

KANDUNGAN LOGAM BERAT (Co, Cr, Cs, As, Sc, DAN Fe) DALAM SEDIMEN DI KAWASAN PESISIR SEMENANJUNG MURIA

Heni Susiati*, Ali Arman** dan Yarianto SBS.*

* Pusat Pengembangan Energi Nuklir – BATAN

Jalan Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan, Telepon: 021 5204243

heni_susiati@batan.go.id

**Pusat Aplikasi Teknologi dan Isotop RADiasi

ABSTRAK

KANDUNGAN LOGAM BERAT (Co, Cr, Cs, As, Sc, DAN Fe) DALAM SEDIMEN DI KAWASAN PESISIR SEMENANJUNG MURIA. Pengukuran kandungan logam berat Co, Cr, Cs, As, Sc, dan Fe dalam sedimen telah dilakukan untuk pemutahiran data logam berat di perairan pesisir Semenanjung Muria. Penelitian ini merupakan salah satu aspek evaluasi kondisi lingkungan pada lokasi tapak rencana pembangunan PLTN dan evaluasi lingkungan setelah beroperasinya PLTU Tanjungjati B. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengantisipasi perubahan data rona awal yang diakibatkan oleh masukan kontaminan baik dari daratan maupun dari laut. Lokasi sampling dilakukan pada titik koordinat antara 110°48'28,5" Bujur Timur; 06°24'51,0" Lintang Selatan sampai 110°49'45,0" Bujur Timur; 06°24'40,0" Lintang Selatan. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode coring. Analisis logam berat dilakukan dengan metode AAN (Analisis Aktioasi Netron). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat Co, Cr, Cs, As, Sc, dan Fe di sedimen perairan Semenanjung Muria rata-rata berkisar antara 15,5 – 17,4 ppm untuk logam Co; 44,2 – 56,2 ppm untuk logam Cr; 5,1 – 5,8 ppm untuk logam Cs; 9,6 – 12,9 ppm untuk logam As; 15,7 – 18,4 ppm untuk logam Sc; dan 44,7 – 47,5 ppm untuk logam Fe.

Kata kunci: logam berat, sedimen, PLTN, PLTU, dan AAN.

ABSTRACT

CONTENT OF HEAVY METALS (Co, Cr, Cs, As, Sc, AND Fe) IN SEDIMENT AT MURIA PENINSULA COASTAL. Measurement of heavy metals that containing of Co, Cr, Cs, As, Sc, and Fe have been done for updating heavy metals data in Muria Peninsula coastal. This research is one of aspect of environmental condition evaluation at NPP site and an evaluation of environmental after operation of Tanjungjati CPP. (Coal Power Plant). The objective of this research is to anticipate change of environmental profile data resulting from contaminant both from land and marine base source pollution. Sediment sample was obtained from coastal waters at Muria Peninsula, Jepara, that located between ranged 110°56'06.7"- 110°44'01.7" (E) and 06°23'99.3"- 06°25'49.1"(S). Sampling method was carried by using coring methods. While the analysis of heavy metal was carried out by using NAA (Neutron Activation Analysis). The result showed that the concentration of Co, Cr, Cs, As, Sc, and Fe in Muria Peninsula coastal sediment have average contents of 15,5 – 17,4 ppm; 44,2 – 56,2 ppm; 5,1 – 5,8 ppm; 9,6 – 12,9 ppm; 15,7 – 18,4 ppm; and 44,7 – 47,5 ppm respectively.

Key word: heavy metal, sediment, NPP, CPP, and NAA.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri yang semakin pesat, selain bertujuan meningkatkan kesejahteraan juga mempunyai dampak negatif yang dapat berpengaruh terhadap kerusakan lingkungan yang akhirnya akan berdampak pada manusia. Pada umumnya sebagian industri memanfaatkan perairan sebagai tempat pembuangan limbah, sehingga baik langsung maupun tidak langsung akan mengganggu keseimbangan ekologis perairan.

Pemantauan lingkungan dibutuhkan untuk menyediakan data *baseline* pembangunan PLTN di Semenanjung Muria. Hal ini sangat penting untuk data studi Kelayakan yang dilakukan oleh Newjec pada tahun 1992 memutakhirkan akibat perubahan rona lingkungan di Semenanjung Muria tersebut^[1].

Pesatnya pembangunan serta pertumbuhan industri non nuklir lainnya seperti penambangan pasir besi dan beroperasinya PLTU Batubara Tanjungjati dan sebagainya, evaluasi lingkungan di daerah tersebut tetap harus dilaksanakan. Pertumbuhan industri non nuklir selalu diiringi dengan masalah pembuangan limbah industri yang mencemari lingkungan. Limbah industri yang dibuang biasanya mengandung logam berat yang cukup tinggi.

Logam berat seperti Co, Cr, Cs, As, Sc dan Fe jika dibuang ke lingkungan akan terakumulasi dan merusak baik secara langsung maupun tidak langsung makhluk hidup terutama manusia. Akumulasi logam berat pada tubuh manusia dapat terjadi baik secara langsung maupun tidak langsung. Terakumulasinya logam berat dalam tubuh akan merusak kesehatan manusia, misalnya Cr (chrom) dapat merusak organ hati dan ginjal dan juga bersifat kumulasi sebagai racun protoplasma^{[2][3]}.

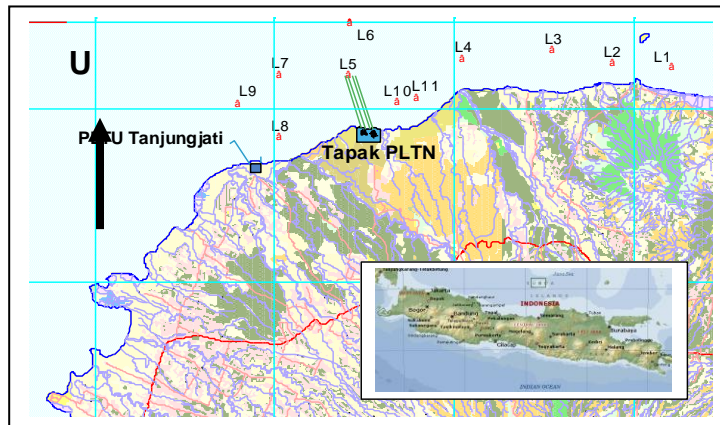
Pada penelitian ini dilakukan pemantauan kandungan logam berat Co, Cr, Cs, As, Sc dan Fe pada sedimen perairan laut dengan kedalaman sampai 25 cm. Penentuan kandungan logam berat tersebut dilakukan pada 3 titik lokasi pengambilan sampel dengan *coring* yang diambil berdasarkan pertimbangan lokasi *intake* dan letak muara sungai di sepanjang perairan pantai Semenanjung Muria. Data yang diperoleh merupakan indikator tempat terakumulasinya polutan tersebut. Berdasarkan hasil evaluasi kandungan logam berat sedimen di perairan pantai, diharapkan dapat ditentukan tingkat pencemaran logam berat akibat kegiatan manusia di daerah tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memutakhirkan data rona awal logam berat di lingkungan perairan Semenanjung Muria. Pemantauan logam berat tersebut untuk mengantisipasi kemungkinan adanya perubahan data rona awal akibat sudah beroperasinya PLTU kurang lebih satu tahun sebelumnya dan aktivitas industri yang mengapit wilayah Semenanjung Muria^[4].

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian adalah Semenanjung Muria, Jepara, yang secara geografis terletak pada posisi 110°56'06,7" sampai 110°44'01,7" Bujur Timur dan 06°23'99,3" sampai 06°25'49,1" Lintang Selatan (Gambar 1). Penelitian dilakukan pada bulan Mei 2007. Pengukuran kandungan logam berat dilakukan di laboratorium Sumber Daya Alam dan Lingkungan, PATIR, BATAN, sedangkan perhitungan dan evaluasi data dilakukan di PPEN, BATAN Jakarta.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel Sedimen

2.2. Bahan dan Alat

Bahan sampel yang digunakan dalam penelitian adalah sedimen dari perairan Semenanjung Muria, Jepara.

Peralatan yang digunakan untuk sampling sedimen adalah *coring sampler* (untuk penentuan kandungan logam berat). Selain itu juga digunakan kantong plastik (penampung sampel), dan *ice box* (penyimpan sampel). Peralatan untuk preparasi sampel adalah beberapa alat gelas (*bekker glass*, pengaduk, cawan petri, dll.), oven (pengering sampel), dan neraca analitik Sartorius-Werke tipe 2442. Pada penentuan logam berat dengan metode aktivasi neutron dilakukan dengan memanfaatkan fasilitas Instalasi Reaktor Serba Guna, G.A Siwabessy, BATAN, Serpong. Sedangkan pengukuran sampel teriradiasi menggunakan Perangkat Spektrometer Gamma yang dilengkapi dengan sumber tegangan tinggi (2500 Volt), detektor semikonduktor Ge murni (HPGe), *pre-amplifier*, *amplifier*, ADC (*Analog to Digital Converter*), *Multi Channel Analyzer* (MCA), Software dengan program Maestro untuk analisis kualitatif dan kuantitatif, serta printer sebagai pencatat data^{[4][5]}.

2.3. Penentuan Kandungan Logam Berat dalam Sedimen.

Sampel sedimen disampling hanya di tiga lokasi, yaitu stasiun L5, L7 dan L8 menggunakan alat *Coring* hingga kedalaman ± 25 cm. Selanjutnya sampel dalam *coring sediment sampler* tersebut secara hati-hati dikeluarkan dan dipotong-potong menggunakan pisau *stainless steel* dengan ketebalan 1-2 cm. Masing-masing sampel dimasukkan ke dalam kantong plastik, diberi tanda dan disimpan dalam *ice box* untuk dibawa ke laboratorium. Di laboratorium, sampel dikering anginkan, kemudian dilanjutkan pengeringan dengan oven pada temperatur $\pm 110^{\circ}\text{C}$ selama ± 2 jam dan dihitung kadar susut keringnya.

Penentuan kandungan logam berat dilakukan menggunakan metode analisis aktivasi neutron (AAN)^[6]. Sebelum dilakukan aktivasi, masing-masing sampel ditimbang secara seksama sebanyak $\pm 0,200$ gram, dimasukkan ke dalam kantong polietilen, lalu kantong polietilen *disealed*, dan dibungkus foil-Al untuk menghindari kontaminasi. Demikian pula standar acuan sedimen dari IAEA, yaitu SL-1 diperlakukan sama dengan sampel. Sampel dan standar diaktivasi secara bersama-sama di reaktor G.A Siwabessy PRSG, BATAN Serpong, menggunakan neutron termal dengan fluks 10^{13} n cm⁻² detik⁻¹ selama 30 menit. Setelah diaktivasi, sampel dan standar didinginkan di dalam ruang *hot cell* sebelum dilakukan pengukuran.

Pengukuran kandungan logam dalam sampel teraktivasi dilakukan dengan Spektrometer Gamma. Pada analisis kualitatif, logam Co, Cr, Cs, As, Sc, dan Fe, masing-masing diukur berdasarkan reaksi $^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$; $^{50}\text{Cr}(n,\gamma)^{51}\text{Cr}$; $^{133}\text{Cs}(n,\gamma)^{134}\text{Cs}$, $^{75}\text{As}(n,\gamma)^{76}\text{As}$, $^{46}\text{Sc}(n,\gamma)^{47}\text{Sc}$, dan $^{58}\text{Fe}(n,\gamma)^{59}\text{Fe}$, yang masing-masing pada energi gamma 1173 dan 1332 keV, 320 keV, 795 keV, 559 keV, 889 dan 1120 keV, 1098 dan 1292 keV. Pada analisis kuantitatif, konsentrasi logam dihitung berdasarkan rasio luas area (intensitas) isotop-isotop yang sama dalam sampel dan standar dengan rumus yang berlaku. [4][5][6]

$$C_{spa} = \frac{I_{spa} (C_{sta}) \cdot W_{sta}}{I_{sta} W_{spa}}$$

dengan:

- C_{spa} = Konsentrasi unsur a dalam sampel (ppm atau $\mu\text{g/g}$)
- I_{spa} = Intensitas isotop a dalam sampel (cps=count per seconds)
- I_{sta} = Intensitas isotop a dalam standar (cps=count per seconds)
- C_{sta} = Konsentrasi unsur a dalam standar (ppm atau $\mu\text{g/g}$)
- W = Bobot sampel (g)

3. PEMBAHASAN

Hasil pengamatan parameter kondisi kimia fisika di stasiun pengambilan sampel menunjukkan bahwa suhu berkisar antara 23°C – 28°C , salinitas berkisar 25‰ - 36‰, kedalaman 1 m – 10 m dan pH berkisar 7,1 – 7,4 serta kecepatan arus bergerak antara 0,156 m/s – 0,232 m/s.

Hasil analisis kandungan logam dalam sampel *core* sedimen pasir (stasiun L5) dan sedimen lanau (stasiun L7 dan L8) pada kedalaman hingga 25 cm ditunjukkan pada Tabel 1. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa ditemukan sejumlah logam Cr, As, Cs, Sc, Fe dan Co. Dari ketiga stasiun pengambilan sampel terlihat bahwa pada kedalaman yang sama setiap lapisan sedimen, secara umum kandungan logam berat Cr, As, Cs, Sc, Fe dan Co antar stasiun di lokasi pengamatan menunjukkan distribusi yang seragam. Demikian juga distribusi konsentrasi sedimen pada setiap unsur yang sama mempunyai besaran yang tidak terlalu beda jauh.

Kandungan logam berat pada masing-masing stasiun didominasi oleh logam berat Cr sedang kandungan logam berat terkecil pada setiap stasiun adalah logam berat Cs.

Data tersebut memberikan gambaran bahwa baik sedimen pasir maupun lanau mempunyai karakteristik kandungan logam yang serupa, yaitu konsentrasi $\text{Fe} > \text{Cr} > \text{Co}$ dan $\text{Sc} > \text{As} > \text{Cs}$. Dengan demikian karakteristik logam dalam sedimen perairan Semenanjung Muria menunjukkan karakteristik yang sama pada laut pada umumnya dimana konsentrasi $\text{Fe} > \text{Cr} > \text{Co} > \text{Sc} > \text{As} > \text{Cs}$ [4].

Pada penelitian ini, konsentrasi logam rata-rata dalam sedimen untuk Cr pada stasiun L5, L7, dan L8 berturut-turut sebesar 44,25 ppm; 56,23 ppm; dan 48,77 ppm. Konsentrasi logam As pada stasiun L5, L7, dan L8 berturut-turut adalah 9,58 ppm; 7,73 ppm; dan 12,85 ppm. Konsentrasi logam Cs pada stasiun L5, L7, dan L8 berturut-turut adalah 5,55 ppm; 5,78 ppm; dan 5,10 ppm. Konsentrasi logam Sc pada stasiun L5, L7, dan L8 berturut-turut adalah 15,69 ppm; 18,40 ppm; dan 16,72 ppm. Konsentrasi logam Fe pada stasiun L5, L7, dan L8 berturut-turut adalah 44,67 ppm; 47,45 ppm; dan 44,76 ppm. Sedangkan konsentrasi logam Co pada stasiun L5, L7, dan L8 berturut-turut adalah 16,41 ppm; 15,47 ppm; dan 17,37 ppm. Hasil rata-

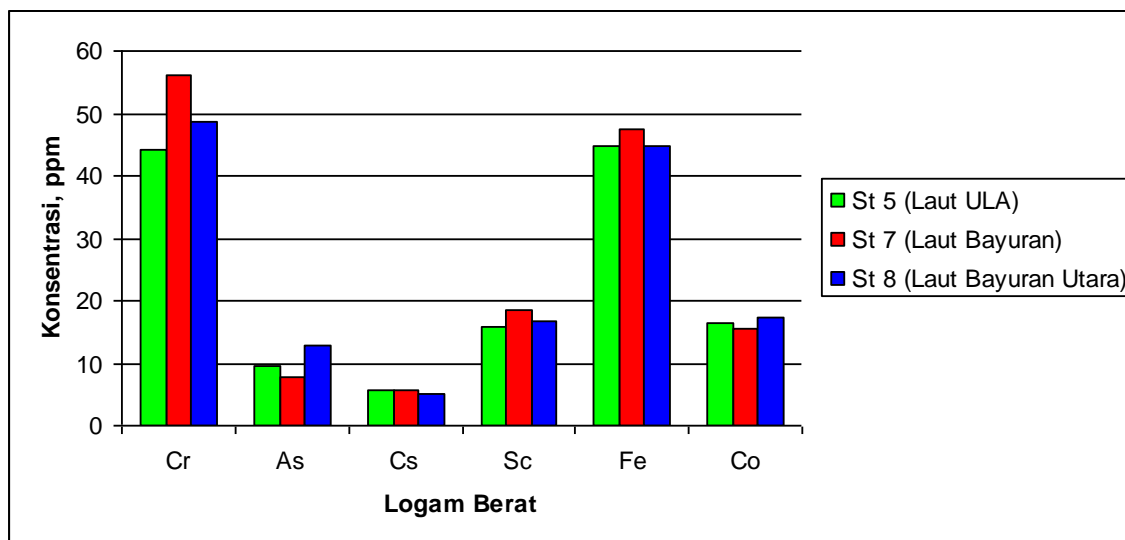
rata kandungan logam berat Cr, As, Cs, Sc, Fe dan Co setiap stasiun dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 1. Hasil Analisis Kandungan Logam Berat di Sedimen Perairan Pantai Semenanjung Muria

Ketebalan Sedimen	Konsentrasi (ppm) di Stasiun L5 Laut ULA (sedimen pasir)					
	Cr	As	Cs	Sc	Fe	Co
0-1	36.2447	5.3659	3.9627	15.4264	41.4698	18.322
1-2	38.5280	6.0987	4.3274	15.3435	42.1726	17.1515
2-3	51.7199	5.3659	6.2579	15.2893	42.1360	17.9240
3-4	40.8113	6.8316	4.6921	15.2606	42.8754	15.9803
4-5	40.0919	8.2973	4.8638	16.3023	45.1849	16.5409
5-7	42.8365	15.4203	6.6716	16.1260	46.9143	17.9168
7-9	37.6415	13.6614	4.1606	14.3514	55.3914	17.1024
9-11	53.5346	12.9025	7.8812	16.3929	46.4311	16.5956
11-13	44.9856	8.2168	5.3707	16.3603	44.5209	14.8775
13-15	42.3386	14.5430	5.6304	15.3604	38.2839	12.6562
15-17	51.5853	11.5764	7.2560	15.8997	41.9124	16.8774
17-19	44.2672	7.4156	5.3866	15.5352	43.5724	14.5037
19-21	47.9262	8.4960	6.3213	15.7175	42.7423	15.6905
21-23	46.9031	9.9368	4.8686	16.2688	51.7516	17.6440
Rata-rata	44.2439	9.5806	5.5465	15.6882	44.6685	16.4131

Ketebalan Sedimen	Konsentrasi (ppm) Stasiun L7 Laut Bayuran Sebelah Utara (sediment lanau)					
	Cr	As	Cs	Sc	Fe	Co
0-1	55.5446	9.9949	5.5203	18.1058	47.6381	15.9875
1-2	58.5209	9.4173	6.7142	17.4765	48.4296	16.8359
2-3	59.7363	11.2327	5.8127	17.9934	45.8013	19.3935
3-4	48.3765	9.3346	4.0339	18.8475	48.6836	11.7332
4-5	47.6964	8.5283	6.0123	18.2728	46.0508	10.8006
5-7	57.8907	3.0635	4.3191	18.5305	49.1738	17.0583
7-9	63.3376	8.6324	6.2567	19.4414	49.3884	18.1925
9-11	66.8939	8.7365	7.4273	18.4161	48.0139	17.5031
11-13	61.8071	6.9212	7.2928	19.7236	49.5962	15.7239
13-15	59.3441	7.6599	2.9805	18.1312	45.5447	12.5301
15-17	54.9646	4.0211	6.1087	17.9386	44.7486	17.9924
17-19	40.5972	5.2099	6.9373	17.9668	46.2901	11.9027
Rata-rata	56.2258	7.7294	5.7847	18.4037	47.4466	15.4711

Ketebalan Sedimen	Konsentrasi (ppm) Stasiun L8 Laut Bayuran (sedimen lanau)					
	Cr	As	Cs	Sc	Fe	Co
0-1	55.08442	8.26	5.677481	16.29452	42.77583	16.46287
1-3	48.76694	9.761818	5.971692	15.72486	40.59359	17.0726
3-5	42.44946	11.26364	6.265903	15.1552	38.41136	17.68234
5-7	46.74435	15.07182	4.580153	17.55798	47.17423	18.92086
7-9	44.59691	13.16773	5.423028	16.35659	42.79279	18.3016
9-11	47.58552	13.79064	4.970616	16.76935	45.40216	17.79295
11-13	50.57413	14.41355	4.518204	17.18211	48.01152	17.2843
13-15	58.74873	16.38347	5.426357	16.80908	46.96183	15.47625
15-17	42.39952	12.44364	3.610051	17.55514	49.0612	19.09235
17-19	49.04162	13.09702	3.466921	17.93894	46.25111	18.69221
19-21	50.50254	13.75041	6.187708	16.60903	44.96082	14.24519
Rata-rata	48.7722	12.85489	5.099828	16.72298	44.76331	17.36577



Gambar 2. Konsentrasi Rata-rata Logam Berat Cr, As, Cs, Sc, Fe, dan Co dalam Sedimen

Berdasarkan evaluasi pada tahun sebelumnya yaitu bahwa konsentrasi tertinggi logam Sc yang terikat dalam sedimen ditemukan di pantai Bayuran (stasiun L8). Sedangkan untuk logam Cr, Co, dan Fe konsentrasi tertinggi ditemukan di Laut Bayuran (stasiun L7). Hasil analisis konsentrasi logam berat terikat dalam sedimen di perairan Lemahabang selalu lebih tinggi dari pada konsentrasi logam berat yang terlarut dalam air. Hal ini sesuai referensi yang diacu bahwa secara formal konsentrasi logam berat pada sedimen lebih tinggi dibandingkan dengan perairannya. Hal ini, disamping karena keberadaan logam tersebut secara alami terkonsentrasi dalam batuan sedimen, juga karena sifat sedimen yang lebih stabil dan cenderung menangkap logam berat yang masuk ke dalam perairan^[5].

Berdasarkan studi pustaka disebutkan bahwa kandungan logam dalam sedimen selalu lebih tinggi dibandingkan dalam air laut, karena sedimen lebih mampu menyimpan logam^[7]. Pada penelitian ini konsentrasi logam Fe dalam sedimen mencapai 30.000; Cr 333; Co 1.100; Sc

33.333; As 8,67 dan Cs 12,5 kalinya lebih tinggi dibandingkan dalam air. Logam berat yang semula terlarut dalam air sungai diabsorpsi oleh partikel halus (*suspended solid*) dan aliran air sungai dibawa ke muara. Di muara, arus air sungai bertemu dengan arus pasang, sehingga partikel halus tersebut mengendap di muara sungai dan pantai.

Rata-rata kandungan Cr yang terakumulasi dalam sedimen ini sudah cukup besar dibanding dengan logam berat lainnya, sehingga perlu diperhatikan karena kadar Cr ini dapat terserap baik oleh ikan dan dapat terakumulasi sehingga berbahaya apabila ikan ini dikonsumsi oleh manusia terutama Cr (kromium) valensi 6+ (Cr 6+) yang memiliki daya racun paling tinggi dan dapat menimbulkan kanker dalam tubuh manusia^[8].

Sumber pencemaran Cr yang ada di lapangan meliputi: industri cat, industri tekstil, industri penyamakan kulit dan industri pelapisan logam yang sebagian besar berada di daerah aliran sungai di daerah Semenanjung Muria yang berdekatan dengan pusat kota. Oleh karena itu perlu dilakukan pengawasan terutama untuk limbah hasil buangan industri tersebut sehingga pencemaran logam Cr dapat dihindarkan^[8].

Konsentrasi rata-rata logam berat dalam sedimen di perairan Ujung Lemahabang (ULA) berturut-turut adalah Fe>Cr>Co>Sc>As>Cs. Konsentrasi Fe tertinggi menunjukkan bahwa sedimen yang diambil banyak mengandung besi, karena substrat dasar perairan Lemahabang berupa pasir besi. Secara alami kandungan Fe yang tinggi memberikan kontribusi terhadap peningkatan Cr^[7].

Faktor yang menyebabkan logam tersebut dikelompokkan ke dalam zat pencemar adalah 1) logam berat tidak dapat terurai melalui biodegradasi seperti pencemar organik, 2) logam berat dapat terakumulasi dalam lingkungan terutama sedimen sungai dan laut, karena dapat terikat dengan senyawa organik dan anorganik, melalui proses adsorpsi dan pembentukan senyawa kompleks. Karena logam berat dapat terakumulasi dalam sedimen, maka kadar logam berat dalam sedimen lebih besar dari kadar logam berat dalam air^{[9][10]}.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dapat disimpulkan bahwa perkembangan konsentrasi logam berat dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa belum terjadi peningkatan yang signifikan.

Pada sedimen pasir maupun sedimen lanau ditemukan logam Fe, Cr, As, Cs, Sc, dan Co. Profil sebaran konsentrasi logam-logam pada *core* sedimen hingga kedalaman 25 cm tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan baik pasir maupun di lanau. Konsentrasi logam Fe adalah paling tinggi yaitu 47,4466 ppm dibandingkan jenis logam lainnya, sedangkan konsentrasi logam Cs paling rendah yaitu 5,0998 ppm dibandingkan pada logam lainnya.

Dalam persiapan pembangunan PLTN, data logam berat pada perairan laut dan sungai sebaiknya dilakukan secara kontinyu dan berkesinambungan untuk mendapat data base yang mewakili kualitas lingkungan daerah tersebut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada sdr. Yulizon Menri dari PATIR-BATAN, Sarmin dan kawan-kawan tim sampling lainnya di stasiun pengamatan Ujung Lemahabang, Jepara, yang telah banyak membantu melakukan pengambilan sampel di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. ANONIM, "Feasibility Study", Newjec, 1996

- [2]. BERTOLOTTI R. M., et al., "Heavy metals in coastal sediments of the Ligurian Sea off Vado Ligure". Congress XIIth International Conference on Heavy Metals in the Environment. Grenoble, FRANCE Volume 107:1 159-162, 2003.
- [3]. CHESTER R., "Marine Geochemistry". Edisi 1, Ed Unwin Hyman. Ltd., London, 1990.
- [4]. YULIZON M., JUNE M., YUMIARTI, TOMMY HUTABARAT, "Distribusi Unsur Pada Sedimen Danau Sunter Jakarta", Risalah Pertemuan Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN, Jakarta, 1998.
- [5]. ANONIM, "Laporan Akhir Penelitian Kajian Dampak Lingkungan Pembangunan PLTN Muria dan Pengelolaannya untuk Masukan Amdal", Pusat Pengembangan Energi Nuklir, BATAN, 2006.
- [6]. IAEA, "Practical Aspect of Operating a Neutron Activation Analysis Laboratory", IAEA Tecdoc-564. Vienna, 1990.
- [7]. SAHAT M.P., HENI SUSENO, "Akumulasi Logam Berat di Semenanjung Muria", Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah 5(2), ISSN 1410-9565, Pusat Pengembangan Pengelolaan Limbah Radioaktif, 2002.
- [8]. ENDANG R., M. TAUFIK, ABDUL R., "Distribusi Logam Berat Air dan Sedimen di Perairan Muara Sungai Cisadane", Jurnal MAKARA SAINS, Volume 10, No. 1 April, 2006.
- [9]. Z. TARIGAN, EDWARD, ABDUL R., "Kandungan Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn, dan Ni dalam Air Laut dan Sedimen di Muara Sungai Membramo, Papua dalam Kaitannya dengan Kepentingan Budidaya Perikanan", Jurnal MAKARA, SAINS, VOLUME 7, No. 3, 2003.
- [10]. U. FORSTNER, F. PROSI, Proceedings of the Course Held at the Joint Research Centre of the Commission of European Communities, Ispra Pergamon Press, Oxford, 1978.