

DISTRIBUTION OF URANIUM IN WATER OF GRESIK COASTAL WATERS

Sebaran Uranium di Perairan Pesisir Gresik

June Mellawati

National Nuclear Energy Agency, Jakarta

Received February 18, 2009; Accepted June 27, 2009

ABSTRACT

Determination of uranium in water sample at Gresik coastal waters around Gresik industrial area have been carried out. The purpose of research is to find the distribution of uranium at the coastal where the phosphate industry standing and potentially to contribute uranium pollutant to the waters. The measurement of uranium was passive of Gamma Spectrometry, and uranium was measured as ^{234}Th (uranium daughters) on 92.80 and 1001.03 keV gamma energies. Sea water sample was taken up by water pump sampler as a vertical mixing. The sample was sampling on the highest tide and lowest ebb, at the east season (March–August) west season (September–February). The concentration of ^{238}U on higher tide of the west season are range between 0.0016–0.0128 Bq/l, while on lowest ebb of the east season are 0,0013–0,0877 Bq/l. There was significantly different ($\alpha= 5\%$) of uranium concentration in water between two seasons (east and west) in tide and ebb respectively. According to Quality Standard from Dirjen BATAN No.293/Dj/VII/1995 (radioactivity on environment), the concentration of ^{238}U in water obtained from coastal around phosphate industry are still lower than that of recommended values (10.000 Bq/l).

Keywords: uranium, sea water, coastal of Gresik

PENDAHULUAN

Perairan pesisir adalah bagian dari perairan laut yang kaya akan keanekaragaman sumberdaya laut, dan data menunjukkan bahwa hasil produksinya dapat menyumbang pembangunan sebesar 22% dari GDP (*Gross Domestic Product*), sehingga pengelolaan sektor kelautan perlu ditingkatkan dan dioptimalkan [1].

Kasus pencemaran NORM (yang salah satunya adalah uranium), khususnya di negara maju telah diketahui sejak lama walaupun di negara berkembang seperti Indonesia masih belum banyak diketahui oleh sebagian besar masyarakatnya. Pencemaran NORM di lingkungan dianggap sangat penting, karena tidak hanya melibatkan pencemaran logam berat tetapi juga pencemaran unsur radioaktif. Jenis pencemaran ini tidak hanya diakibatkan oleh beroperasinya industri nuklir tetapi juga oleh industri non-nuklir, khususnya industri yang menggunakan bahan tambang atau galian. Bahan tambang mempunyai potensi mengandung sejumlah NORM karena berasal dari kerak bumi dan umumnya diperoleh (digali) oleh manusia melalui suatu teknologi. Pada serangkaian kegiatan, termasuk proses pengambilan dan pengolahan, maka sejumlah NORM dari bahan tambang tersebut akan ikut termobilisasi dan akhirnya terkonsentrasi, sehingga sangat potensial untuk terlepas ke lingkungan diantaranya melalui buangan limbahnya [2, 3, 4].

NORM (*Natural Occurring Radioactive Materials*) adalah unsur radioaktif alamiah yang diambil dari alam,

seperti dari batuan, tanah dan mineral dan dapat terkonsentrasi atau meningkat kandungannya akibat kegiatan industri [5]. Kelompok NORM yaitu ^{238}U , ^{232}Th bersama dengan anak-anak luruhnya yang dikenal juga dengan nama deret uranium dan deret thorium.

Di Indonesia terdapat beberapa industri non-nuklir yang berpotensi memberikan kontribusi NORM ke lingkungan, salah satunya adalah industri fosfat (pupuk dan asam). Industri pupuk fosfat (Triphel Super Phosphate atau Super Phosphate-36, Mono Ammonium Phosphate dan Di Ammonium Phosphate) yang berlokasi di Gresik, Jawa Timur, Indonesia tersebut telah berdiri sejak tahun 1976, serta telah memulai produksinya pada tahun 1979, yang kapasitas produksinya mencapai 1.200.000 ton per tahun [6]. Industri tersebut juga memproduksi asam fosfat (H_3PO_4), amonia (NH_3), urea, asam sulfat (H_2SO_4), aluminium fluorida (AlF_3) dan *cement retarder*, dan hingga kini terus berupaya melakukan perluasan industrinya. Data menunjukkan bahwa terdapat 5 sumber buangan ke perairan pesisir yang berasal dari industri fosfat, dan 3 sumber diantaranya berpotensi memberikan cemaran NORM ke perairan pesisir. Ke tiga sumber tersebut, yaitu unit demineralisasi asam dan basa (debit 5 m^3/jam), unit pabrik asam fosfat (debit 15 m^3/jam) dan unit pencucian gips (debit 110 m^3/jam) [7].

Hasil penelitian Roessler *et al.* (1979), menunjukkan bahwa limbah hasil proses pembuatan

* Corresponding author.

Email address : june_mellawati@yahoo.co.id

pupuk fosfat mengandung radionuklida ^{238}U , ^{232}Th dan anak luruhnya. NORM yang dihasilkan tersebut berasal dari batuan fosfat dengan kadar rata - rata ^{238}U dalam deposit fosfat mencapai 0,01% [8]. Sedang konsentrasi ^{238}U dalam bahan baku (batuan fosfat) adalah sebesar 810 Bq/kg [9]. Berdasarkan sifatnya yang memancarkan radiasi sinar- γ , maka ^{238}U mempunyai potensi bahaya relatif tinggi jika diserap oleh makhluk hidup. Bahaya radiasi terhadap makhluk hidup, yaitu dapat merusak jaringan biologis dan menyebabkan perubahan kimia dari zat-zat biotiknya, seperti enzim dan asam nukleat, sehingga akhirnya dapat menyebabkan kematian atau pengaruh mutagenik [10].

Laporan AGENDA 21 Indonesia menyebutkan bahwa industri fosfat adalah salah satu jenis kegiatan pembangunan kelompok industri non-nuklir yang dapat melepaskan NORM ke lingkungan, sehingga industri tersebut berpotensi mencemari lingkungan dan perlu penanganan sesegera mungkin [11]. Laporan dari Rotterdam Belanda menyebutkan bahwa industri pupuk fosfat telah menghasilkan *fosfogypsum* 2 juta ton per tahun, dan hasil limbahnya yang dibuang ke Sungai Rhein menyebabkan terlepasnya sejumlah NORM, diantaranya radionuklida ^{238}U . Dampak dari pembuangan limbah kegiatan industri tersebut adalah ikan-ikan dari sungai Rhein mengandung uranium dibandingkan dengan ikan-ikan dari kawasan lainnya. Selain itu, air sungai Rhein mengandung unsur radioaktif alamiah anak luruh uranium (^{226}Ra) dengan konsentrasi mencapai 10–50 kali lebih tinggi dibandingkan kawasan lain [12]. Industri pupuk fosfat di Spanyol telah membuang limbah cairnya ke pesisir Tinto dan Sungai Odriel, sehingga menyebabkan dosis efektif tahunan untuk kelompok kritis diperkirakan mencapai 60 mSv, terutama melalui jalur konsumsi ikan dan *crustacea* [13]. UNSCEAR melaporkan bahwa jenis dan konsentrasi NORM dalam pupuk fosfat sangat bervariasi dari satu negara dan negara yang lain, tergantung bahan baku yang digunakan serta komposisinya. Namun demikian, umumnya konsentrasi ^{238}U dan anak luruhnya mencapai 5 sampai 50 kalinya lebih tinggi dibandingkan ^{40}K , ^{232}Th dan hasil anak luruhnya. Data tentang konsumsi pupuk fosfat di dunia mencapai 30 juta ton per tahun, dan rata-rata per kg P_2O_5 mengandung ^{238}U sebanyak 4000 Bq [14].

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perlu dilakukan kajian NORM di lingkungan perairan pesisir Gresik. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui status NORM di kawasan perairan pesisir sekitar industri non-nuklir. Kawasan perairan pesisir Gresik dipilih dan dijadikan sebagai wilayah kajian karena dianggap mewakili kasus pencemaran NORM di Indonesia. Tujuan penelitian untuk mengetahui sejauh mana air sebagai komponen abiotik perairan dapat memberikan gambaran

tingkat cemaran ^{238}U di lingkungan perairan pesisir sekitar industri fosfat, serta mengetahui profil penyebarannya. Salah satu dari kumpulan kajian untuk *database* institusi yang berwenang mempersiapkan langkah pengamanan laut dengan memperkecil dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh kegiatan industri yang menghasilkan uranium. Selain itu juga sebagai bahan acuan untuk pembuatan peraturan yang berkaitan dengan buangan limbah industri fosfat, khususnya ke kawasan perairan laut.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan penelitian yaitu sampel air laut yang diperoleh dari perairan sekitar kawasan industri Gresik. Sebagai standar uranium digunakan bahan kimia $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan HNO_3 yang masing-masing memiliki kualitas pro analisis. Selain bahan-bahan tersebut, digunakan juga N_2 cair, air bebas mineral, dan kertas saring.

Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah peralatan sampling di lapangan, terdiri dari perahu nelayan, GPS (*Global Positioning System*), alat sampling air *water pump* yang dilengkapi selang plastik dan *accu*, serta *water sampler Niskin (van's Dorn)*, kontainer pendingin (*cool box*), beberapa jerigen plastik volume 25 L tempat menampung sampel air, ember dan kantong plastik. Peralatan persiapan sampel di laboratorium terdiri dari *waterbath*, dan alat-alat gelas seperti gelas piala, cawan porselin (diameter 20 cm), corong dan batang pengaduk. Sebelum digunakan untuk mengambil dan memproses sampel, semua peralatan gelas dicuci dengan larutan bikromat, asam sulfat teknis dan akuades. Peralatan instrumentasi terdiri dari perangkat Spektrometer Gamma yang dilengkapi dengan detektor *High Pure Germanium*, perangkat lunak penganalisis kualitatif dan kuantitatif *Accuspect* serta timbangan analitik sartorius, pH-meter dan oven.

Prosedur Kerja

Waktu dan Lokasi Sampling

Pengambilan sampel air dilakukan pada musim barat (Desember–Februari), peralihan-I (Maret–Mei), timur (Juni–Agustus) dan peralihan II (September–November). Pada setiap musim dilakukan pengambilan sampel pada kondisi pasang tertinggi dan surut terendah.

Tabel 1. Lokasi pengambilan sampel air laut

Stasiun	Kedalaman (m)	Jarak dari pantai (m)	Lokasi Penelitian	
1	0 – 10	50	Muara kali Miring	S:7°08 303' E:112°39 238'
2	0 – 10	500	Antara industri peleburan tembaga dengan Maspion	S:7°08 705' E:112°39 494'
3	0 – 10	100	Industri peleburan tembaga	S:7°08 751' E:112°39 423'
4	0 – 10	100	Antara industri peleburan tembaga dengan petro	S:7°08 937' E:112°39 585'
5	0 – 10	100	Petro	S:7°08 725' E:112°39 406'
6	0 – 10	100	Petrosida	S:7°08 639' E:112°39 426'
7	20-30	1000	Antara industri peleburan tembaga dengan Maspion	S:7°08 204' E:112°39 344'
8	20-30	1000	Industri peleburan tembaga	S:7°08 385' E:112°39 035'
9	20-30	500	Petro	S:7°08 186' E:112°39 423'
10	20-30	500	Dermaga Petro	S:7°08 532' E:112°39 178'
11	0 – 10	500	Petrosida dengan Dermaga umum	S:7°08 587' E:112°39 562'
12	0 – 10	100	Dermaga umum (Pelabuhan)	S:7°08 204' E:112°39 615'
13	20-30	500	Kawasan industri kayu lapis	S:7°08 739' E:112°39 264'
14	20-30	500	Kawasan industri kayu	S:7°08 667' E:112°39 145'
15	10	100	Muara kali Lamong	S:7°08 352' E:112°39 947'

Tabel 2. Aktivitas ^{238}U (Bq/l) dalam air perairan pesisir sekitar kawasan industri fosfat

Lokasi	Timur		Peralihan I		Barat		Peralihan II	
	pasang	surut	pasang	Surut	Pasang	Surut	pasang	surut
1	0,0077 ^b	0,0060 ^a	0,0056 ^{de}	0,0018 ^b	0,0016 ^a	0,0010 ^b	0,0040 ^a	0,0058 ⁱ
2	0,0079 ^b	0,0049 ^a	0,0041 ^b	0,0043 ^d	0,0051 ^b	0,0032 ^c	0,0077 ^b	0,0258 ^g
3	0,0145 ^{ef}	0,0268 ^f	0,0055 ^d	0,0114 ⁱ	0,0090 ^f	0,0167 ^y	0,0097 ^{cd}	0,0132 ^f
4	0,0299 ^g	0,0384 ^h	0,0066 ^f	0,0106 ^h	0,0111 ⁱ	0,0146 ⁱ	0,0182 ^f	0,0038 ^b
5	0,0583 ⁱ	0,0877 ⁱ	0,0076 ⁱ	0,0145 ^y	0,0103 ^h	0,0184 ^k	0,0351 ^h	0,0018 ^a
6	0,0153 ^f	0,0303 ^g	0,0071 ^{gh}	0,0105 ^h	0,0092 ^{fg}	0,0124 ^g	0,0129 ^e	0,0135 ^f
7	0,0105 ^{cd}	0,0138 ^b	0,0065 ^f	0,0092 ^f	0,0071 ^c	0,0132 ^h	0,0081 ^{bc}	0,0104 ^d
8	0,0135 ^e	0,0211 ^d	0,0052 ^c	0,0089 ^f	0,0085 ^e	0,01311 ^h	0,0091 ^{cd}	0,0126 ^{ef}
9	0,0346 ^h	0,0201 ^d	0,0076 ⁱ	0,0055 ^e	0,0128 ^j	0,0077 ^e	0,0211 ^g	0,0285 ^h
10	0,0135 ^e	0,0176 ^c	0,0068 ^{fg}	0,0097 ^g	0,0077 ^d	0,0162 ^y	0,0108 ^d	0,0115 ^{de}
11	0,0107 ^{cd}	0,0165 ^c	0,0071 ^{gh}	0,0100 ^g	0,0074 ^{cd}	0,0124 ^g	0,0103 ^d	0,0135 ^f
12	0,0080 ^b	0,0162 ^c	0,0074 ^{hi}	0,0013 ^a	0,0077 ⁱ	0,0115 ^f	0,0082 ^{bc}	0,0102 ^d
13	0,0111 ^d	0,0138 ^b	0,0058 ^e	0,0047 ^d	0,0112 ^h	0,0050 ^d	0,0108 ^d	0,0032 ^b
14	0,0095 ^c	0,0043 ^a	0,0050 ^c	0,0047 ^d	0,0096 ^g	0,0002 ^a	0,0093 ^{cd}	0,0061 ^c
15	0,0041 ^a	0,0041 ^a	0,0022 ^a	0,0035 ^c	0,0019 ^a	0,0001 ^a	0,0040 ^a	0,0109 ^d
	0,0041	0,0041	0,0022	0,0013	0,0016	0,0001	0,0040	0,0018
Kisaran	–	–	–	–	–	–	–	–
	0,0583	0,0877	0,0076	0,0145	0,0128	0,0184	0,0351	0,0285

Keterangan:

Angka diikuti huruf sama pada kolom sama memperlihatkan tidak beda nyata ($\alpha=5\%$); $1\text{Bq } ^{238}\text{U} \cong 8,10 \times 10^{-5}\text{g}$

Lokasi pengambilan sampel adalah sepanjang perairan pesisir kawasan industri fosfat Gresik, Jawa Timur, di mulai dari muara Kali Miring (sebelah barat industri pupuk fosfat Gresik) sampai dengan muara Kali Lamong (di sebelah timur industri pupuk fosfat Gresik). Pengambilan sampel dilakukan di 15 titik stasiun, yang berjarak $\pm 2-3$ km ke sebelah timur dan barat kawasan industri pupuk fosfat. Penentuan posisi titik sampling menggunakan GPS (*Global Positioning System*). Lokasi pengambilan sampel air terlihat pada Tabel 1.

Cara Sampling dan Preparasi Sampel

Preparasi sampel dan pengukuran kandungan uranium dilakukan di Bidang Sumber Daya Alam dan

Lingkungan, PATIR, BATAN, Jakarta. Pengambilan sampel air laut dilakukan menggunakan *water pump sampler* (dilengkapi dengan selang plastik), secara *vertical mixing* dan kemudian sampel air ditampung ke dalam jerigen plastik volume ± 20 L yang diberi label bertuliskan nama lokasi, waktu (tanggal, bulan dan tahun) pengambilan dan musim. Sebelum sampel dibawa ke laboratorium, pada sampel air ditambahkan beberapa tetes larutan HNO_3 (p.a) encer (± 1 N), sehingga sampel air mencapai pH ± 2 . Di laboratorium, mula-mula sampel disaring dan dipindahkan ke dalam gelas piala volume 2,5 L untuk diuapkan dengan penangas air (*water bath*) dengan cara menuangkan berkali-kali dari volume 20 L hingga menjadi 1 L.

Akhirnya sebanyak 1 L sampel dipindahkan ke dalam wadah *marinelli* serta ditutup rapat dan diletakkan, serta dibiarkan selama 30 hari, sehingga terjadi keseimbangan antara ^{238}U dengan anak luruhnya [15].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan ^{238}U dalam Air Perairan Gresik

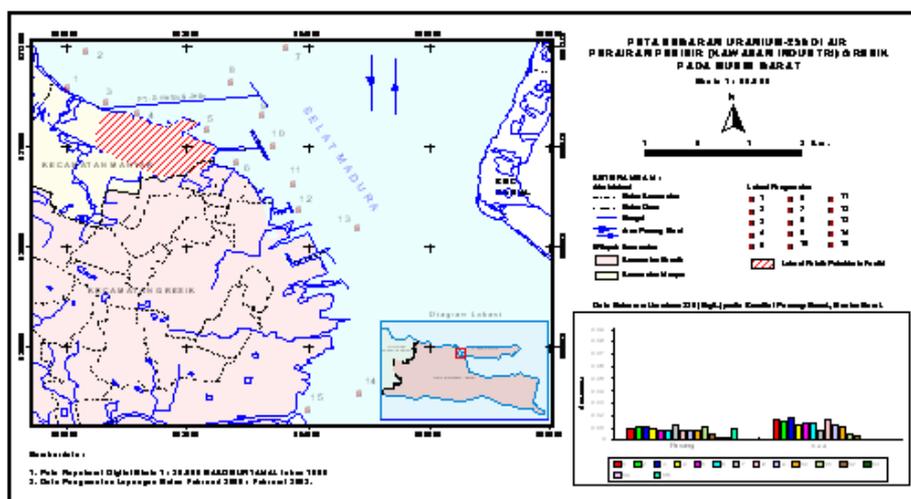
Hasil pengukuran kandungan ^{238}U dalam air perairan Gresik pada musim timur, barat dan masing-masing peralihannya, serta pada kondisi pasang dan surutnya terlihat pada Tabel 2. Sebaran ^{238}U di perairan pesisir sekitar kawasan industri fosfat pada musim timur, barat dan masing-masing peralihannya, serta pada kondisi pasang dan surutnya terlihat pada Gambar 1–4.

Konsentrasi ^{238}U dalam sampel air yang disampling pada kondisi air laut pasang 0,0041–0,0583 Bq/L (musim timur); 0,0022–0,0076 Bq/L (peralihan I),

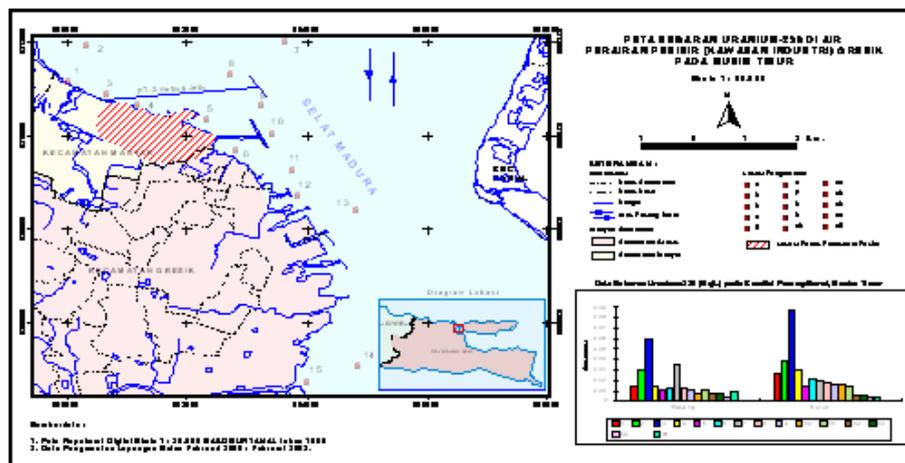
0,0016–0,0128 Bq/L (barat) dan 0,0040–0,0351 Bq/L (peralihan II). Sedangkan pada kondisi air laut surut 0,0041–0,0877 Bq/L (musim timur), 0,0013–0,0145 Bq/L (peralihan I), 0,0001–0,0184 Bq/L (barat) dan 0,0018–0,0285 Bq/L (peralihan II). Uji statistik ($\alpha = 5\%$) memperlihatkan bahwa perbedaan musim timur dan barat serta kondisi pasang berpengaruh nyata terhadap aktivitas ^{238}U dalam air laut.

Pada beberapa kondisi, tingkat radioaktivitas ^{238}U dalam air laut di lokasi 5 dan lokasi 9 relatif lebih tinggi dibandingkan lokasi lainnya walaupun nilainya masih lebih rendah dari batasan Baku Mutu yang dikeluarkan oleh Dirjen BATAN No. 293/Dj/VII/1995 (10.000 Bq/L).

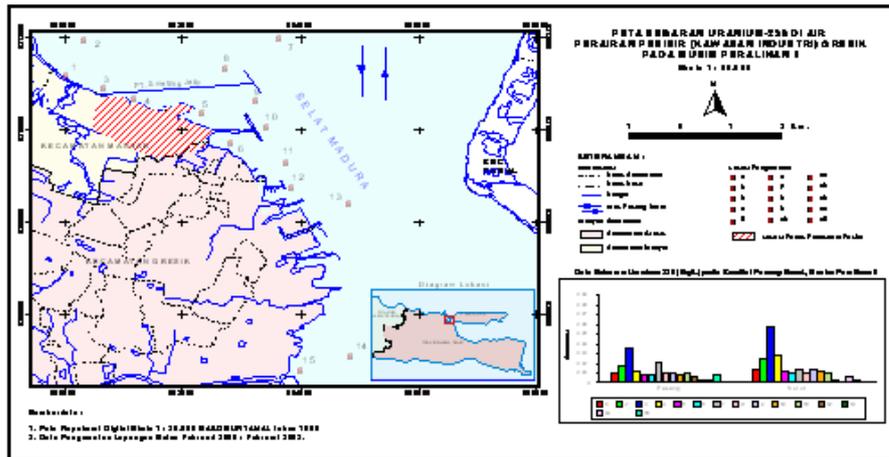
Hal ini diduga karena lokasi 5 dipengaruhi oleh keberadaan reklamasi pantai yang menggunakan limbah padat dari industri pupuk fosfat, sedangkan air laut dari lokasi 9 dipengaruhi oleh proses pengangkutan bahan baku pupuk fosfat dari kapal ke pabrik.



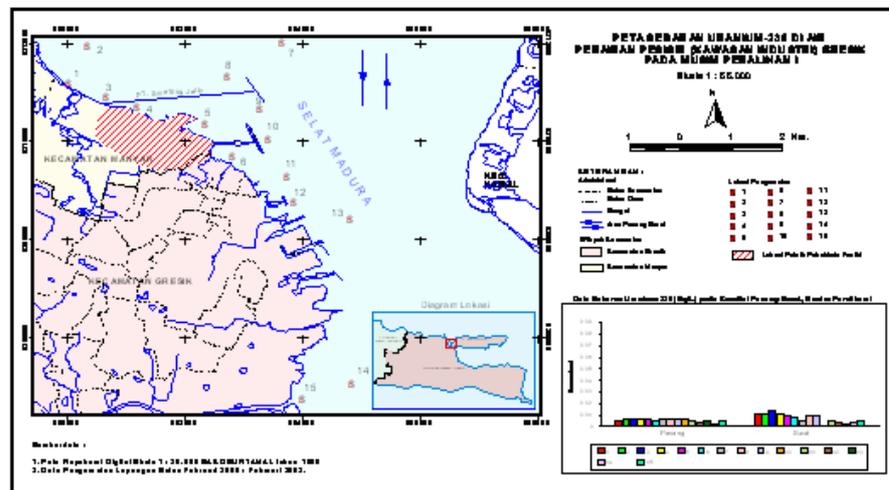
Gambar 1. Sebaran ^{238}U di air perairan pesisir pada musim Timur



Gambar 2. Sebaran ^{238}U di air perairan pesisir pada musim Peralihan



Gambar 3. Sebaran ²³⁸U di air perairan pesisir pada musim Barat



Gambar 4. Sebaran ²³⁸U di air perairan pesisir pada musim Peralihan II

Berdasarkan Baku Mutu dari Dirjen BATAN No. 293/Dj/VII/1995, tentang radioaktivitas di lingkungan, maka kandungan ²³⁸U di air perairan pesisir sekitar kawasan industri fosfat masih lebih rendah dari batasan yang direkomendasikan, yaitu 10⁴ Bq/L (sebagai senyawaan larut maupun tidak larut) [16]. Dibandingkan dengan laporan dari peneliti sebelumnya, kandungan ²³⁸U di beberapa lokasi kajian tersebut masih berada pada kisaran konsentrasi latar (*background*) rata-rata di dunia, yaitu 0,0247–0,0581 Bq/L [17].

Data menyebutkan bahwa industri asam dan pupuk fosfat melepaskan ²³⁸U ke lingkungan perairan hingga 336 x 10⁹ Bq/tahun [18]. Pada penelitian ini diperkirakan bahwa perairan pesisir sekitar industri fosfat menerima ²³⁸U 8,11x10⁴–3,12x10⁸ Bq/tahun yang berasal dari limbah demineralisasi asam-basa, pencucian gips dan instalasi asam fosfat. Bila dibandingkan data dari UNSCEAR (2000), maka kontribusi industri fosfat terhadap kandungan ²³⁸U di

perairan masih relatif lebih rendah, karena produksi industri tersebut masih sedikit [19].

Sebaran ²³⁸U di Perairan Gresik

Pada Gambar 1–4 diperlihatkan profil sebaran uranium di lokasi sampling. Konsentrasi ²³⁸U di beberapa lokasi (1, 2, 3, 4) pada musim peralihan II dan musim timur relatif lebih tinggi dibandingkan memasuki musim peralihan I dan musim barat. Seperti diketahui, lokasi 1, 2, 3 dan 4 merupakan lokasi yang paling dekat dengan pantai dan dekat dengan kawasan industri fosfat. Fenomena air perairan sungai Odriel maupun sungai Tinto, yaitu kawasan terdekat dengan industri fosfat di Spanyol, menggambarkan bahwa makin jauh dari kawasan industri fosfat (> 6 Km) konsentrasi ²³⁸U menurun [18].

KESIMPULAN

Telah ditemukan sejumlah uranium pada air yang disampling di perairan pesisir di sekitar industri fosfat. Ada kecenderungan konsentrasi ^{238}U dalam air dari perairan bagian ke arah tengah pesisir makin menurun. Ditemukannya ^{238}U pada air di perairan sekitar kawasan industri fosfat, maka secara langsung maupun tidak langsung kegiatan industri di sekitar kawasan tersebut berpotensi meningkatkan paparan radiasi ke lingkungan akuatik sekitar industri, karena air merupakan komponen akuatik sebagai media hidup biota akuatik. Dalam rangka melindungi masyarakat dari potensi bahaya radiasi eksternal maupun internal, maka program pemantauan radiasi gamma di lingkungan kawasan industri fosfat perlu dilakukan secara periodik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Butarbutar, 1998, Pengembangan Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Pesisir Dan Laut Di Daerah. Konperensi Nasional I, Pengelolaan Sumberdaya Pesisir Dan Lautan Indonesia, Bogor, 19-20 Maret 1998, PKSPL, IPB Bogor, Bapenas, Crc-Uri, Usaid Dan Direktorat Jenderal Bangda Jakarta.
2. Hipkins, J and Payter, R. A., 1991, *Radiat. Prot. Dosim.*, 36, 97-100.
3. Oesterhuis, L., 1992, *Radiat. Prot. Dosim.*, 45, 703-705.
4. Heaton, B. And Lambley, J., 1995, *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, 46, 577-581.
5. IAEA, 2001, Radioactive Waste Management Status And Trends No. 1, International Atomic Energy Agency, Vienna.
6. Soediyarso, M., 1999, Fosfat Alam Sebagai Bahan Baku Dan Pupuk Fosfat, Pusat Penelitian Tanah Dan Agroklimat, Bogor.
7. Anonim, 1994, Laporan Analisis Dampak Lingkungan (Andal) Kawasan Industri Gresik, Desember 1994.
8. Roessler, C.E., Smith, Z.A., and Bolch, W.E. 1979, *Health Phys.*, 37, 269-277.
9. Boothe, G.F., 1977, The Need For Radiation Controls In The Phosphate And Related Industries, Health Physics, Pergamon Press, 32, 285-290.
10. Connel, D.W. and Miller, G.J., 1995. Kimia Dan Ekotoksikologi Pencemaran, Terjemahan Yanti Koestoer, Cetakan Pertama, Universitas Indonesia Press, Jakarta, 520 Halaman
11. Anonim, 1997, Agenda 21, Strategi Nasional Untuk Pembangunan Berkelanjutan, Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup, Jakarta.
12. Heijde, S.H.B., Klijn, P.J., and Passchier, W.F., 1998, *Radiat. Prot. Dosim.*, 24, 419-423.
13. Koster, H.W, Marwitz, P. A., Berger, G.W., Van Weers, A.W., Hagel, P., and Huize, J.N., 1992, *Radiat. Prot. Dosim.*, 45, 715-719.
14. UNSCEAR, 1998, Sources, Effects And Risks Of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee On The Effects Of Atomic Radiation, Report To The General Assembly With Annexes, United Nations, New York.
15. IAEA, 1989, Measurement Of Radionuclides In Food And The Environment-A Guidebook, Technical Report Series, No. 295, International Atomic Energy Agency, Vienna.
16. BATAN, 1995, Keputusan Direktur Jenderal Badan Tenaga Atom Nasional. Nomor: 293/DJ/VII/1995. Tentang Baku Mutu Radioaktivitas Di Lingkungan.
17. Michael, J.K., 1994, Practical Handbook Of Marine Science Boca Raton: Crc Press.
18. Martinez-Aguirre. A. And Garcia-Leon, M., 1994, *J. Environ. Radioactivity*, 22, 155-177.
19. UNSCEAR, 2000, Sources, Effects Of Ionizing Radiation, Volume 2. United Nations, New York.