. Konsentrasi logam Cs, Th dan U dalam sedimen permukaan daerah yang terkena dampak tsunami Banda Aceh, daerah yang tidak terkena dampak dan kualitas sedimen ISQV.



Gambar 5. Konsentrasi logam As, Co dan Sc dalam sedimen permukaan daerah yang terkena dampak tsunami Banda Aceh, daerah yang tidak terkena dampak dan kualitas sedimen ISQV.



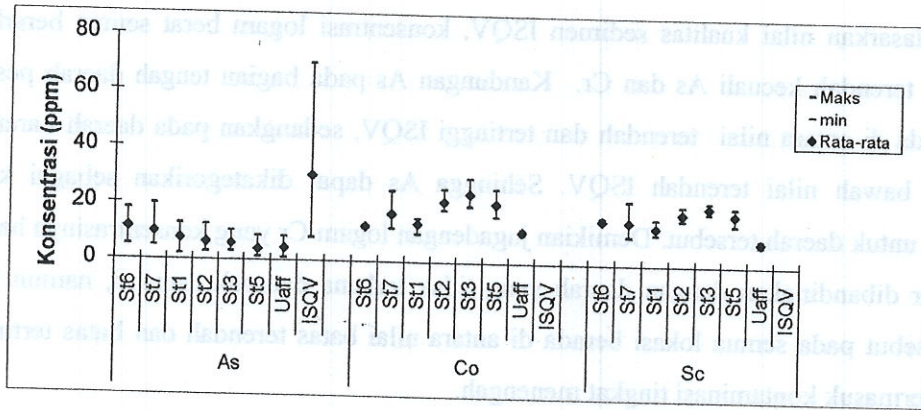
Gambar 6. Konsentrasi logam Cr, Fe dan Zn dalam sedimen permukaan daerah yang terkena dampak tsunami Banda Aceh, daerah yang tidak terkena dampak dan kualitas sedimen ISQV.

Seperti ditunjukkan pada gambar 4 s.d 6, titik sampling diurutkan dari barat ke timur. Konsentrasi As, Sc, Co dan Zn pada sedimen permukaan hampir merata di semua lokasi, sedangkan logam lainnya berfluktuasi. Konsentrasi logam As, Co, Sc, Cr, Fe dan Zn adalah lebih tinggi di daerah pesisir Banda Aceh (*affected area*) dibandingkan dengan daerah yang tidak terkena dampak tsunami (*unaffected area*).

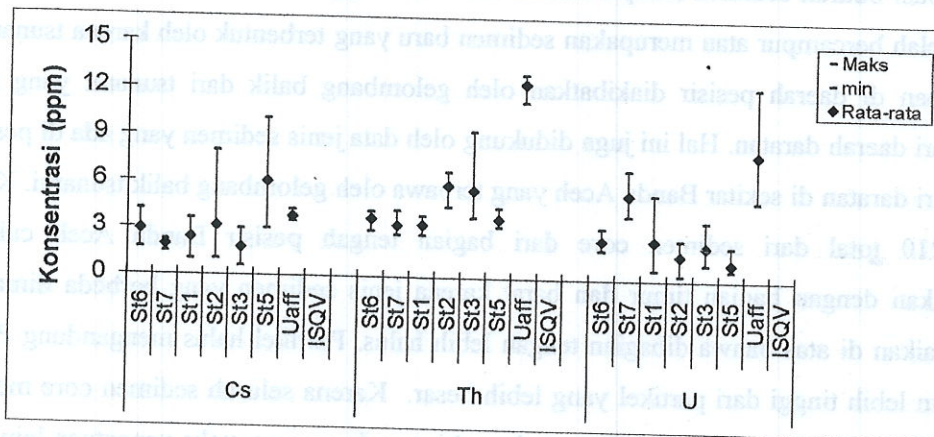
Pada sedimen core, hasil analisis ditunjukkan pada tabel 3, dengan konsentrasi rata-rata dan range dari logam berat pada tiap-tiap lokasi. Kandungan logam berat cukup tinggi di bagian tengah pesisir Banda Aceh dibandingkan dengan bagian barat dan timur. Hal ini dimungkinkan oleh jenis sedimen yang terdapat di bagian tengah lebih halus. Kandungan logam lebih tinggi pada jenis sedimen halus dibanding jenis yang lebih kasar. Kandungan logam yang ada di sedimen tersebut kemungkinan terbawa oleh sungai Krueng Aceh. Konsentrasi rata-rata logam As, Co, Sc, Cr, Fe dan Zn lebih tinggi jika dibandingkan dengan daerah yang tidak terkena dampak tsunami, sedangkan Cs, Th dan U lebih rendah di daerah yang tidak terkena dampak tsunami.

Table 3. Rata-rata konsentrasi dan range logam berat pada sedimen core daerah pesisir Banda Aceh, daerah yang tidak terkena dampak tsunami (*unaffected area*) dan kualitas sedimen ISQV.

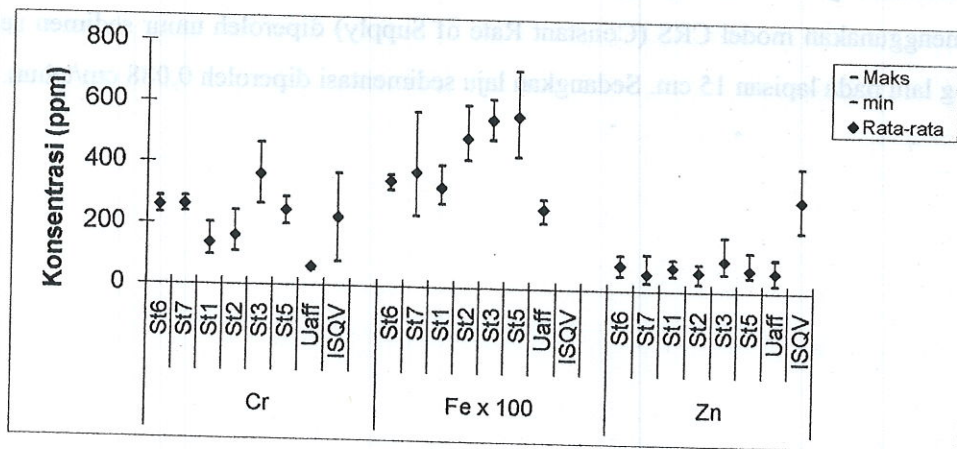
Core		As (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cs (ppm)	Fe (ppm)	Sc (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)	Zn (ppm)
1	Range	2.03-12.79	9.93-15.37	97.81-203.31	1.02-3.60	27599.20-40050.47	10.90-16.34	2.69-3.92	0.69-5.42	49.17-103.88
	Rata-rata	7.60	13.40	136.83	2.39	32753.44	13.20	3.34	2.50	78.28
2	Range	2.83-12.50	18.41-25.75	109.71-244.00	1.06-7.97	41931.88-59852.72	16.01-20.90	4.53-6.76	0.35-2.56	24.50-91.05
	Rata-rata	6.31	21.28	161.59	3.15	48931.81	18.17	5.85	1.59	63.52
3	Range	3.09-10.40	19.75-29.67	267.53-466.31	0.61-2.97	48584.59-61937.70	18.53-22.33	3.84-9.33	1.04-3.74	59.27-180.58
	Rata-rata	5.85	24.14	362.25	1.76	55085.92	20.43	5.58	2.15	102.67
5	Range	1.32-8.62	16.32-25.95	201.00-289.00	3.00-10.06	43277.93-71446.87	14.42-20.60	3.28-4.50	0.67-2.16	48.58-131.37
	Rata-rata	3.95	20.73	246.35	6.02	56325.89	17.96	3.76	1.09	72.35
6	Range	5.16-17.88	11.66-13.05	233.97-286.80	1.71-4.18	31752.58-36620.77	14.92-16.42	2.95-4.20	1.88-3.26	47.58-116.96
	Rata-rata	11.48	12.38	258.85	2.88	34600.48	15.42	3.71	2.47	83.02
7	Range	4.87-19.65	11.87-24.94	237.93-288.38	1.46-2.21	23489.54-57353.23	10.11-22.52	2.70-4.24	4.08-6.98	27.59-120.74
	Rata-rata	9.93	16.79	262.54	1.91	37628.37	15.07	3.28	5.37	57.04
Unaffected area	Range	1.01-8.48	10.31-11.77	52.24-66.56	3.50-4.24	21741.66-29541.01	7.40-9.51	11.27-13.01	5.07-12.29	23.97-109.08
	Rata-rata	4.39	11.00	61.67	3.78	26177.57	8.43	12.40	7.99	63.84
Hong Kong	Nilai rendah	8.2	NA	80	NA	NA	NA	NA	NA	200
	Nilai tinggi	70	NA	370	NA	NA	NA	NA	NA	410



Gambar 7. Kandungan rata-rata dan range logam As, Co dan Sc pada sedimen coring daerah pesisir Banda Aceh (affected area), yang tidak terkena dampak tsunami (unaffected area) dan kualitas sedimen Hong-Kong (ISQV).



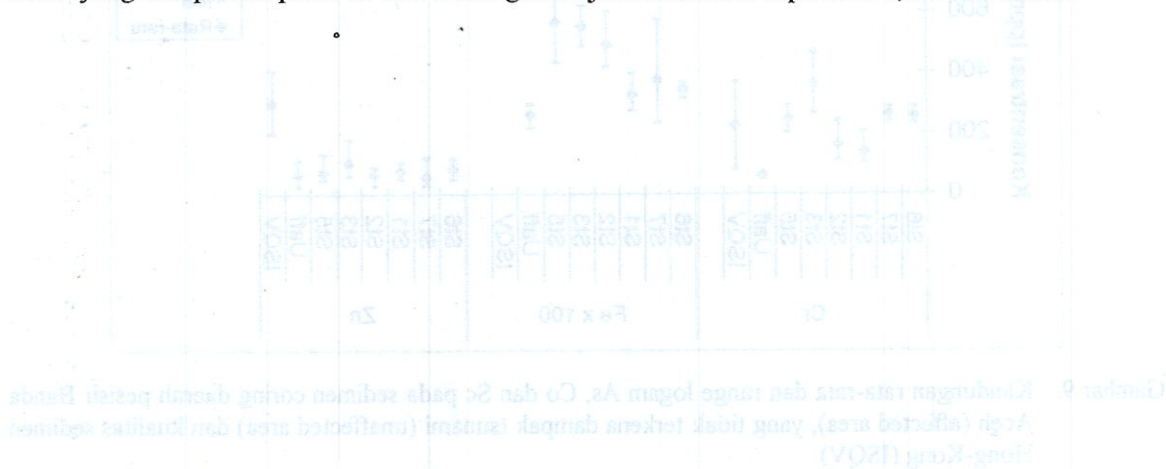
Gambar 8. Kandungan rata-rata dan range logam As, Co dan Sc pada sedimen coring daerah pesisir Banda Aceh (affected area), yang tidak terkena dampak tsunami (unaffected area) dan kualitas sedimen Hong-Kong (ISQV).

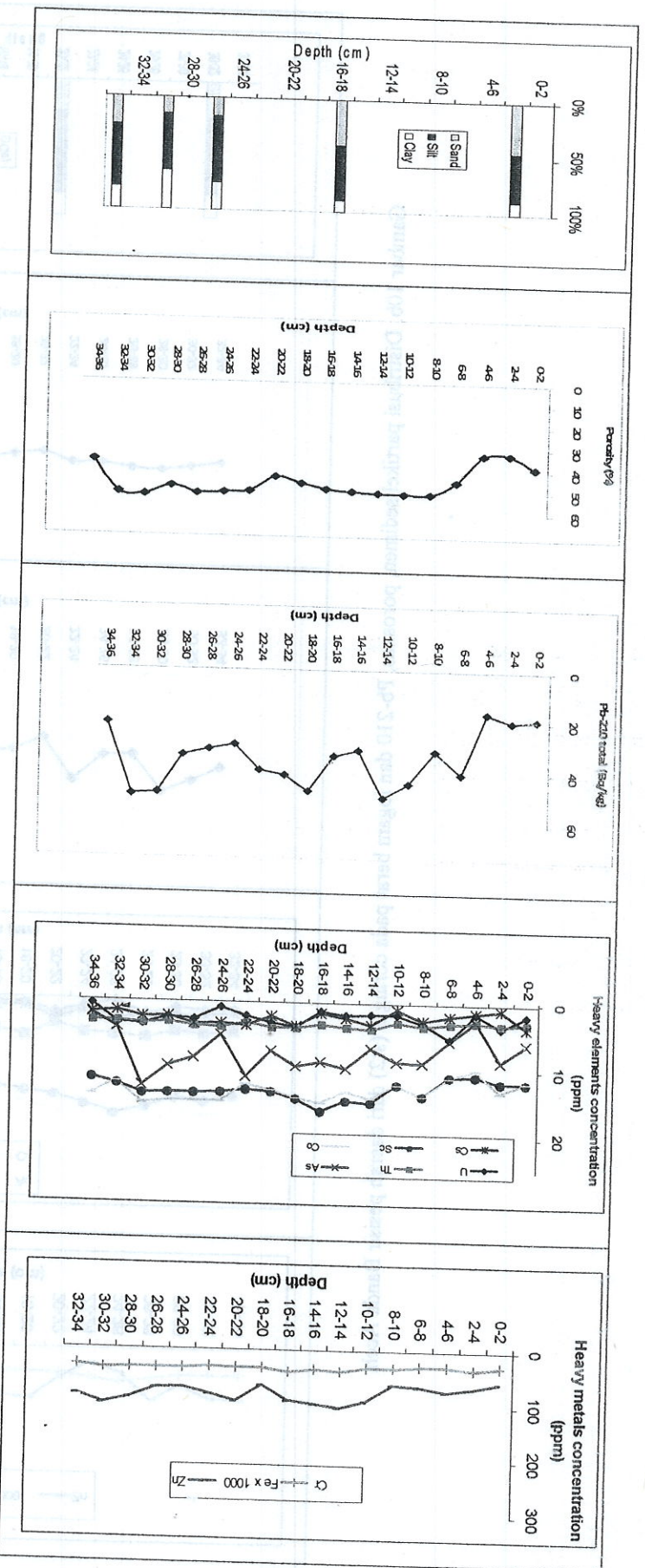


Gambar 9. Kandungan rata-rata dan range logam As, Co dan Sc pada sedimen coring daerah pesisir Banda Aceh (affected area), yang tidak terkena dampak tsunami (unaffected area) dan kualitas sedimen Hong-Kong (ISQV).

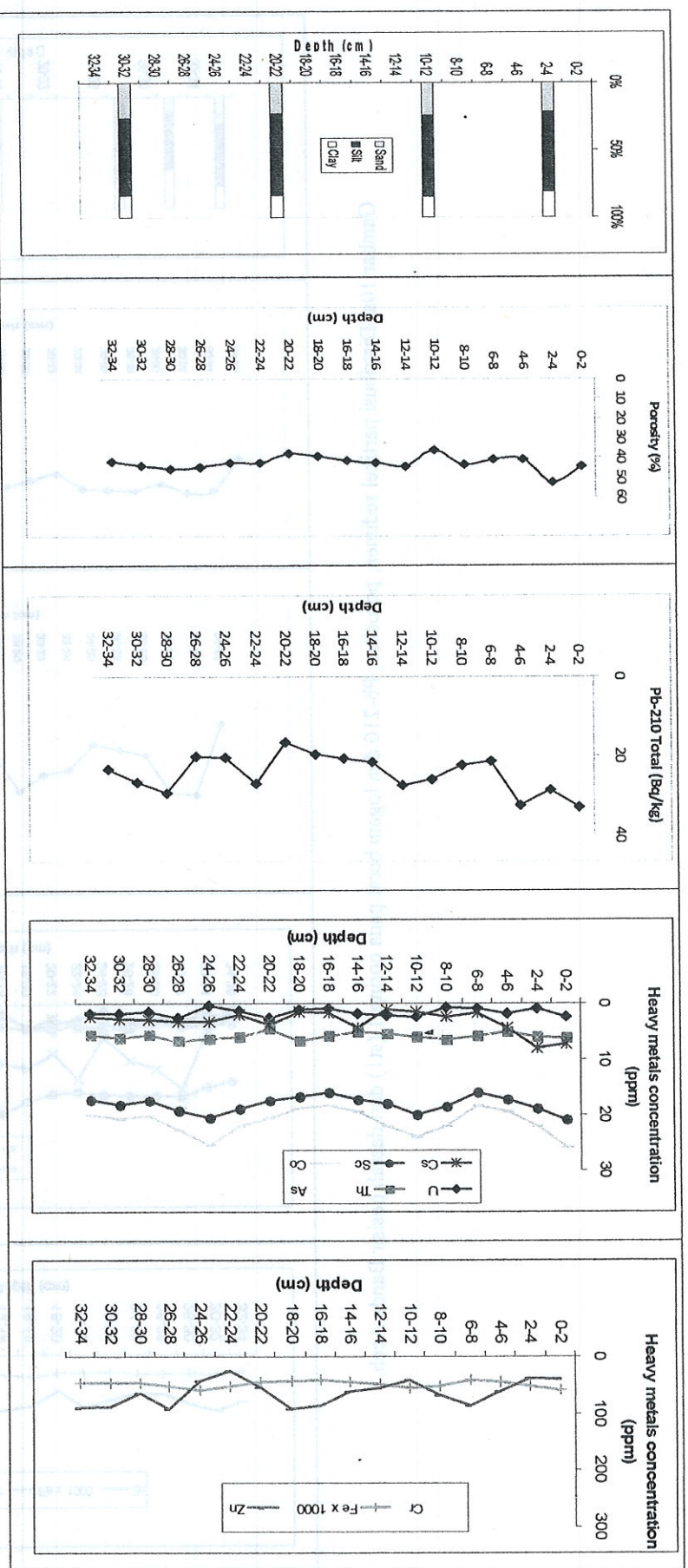
Berdasarkan nilai kualitas sedimen ISQV, konsentrasi logam berat semua berada dibawah nilai batas terendah kecuali As dan Cr. Kandungan As pada bagian tengah daerah pesisir Banda Aceh berada di antara nilai terendah dan tertinggi ISQV, sedangkan pada daerah barat dan timur berada di bawah nilai terendah ISQV. Sehingga As dapat dikategorikan sebagai kontaminasi menengah untuk daerah tersebut. Demikian jugadengan logam Cr yang konsentrasinya hampir 3 kali lebih besar dibandingkan dengan daerah yang tidak terkena dampak tsunami, namun konsentrasi logam tersebut pada semua lokasi berada di antara nilai batas terendah dan batas tertinggi ISQV, sehingga termasuk kontaminasi tingkat menengah.

Profil Pb-210 dalam sedimen ditunjukkan pada gambar 10a sampai 10f. Seluruh sedimen core menunjukkan profile yang berfluktuasi dari atas hingga ke dasar core. Demikian juga porositas dan distribusi butiran sedimen hampir merata dari atas hingga ke dasar core. Hal ini menunjukkan sedimen telah bercampur atau merupakan sedimen baru yang terbentuk oleh karena tsunami. Proses pengendapan di daerah pesisir diakibatkan oleh gelombang balik dari tsunami yang membawa lumpur dari daerah daratan. Hal ini juga didukung oleh data jenis sedimen yang ada di pesisir pantai berasal dari daratan di sekitar Banda Aceh yang terbawa oleh gelombang balik tsunami. Konsentrasi dari Pb-210 total dari sedimen core dari bagian tengah pesisir Banda Aceh cukup tinggi dibandingkan dengan bagian timur dan barat karena jenis sedimen yang berbeda dimana seperti yang diuraikan di atas bahwa dibagian tengah lebih halus. Partikel halus mengandung Pb-210 dan juga logam lebih tinggi dari partikel yang lebih besar. Karena seluruh sedimen core menunjukkan profile Pb-210 yang berfluktuasi dari permukaan hingga dasar core maka penentuan laju akumulasi dan umur sedimen tidak dapat ditentukan dengan metode Pb-210. Sementara itu profile Pb-210 sebagai pembanding dari daerah yang tidak terkena dampak tsunami dapat dilihat pada gambar 11. Dengan menggunakan model CRS (Constant Rate of Supply) diperoleh umur sedimen sekitar 170 tahun yang lalu pada lapisan 15 cm. Sedangkan laju sedimentasi diperoleh 0,088 cm/tahun.

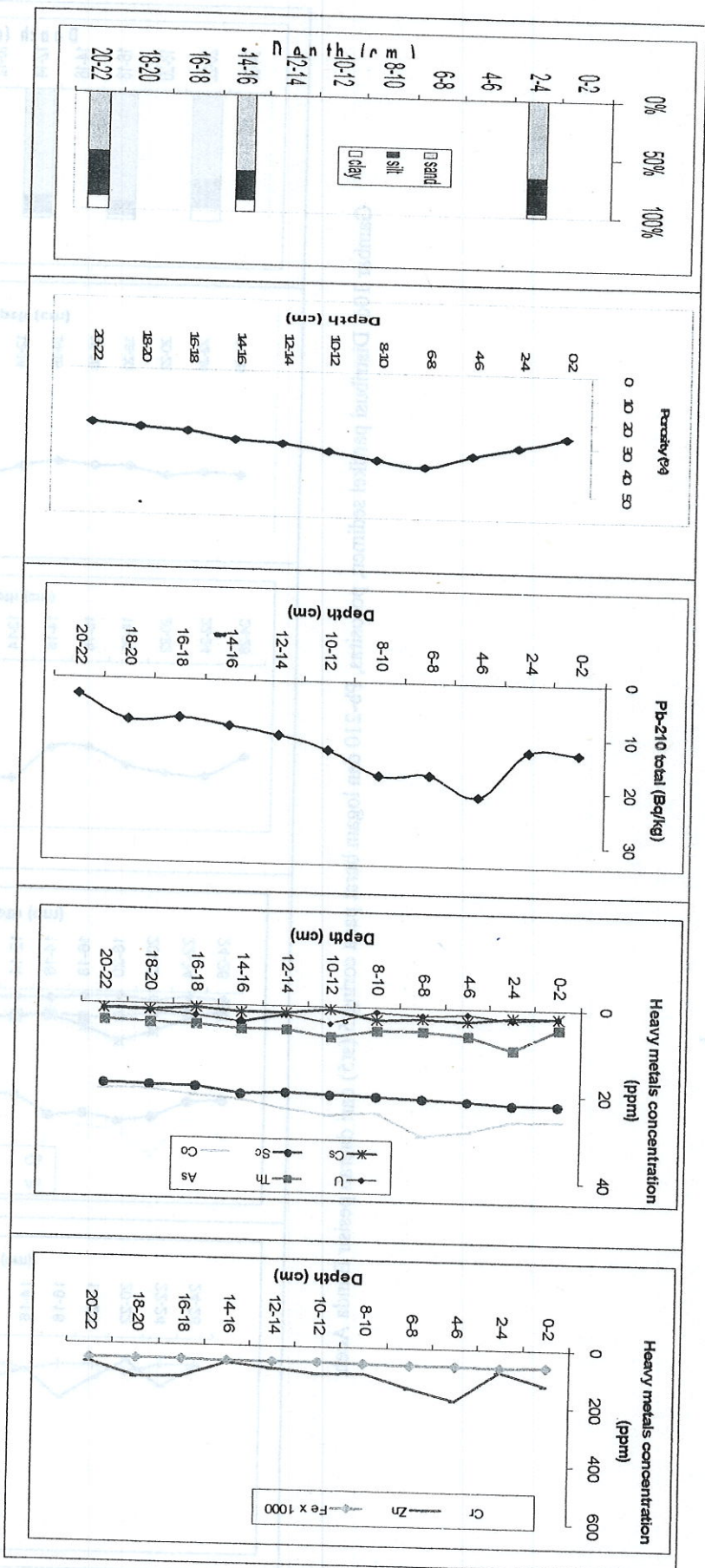




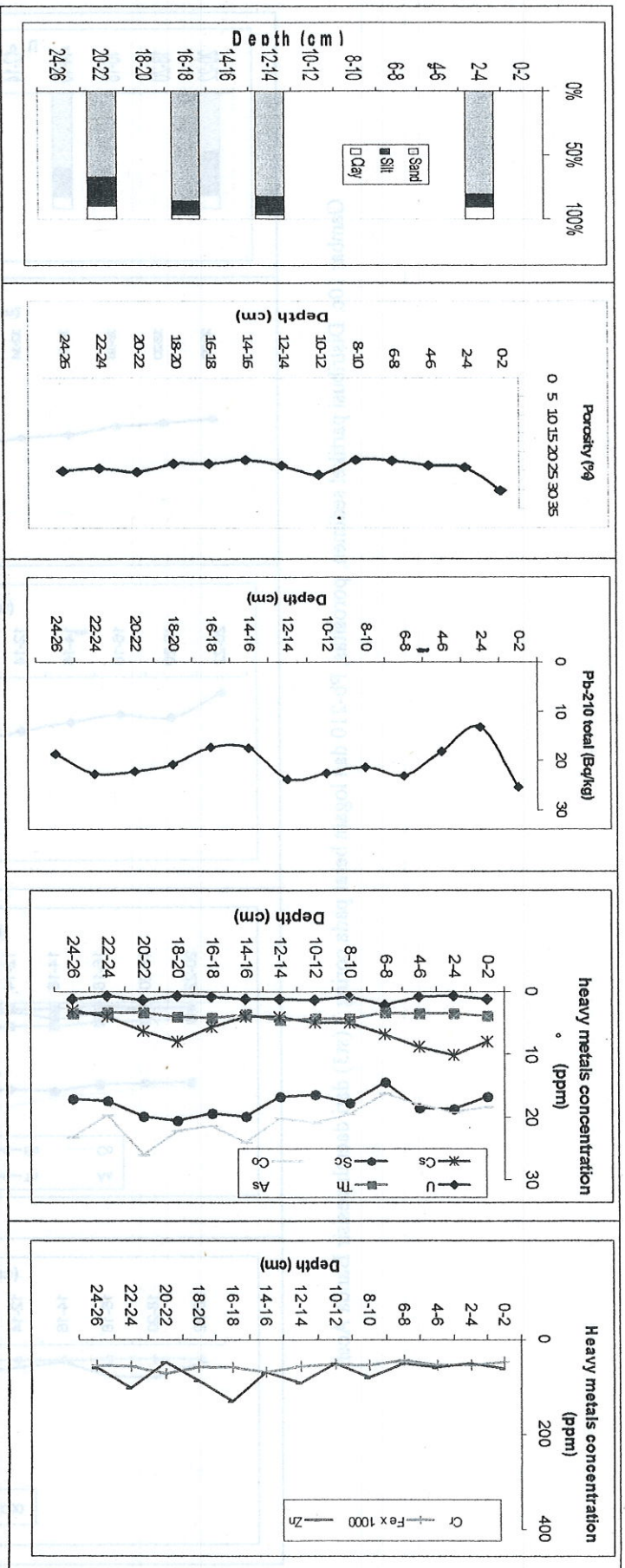
Gambar 10a. Distribusi partikel sedimen, porositas, Pb-210 dan logam berat pada coring 1 (st1) dari daerah pesisir Banda Aceh.



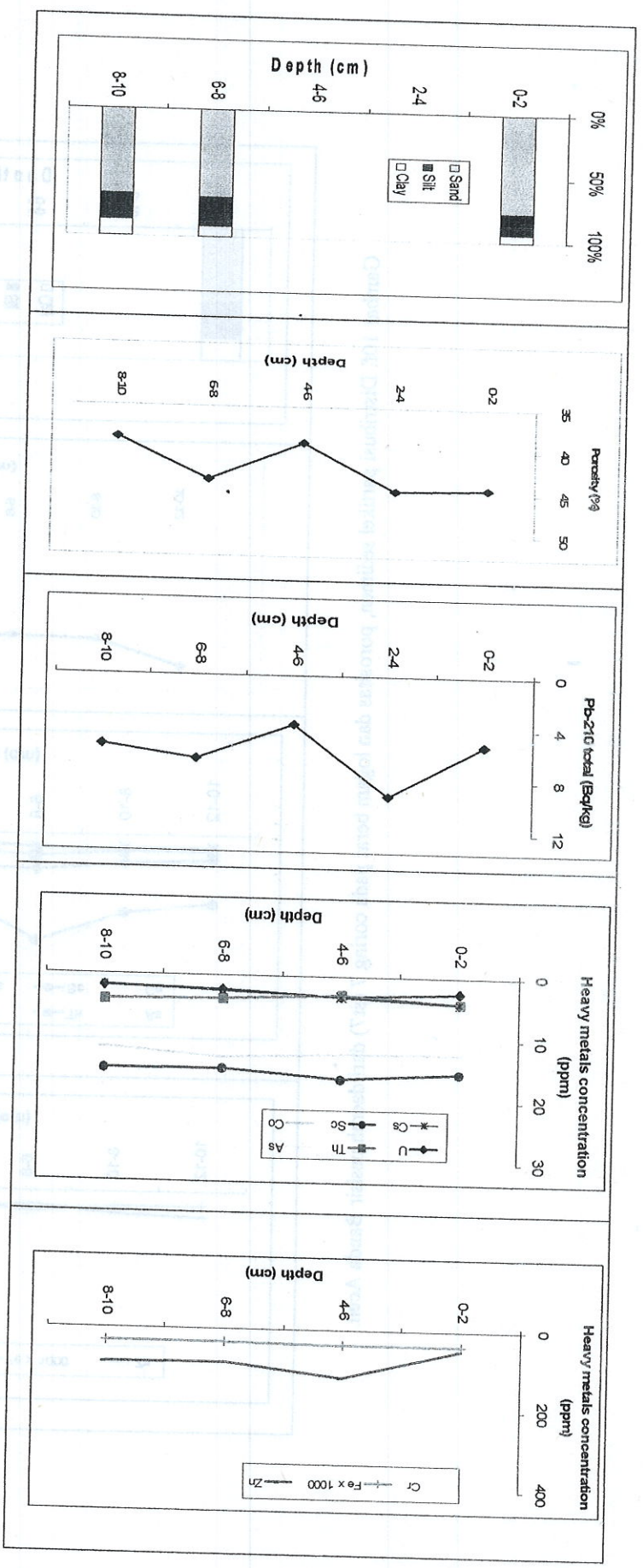
Gambar 10b. Distribusi partikel sedimen, porositas, Pb-210 dan logam berat pada coring 2 (st2) dari daerah pesisir Banda Aceh.



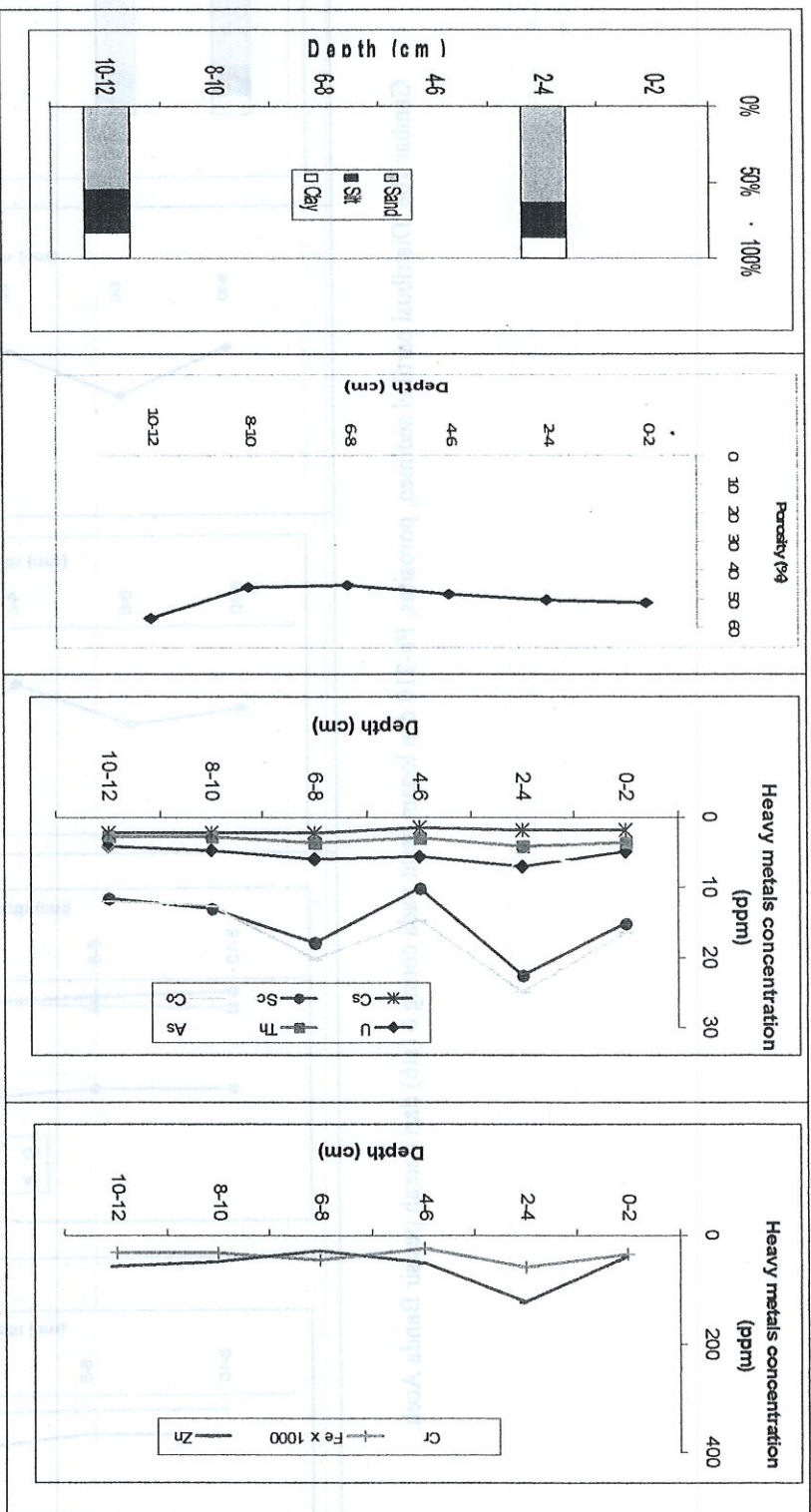
Gambar 10c. Distribusi partikel sedimen, porositas, Pb-210 dan logam berat pada coring 3 (st3) dari daerah pesisir Banda Aceh.



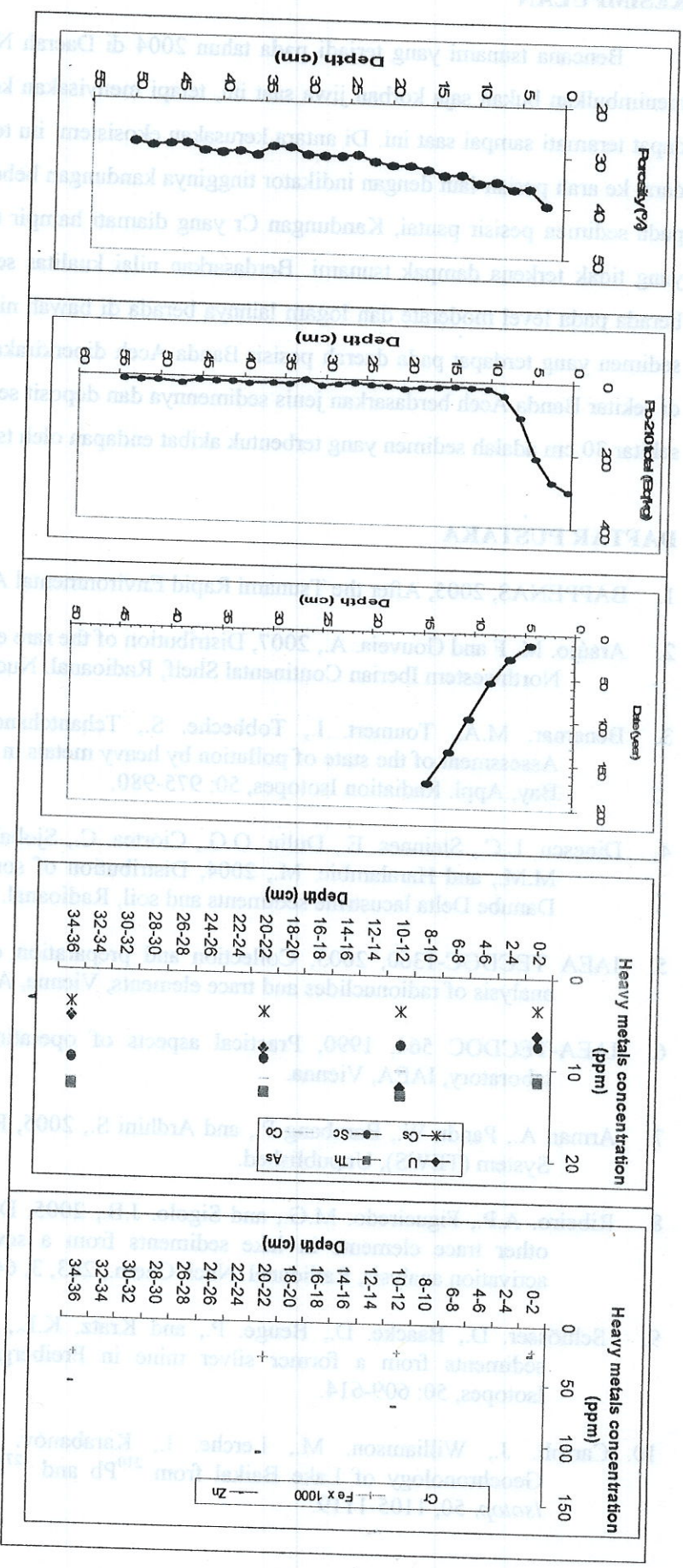
Gambar 10d. Distribusi partikel sedimen, porositas, Pb-210 dan logam berat pada coring 5 (st5) dari daerah pesisir Banda Aceh.



Gambar 10e. Distribusi partikel sedimen, porositas, Pb-210 dan logam berat pada coring 6 (st6) dari daerah pesisir Banda Aceh.



Gambar 10f. Distribusi partikel sedimen, porositas dan logam berat pada coring 7 (st7) dari daerah pesisir Banda Aceh.



Gambar 11. Porositas, Pb-210, umur sedimen dan logam berat pada coring 1 (st1) dari daerah pesisir Padang (*unaffected area*).

KESIMPULAN

Bencana tsunami yang terjadi pada tahun 2004 di Daerah Nangroe Aceh Darussalam telah menimbulkan bukan saja korban jiwa saat itu, tetapi menyisakan kerusakan ekosistem yang masih dapat teramati sampai saat ini. Di antara kerusakan ekosistem itu terjadinya angkutan polutan dari darat ke arah pesisir laut dengan indikator tingginya kandungan beberapa logam terutama As dan Cr pada sedimen pesisir pantai, Kandungan Cr yang diamati hampir tiga kali lebih besar dari daerah yang tidak terkena dampak tsunami. Berdasarkan nilai kualitas sedimen ISQV, maka As dan Cr berada pada level moderate dan logam lainnya berada di bawah nilai terendah dari ISQV. Lapisan sedimen yang terdapat pada daerah pesisir Banda Aceh diperkirakan berasal dari daratan yang ada di sekitar Banda Aceh berdasarkan jenis sedimennya dan deposit sedimen yang terakumulasi hingga sekitar 30 cm adalah sedimen yang terbentuk akibat endapan oleh tsunami.

DAFTAR PUSTAKA

1. BAPPENAS, 2005, After the Tsunami Rapid Environmental Assessment, Report.
2. Araújo. M. F and Gouveia. A., 2007, Distribution of the rare earth elements in sediments of the Northwestern Iberian Continental Shelf, *Radioanal. Nucl. Chem.*, 271, 2, 255-260.
3. Benamar. M.A., Toumert. I., Tobbeche. S., Tchantchane. A., and Chalabi. A., 1999. Assessment of the state of pollution by heavy metals in the surficial sediments of Algiers Bay, *Appl. Radiation Isotopes*, 50: 975-980.
4. Dinescu. L.C., Steinnes. E., Dului. O.G., Ciortea. C., Sjøbakk. T.E., Dumitriu. D.E., Gugiu. M.M., and Haralambie. M., 2004, Distribution of some majors and trace elements in Danube Delta lacustrine sediments and soil, *Radioanal. Nucl. Chem.*, 262, 2, 345-354.
5. IAEA TECDOC-1360, 2003, Collection and preparation of bottom sediment samples for analysis of radionuclides and trace elements, Vienna, Austria.
6. IAEA-TECDOC 564, 1990, Practical aspects of operating a neutron activation analysis laboratory, IAEA, Vienna.
7. Arman A., Pandu W., Bambang P., and Ardhini S., 2005, Report of Tsunami Early Warning System (TEWS), Unpublished.
8. Ribeiro. A.P., Figueiredo. M.G., and Sigolo. J.B., 2005, Determination of heavy metals and other trace elements in lake sediments from a sewage treatment plant by neutron activation analysis, *Radioanal. Nucl. Chem.*, 263, 3, 645-651.
9. Schlösser. D., Baacke. D., Beuge. P., and Kratz. K.L., 1999, Elemental composition of sediments from a former silver mine in Freiberg/East Germany, *Appl. Radiation Isotopes*, 50: 609-614.
10. Carroll. J., Williamson. M., Lerche. I., Karabanov. E. and Williams. D.F., 1999, Geochronology of Lake Baikal from ^{210}Pb and ^{137}Cs radioisotopes, *Appl. Radiation Isotop*, 50, 1105-1119.

11. Crickmore. M.J., Tazioli. G.S., Appleby. P.G, and Oldfield. F., 1990, The use of Nuclear Techniques in Sediment Transport and Sedimentation Problems, International Hydrological Programme, UNEŞCO, Paris, 131-147.
12. Gelen. A., Diaz. O., Simon. M.J., Herrera. E., Soto. J., Gomez. J., Rodenas. J., Beltran. J. and Ramirez. M., 2003, ^{210}Pb dating of sediments from Havana Bay, *J. Radioanal Nuclear Chem.*, 256 (3), 561-564.
13. Hancock. G.J, and Hunter. J.R., 1999, Use of excess ^{210}Pb and ^{228}Th to estimate rates of sediment accumulation and bioturbation in Port Philip Bay, Australia, *Mar Freshwat Res.*, 50: 533-545.
14. Larizzatti. F.E, Favaro. D.I.T., Moreira. S.R.D., Mazzilli. B.P., and Piovano. E.L., 2001, Multielemental determination by instrumental neutron activation analysis and recent sedimentation rates using ^{210}Pb dating method at Laguna de Plata, Cordoba, Argentina, *J. Radioanal Nuclear Chem.*, 249 (1), 263-268.
15. Arman A. and Aliyanta. B., 2006. Preliminary study of sediment ages and accumulation rates in Jakarta Bay derived from depth profiles of unsupported ^{210}Pb , *Indo. J. Chem*, 6(3), 256-260.
16. Arman A, 2007, CRS Model for Determining the Sediment Accumulation Rates in the Coastal Area Using ^{210}Pb , *J. of Coastal Development*, University of Diponegoro, Indonesia.
17. Arman A., Yatim. S., Aliyanta. B., dan Menry. Y., 2004, Estimasi laju akumulasi sedimen daerah Teluk Jakarta dengan teknik radionuklida alam unsupported ^{210}Pb , Prosiding Seminar Ilmiah Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN.
18. Arman A., 2007, Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA) Cisadane Estuary Sediments, *J. Natur Indonesia*, University of Riau, Indonesia.
19. Sanchez-Cabeza. J.A., Masque. P., Ani-Ragolta. I., Merino. J., Frignani. M., Alvisi. F., Palanques. A. and Puig. P., 1999, Sediment accumulation rates in the southern Barcelona continental margin (NW Mediteranean Sea) derived from ^{210}Pb and ^{137}Cs chronology, *Prog Oceanogr*, 44, 313-332.
20. Reichelt-Brushett. A.J and McOrist. G, 2003, Trace metals in the living and nonliving components of scleractinian corals, *Marine Pollution Bulletin*, 46, 1573-1582.
21. Umitsu. M., Tanavud, C., and Patanakanog, B., 2007, Effect of Landforms on Tsunami Flow in the Plains of Banda Aceh, Indonesia, and Nam Khem, Thailand, *Marine Geology*, 242, 141-153.
22. Chapman, P.M., Allard, P.J, and Vigers, G. A, 1999, Development of Sediment Quality Values for Hong Kong Special Administrative Region: A Possible Model for Other Jurisdictions, *Viewpoint, Marine Pollution Bulletin* 38, 3, 161-169.
23. After the Tsunami, Rapid Environmental Assessment, 2005, Ministry of Environment of Indonesia.
24. Directorate of Water Resources for Western Region, Ministry of Public Works, Indonesia, 2002, Project evaluation report.

25. Sombrito, E.Z., Sta Maria, E. J., Bulos, A. dM., Marcarinas, R., and Balog, R., 2007, Use of Isotopic Tracers in Assessing the Coastal Impact of Tsunami in Mondoro, Philippines, Country Progress Report of RCA-UNDP Post Tsunami Environmental Impact Assessment Project.

26. Dohmen-Janssen, C.M., Meilianda, E., Maathuis, B.H.P, and Wong, P.P., 2006, State of Banda Aceh Beach Before and After the Tsunami, International Conference on Coastal Eng, San Diego, California, USA.