

ANALISIS KANDUNGAN RADIONUKLIDA ALAM PADA SEDIMEN DI PERAIRAN BATAM

ANALYSIS THE CONTENT OF RADIONUCLIDE OF SEDIMENT IN THE WATERS OF BATAM

Mardimin¹, Nancy Willian², Muzahar²
Mahasiswa¹, Dosen Pembimbing²

Jurusan Ilmu Kelautan
Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji

ABSTRAK

Analisis kandungan radionuklida alam pada sedimen di perairan batam. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mendapatkan data kandungan radionuklida Bi-212, Bi-214, Pb-212 dan Pb-214 pada sedimen di perairan batam. Penelitian ini di laksanakan pada 30 Juli 2013- 30 Juli 2014. Lokasi pengambilan sampel di perairan batam adalah sekupang dan sambau. Sempel penelitian adalah sedimen. Pengambilan sampel di lakukan menggunakan Petersen grab dan kemudian sampel di bawa ke laboratorium untuk di lakukan preparasi kemudian di lakukan analisis lebih lanjut.

Hasil penelitian di peroleh bahwa rata-rata kandungan radionuklida Bi-212, Bi-214, Pb-212 dan Pb-214 pada stasiun sambau Bi-212 adalah 0,012 Bq/l, Bi-214 adalah 0,011 Bq/l, Pb-212 adalah 0,668 Bq/l dan Pb-214 adalah 0,019 Bq/l. sedangkan sekupang Bi-212 adalah 0,012 Bq/l, Bi-214 adalah 0,012 Bq/l, Pb-212 adalah 0,551 Bq/l dan Pb-214 adalah 0,017 Bq/l

Kata Kunci : *Sedimen, Radionuklida, Alam, Perairan Batam*

ABSTRACT

Analysis of radionuclide of sediment in the waters of batam. The study that aims to know content of radionuclide Bi-212, Bi-214, Pb-212 in the Batam Sea Sediment. The sampling locations are Sekupang and Sambau in the Batam sea. The samples are sediments. The sampling process using Petersen grab. The samples than taken to the laboratory for prerarations and further analysis. The method used was a survey method. Samples were obtained from the analysis of radionuclide content in the Center for Research and Development of Isotop and Radiation Techology (P3TIR) BATAN, Jakarta.

Based on the analysis, obtained by content of radionuclide of each station. The content of radionuclides of Sambau that station Bi-212 is 0,012 Bq/l, Bi-214 is 0,011 Bq/l, Pb-212 is 0,668 Bq/l and Pb-214 is 0,019 Bq/l. in the waters sekupang Bi-212 is 0,012 Bq/l, Bi-214 is 0,012 Bq/l, Pb-212 is 0,551 Bq/l and Pb-214 is 0,017 Bq/l

Keyword : Sediment, Radionuclide, , the waters of Batam

PENDAHULUAN

Adanya percobaan nuklir pada tahun 1978 hingga awal tahun 1979 diperkirakan telah diinjeksikan ke atmosfer dan tersebar secara global. Selain karena percobaan nuklir, keberadaan radionuklida di alam dapat berasal dari kontribusi sumber lain seperti PLTN, kecelakaan satelit berbahan bahan bakar nuklir dan kegiatan daur ulang bahan bakar nuklir. Karena radionuklida alam memiliki waktu paruh yang panjang dan laju migrasi vertical yang sangat lambat maka desposisi radionuklida akan bertambah terus dan diperkirakan terakumulasi pada 0-20 cm dari permukaan tanah.

Pada dasarnya, terlepas dari adanya percobaan nuklir dan beberapa sumber lain, radionuklida alam sudah terdapat sejak bumi tercipta. Namun keberadaan radionuklida alam tersebut sangat minim sekali. Seiring dengan perkembangan zaman maka sejalan dengan penggunaan teknologi yang canggih dalam proses industri, banyak industri yang menggunakan radionuklida dalam proses produksinya. Penggunaan teknologi yang menggunakan radionuklida tersebut memberikan efek positif maupun negative

Adapun beberapa radionuklida alam yang sering dihasilkan dalam kegiatan industry adalah Pb-210, Pb-212 dan Bi-212. Salah satu wilayah di Indonesia yang pertumbuhan industrinya cepat adalah Kota Batam. Kota Batam merupakan kawasan industri dan jalur pelayaran antar pulau dan antar negara yang berbatasan langsung dengan negara Singapura. Kawasan Batam yang berdasarkan

Kepres No. 41 / 1972 merupakan kawasan industri yang mana produk yang dihasilkan dari berbagai macam industri tersebut sangat penting dalam menambah devisa negara. Seiring dengan kemajuan industri dan pesatnya arus transportasi laut yang terdapat di daerah Batam bukan tidak mungkin akan memberikan dampak negatif pada lingkungan sekitarnya. Dengan banyaknya industri yang terdapat di daerah Batam memungkinkan masuknya zat pencemar ke dalam ekosistem laut baik itu secara langsung maupun tidak langsung.

Limbah dari hasil produk industri yang masuk ke perairan laut akan memberikan pengaruh yang besar terhadap biota perairan. Selain logam berat, bahan pencemar lain yang masuk ke perairan laut yaitu radionuklida yang berasal dari limbah industri, apabila bahan tersebut diserap oleh biota perairan akan mengakibatkan terjadinya kerusakan pada sel-sel dalam tubuh yang menyebabkan kematian atau pengaruh mutagen

Unsur radionuklida alam adalah unsur yang mempunyai konfigurasi unsure kimia tidak mantap, senantiasa meluruh sambil memancarkan radiasi α (alpha), β (beta) dan γ (gamma). Berdasarkan sumbernya, unsur tersebut dikelompokkan menjadi dua, yaitu unsur radionuklida kosmogenik dan unsur radionuklida primordial (dari dalam kerak bumi). Berbagai bahan yang berasal dari alam dan mengandung materi radioaktif dikenal dengan istilah *Naturally Occuring Radioactive Materials* (NORM).

Terlepasnya radionuklida kedalam lingkungan merupakan salah satu indeks dari keberhasilan suatu

instalasi nuklir. Selanjutnya terlepasnya radionuklida kedalam lingkungan dari instalasi nuklir merupakan masalah yang serius bagi keselamatan lingkungan, sehingga cepat atau lambat akan berdampak terhadap manusia. Terlepasnya radionuklida di lingkungan terjadi bukan saja karena limbah yang terlepas dari instalasi nuklir saja, akan tetapi juga berasal dari bahan dan produk industri yang mengandung bahan radioaktif

TINJAUAN PUSTAKA

Pencemaran adalah masuknya atau dimasukkannya zat atau energi oleh manusia baik secara langsung maupun tidak langsung ke dalam lingkungan laut yang menyebabkan efek merugikan karena merusak sumber daya hayati, membahayakan kesehatan manusia, menghalangim aktivitas perikanan di laut dan menurunkan mutu air laut yang digunakan (Hutagalung, 1984).

Menurut Hutagalung (1984) dalam Koenawan (2000), berdasarkan sifat pengurai, zat pencemar (polutan) dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu: a) zat pencemaran tahan urai (*nonbiodegradable pollutant*), misalnya persenyawaan logam berat, garam merkuri, fenol, pestisida, radionuklida dan sebagainya, b) mudah terurai (*biodegradable pollutant*), misalnya sampah domestik yang mudah membusuk secara alamiah.

Karakteristik Umum Radionuklida Alam

Radioaktivitas adalah gejala perubahan inti atom secara spontan yang disertai radiasi berupa gelombang elektromagnetik, gejala radioaktivitas disebabkan oleh ketidakstabilan inti atom. Suatu individu atom dengan satu nomor atom dan satu nomor massa tertentu disebut sebagai nuklida. Dalam contoh ${}_1\text{H}^1$ dan ${}_{92}\text{U}^{235}$ masing-masing

adalah nuklida. Nuklida yang bersifat radioaktif dinamakan radionuklida (Susetyo, 1988).

Secara internasional satuan untuk intensitas sumber radiasi yang disebut bacquerel, disingkat Bq. Satu Bq didefinisikan sebagai satu disintegrasi inti per sekon (dps) $1\text{Bq} = 1\text{ dps}$. Disamping satuan Baquerel, masih dipergunakan satuan lama yang disebut satuan Curie disingkat Ci. Satu Ci adalah $3,7 \times 10^{10}$ Bq dan $1\text{Bq} = 27,027 \times 10^{-12}$ Ci (Susetyo, 1988).

Etherington dalam Yumiarti dan Surtipatri, 1987 menyatakan peluruhan radioaktif suatu isotop terjadi secara spontan dan tidak dipengaruhi oleh uinsur-unsur dari luar. Kecepatan peluruhan radioisotop dapat didefinisikan sebagai waktu paroh, yaitu waktu yang digunakan oleh atom radioaktif untuk meluruh menjadi setengahnya dalam disintegrasi inti atom radioaktif.

Radionuklida primordial adalah radionuklida yang berasal dari nuklida lain dalam pembentukan nukleogenesis kosmik reaksi thermonuklir dari bintang yang kemudian meledak sebagai supernova dan memperkaya awan dimana matahari dan tata surya berasal. Radionuklida primordial menjadi bagian dari bumi saat tata surya terbentuk sekitar 4 – 5 miliar tahun yang lalu. Radionuklida primordial ini memiliki waktu paruh yang panjang yaitu 10^8 tahun jika diawetkan.

Adapun radionuklida yang tergolong dalam radionuklida primordial adalah ${}^{40}\text{K}$ dan ${}^{232}\text{Th}$.

Radionuklida sekunder adalah radionuklida yang berasal dari peluruhan radionuklida utama seperti ${}^{232}\text{Th}$, ${}^{235}\text{U}$ dan ${}^{238}\text{U}$. Contoh dari radionuklida sekunder adalah ${}^{222}\text{Rn}$.

Radionuklida kosmogenik adalah radionuklida yang berasal dari reaksi nuklir ketika energi radiasi

kosmik melewati atmosfer bumi. Contohnya radiokarbon (^{14}C) dan tritium (^3H). Adapun radionuklida yang dihitung nilai kandungannya pada penelitian ini adalah ^{212}Bi , ^{214}Bi , ^{212}Pb dan ^{214}Pb . ^{212}Bi adalah hasil peluruhan dari ^{212}Pb . Dalam susunan periodic bismuth terletak pada golongan VA perioda 6 mempunyai nomor atom 83. Radioisotop Bismuth-212 merupakan produk fisi yang berumur relatif pendek yaitu 60,55 menit.

Sumber Radionuklida di Lingkungan Perairan

Menurut Wardhana (1995), secara alamiah radioaktif lingkungan sudah ada sejak terbentuknya bumi ini, mengingat bahwa zat radioaktif dapat menyebabkan berbagai macam kerusakan biologis baik melalui efek langsung maupun efek tertunda.

Menurut Haury dan Scikarski dalam Connell dan Miller, (1995) banyak radionuklida alamiah terdapat di semua bagian lingkungan alam akibatnya terdapat suatu latar belakang alamiah radioaktif.

Schultz dan Whiclar dalam Connell dan Miller, (1995) melaporkan bahwa masuknya bahan radioaktif yang dihasilkan dari pabrik dan tenaga nuklir yang tersebar, diduga lebih banyak terjadi pada lingkungan perairan dibandingkan di daratan.

Radionuklida yang pernah dijumpai sebagai pencemar radioaktivitas lingkungan perairan dapat diketahui melalui indikator biologis seperti phytoplankton, zooplankton, mollusca, crustacea dan ikan (Wardhana, 1994).

Radioanuklida alam dicirikan sebagai deret uranium, thorium yang mempunyai umur paro panjang. Keberadaan radionuklida alam pada umumnya berasal dari pelapukan batuan, masukan pupuk maupun

kontaminasi akibat buangan limbah industri.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah pengambilan sampel komponen lingkungan (sedimen) dari dua lokasi yaitu daerah perairan Sambau dan daerah Sekupang yang dianggap telah mewakili perairan Batam. Tahap kedua analisis kandungan radionuklida dilakukan di laboratorium PATIR BATAN Jakarta, secara radiokimia sesuai prosedur yang dikembangkan Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN).

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah : *Petersen Grab*, *oven*, *ice box*, sendok Teflon, alat gerus (penumbuk), ayakan, toples plastic, spectrometer ganda yang dilengkapi detector semikonduktor germanium (HP Ge), *multi channel analyzer* Camberra-35 plus (MCA). Untuk menganalisa kandungan radionuklidanya tidak digunakan bahan-bahan kimia, sedangkan alat-alat digunakan untuk pengukuran parameter lingkungan perairan yaitu *handrefraktometer* untuk mengukur salinitas, *current meter* untuk mengukur kecepatan arus, *pH meter* untuk mengukur derajat keasaman dan *thermometer* untuk mengukur suhu perairan.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei, dimana perairan Batam dijadikan lokasi pengambilan sampel. Selanjutnya sampel yang diperoleh dari lokasi penelitian dianalisa kandungan radionuklida di Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (PATIR) BATAN, Jakarta.

Metode Mekanisme Kerja Semikonduktor HPGe dan Multi Channel Analyzer (MCA)

Proses deteksi pada detektor semikonduktor ge sebagian mirip dengan ruang ionisasi yang diisi gas, sehingga beberapa analogi antara kedua detektor akan berguna untuk memahami mekanisme deteksi. Banyak elektron bebas dan lubang positif akan diproduksi, seperti proses ionisasi dalam gas, dengan disipasi energi dari elektron energik tanpa kristal ge. Energi rata-rata yang diperlukan untuk menghasilkan sepasang lubang elektron positif adalah sekitar 2,9 eV. Oleh karena itu, muatan listrik yang dihasilkan dalam detektor ge akan 10 faktor lebih besar dibandingkan energi yang dihasilkan dalam ruang ionisasi gas. Hal ini merupakan salah satu alasan mengapa detektor semikonduktor ge memiliki resolusi energi yang unggul.

Ketika medan listrik diterapkan pada detektor, elektron bebas dan lubang dapat melayang ke arah tiap elektroda. Mereka bertindak sebagai pembawa muatan dan memberikan kontribusi untuk menghasilkan dorongan sinyal listrik yang ketinggiannya proporsional sesuai dengan energi yang dihamburkan. Detektor semikonduktor ge harus bebas dari pengotor atau kerusakan kisi-kisi yang akan menjebak pembawa muatan. Untuk itu, kristal ge dengan kemurnian tinggi (high purity ge detector) atau kompensasi pengotor ge (lithium drifted ge detector) digunakan untuk membuat detektor. Detektor ge harus dioperasikan pada suhu nitrogen cair sehingga arus listrik termal yang dihasilkan akan berkurang hingga mencapai nol.

Dorongan sinyal diumpankan ke penguat linear di mana dorongan diperkuat dan dibentuk untuk meningkatkan sinyal hingga ke rasio

bising. Hasil dorongan dari amplifier dapat dianalisis oleh multi channel pulse height analyzer (MCA). Inti dari MCA adalah mengubah dari analog ke digital (ADC), dimana kuantitas analog dari tinggi dorongan (dalam satuan volt) akan dikonversi secara proporsional ke jumlah digital (dalam unit channel). Tahapan operasi di ADC diawali dengan sebuah dorongan tegangan yang diumpankan ke ADC yang membentangi. Setelah mendeteksi ketinggian maksimum dorongan, muatan listrik memegang ketinggian maksimum yang dibuang dengan laju konstan sehingga terbuka durasi waktu dari awal sampai akhir pemakaian. Dalam durasi ini, waktu dorongan dari generator dengan frekuensi tinggi akan melewati pintu dan dihitung oleh scaler berkecepatan tinggi yang disebut address scaler. Jumlah waktu dari dorongan yang dihitung oleh scaler menentukan alamat (saluran) dari memori data. Kemudian, sinyal logika dengan nomor kode saluran i-th dihasilkan dan meningkatkan jumlah hitungan dalam memori i-th dengan angka satu. Sejumlah besar proses yang sama membentuk distribusi tinggi dorongan (spektrum) sebagai semacam histogram yang terdiri dari 1024 ch atau 4096 ch.

Jenis MCA mengalami dead-time terbatas yang disebabkan oleh konversi AD dan proses dorongan logika. Hal ini dihasilkan dalam perhitungan yang hilang tergantung pada tingkat dorongan yang masuk dan jumlah saluran setiap dorongan. Praktek penggunaan MCA pada umumnya, hilangnya perhitungan dikoreksi secara otomatis dengan "live time" yang memperpanjang waktu penghitungan nyata sesuai dengan total waktu mati. Analisis Kandungan Radionuklida pada sedimen dilakukan berdasarkan standar buku Pusat Aplikasi Teknologi Isotop

dan Radiasi, BATAN (Susetyo, 1988). Untuk menentukan kadar Radionuklida dilakukan beberapa tahapan kerja yaitu:

Penanganan Awal Sampel

Preparasi sampel sedimen dilakukan di laboratorium PATIR BATAN meliputi pengeringan dalam oven pada suhu 105°C selama 5 jam dan ditumbuk halus sampai dengan ukuran 0,297 mm. Sampel yang telah dikeringkan dan ditumbuk halus kemudian ditimbang seberat 500 gram kemudian dimasukkan ke dalam toples plastik khusus. Tutup toples kemudian di isolasi agar sampel tersebut tidak terkontaminasi dengan udara dari luar. Sampel yang telah dimasukkan ke dalam toples plastik tersebut siap untuk di analisis kandungan radionuklidanya. Proses dapat dilihat pada lampiran 3.

Pemeriksaan dengan Detektor Semikonduktor (HP Ge)

Alat yang digunakan dalam pengukuran kandungan radionuklida adalah detektor semikonduktor germanium (HP Ge) dan

penganalisis saluran ganda *multi channel analyzer* (MCA) camberra-35 plus dengan menggunakan nitrogen cair sebagai pendingin. Alat detektor sebelum menganalisis terlebih dahulu dikalibrasi dengan menggunakan bahan radioaktif ^{152}Eu dengan *multi gamma* selama 2 jam.

Analisis radionuklida pemancar gamma dilakukan dengan meletakkan sebanyak 500 gram sampel sedimen yang telah dipreparasi dalam wadah di atas detektor HPGe yang tersambung dengan sistem MCA dan PC.

Sampel tersebut kemudian dianalisis selama 24 jam. Selanjutnya hasil analisis dapat dilihat pada layar PC.

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, di dapatkan hasil kandungan Radionuklida alam pada sedimen laut ditiap stasiun

Kandungan Radionuklida Alam pada Sedimen di Perairan Sambau

Lokasi Penelitian	Kandungan Radionuklida	Stasiun (Bq/g)			Rata-rata
		I	II	III	
Sambau	^{212}Bi	0.013	0.011	0.012	0.012 Bq/g
	^{214}Bi	0.015	0.016	0.013	0.011 Bq/g
	^{212}Pb	0.582	0.931	0.490	0.668 Bq/g
	^{214}Pb	0.019	0.014	0.019	0.017 Bq/g

Sumber : Hasil Pengolahan Data, 2012

Kandungan radionuklida ^{212}Bi pada daerah Perairan Sambau untuk Substasiun II memiliki kandungan terendah yaitu 0.011 Bq/gr, kemudian diikuti oleh substasiun III yaitu 0.012 Bq/gr dan pada substasiun I tertinggi yaitu 0.013 Bq/gr. Untuk ^{214}Bi kandungan tertinggi terletak pada

substasiun II yaitu 0.016 Bq/gr, selanjutnya substasiun I yaitu 0.015 Bq/gr dan substasiun III yaitu 0.013 Bq/gr.

pada substasiun I di perairan sekupang memiliki kandungan radionuklida ^{212}Pb tertinggi yaitu 0.598 Bq/gr, kemudian substasiun II adalah 0.53 Bq/gr dan substasiun III yaitu 0.526 Bq/gr. Sedangkan untuk

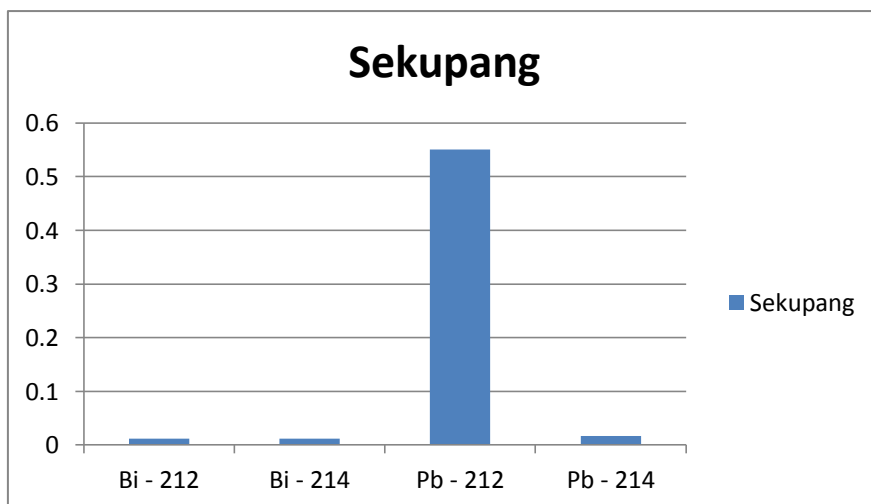
kandungan radionuklida ^{214}Pb tertinggi terletak pada substasiun II yaitu 0.024 Bq/gr, kemudian di ikuti substasiun III yaitu 0.017 Bq/gr dan substasiun I yaitu 0.011 Bq/gr.

Kandungan Radionuklida Alam pada Sedimen di Perairan Sekupang

Lokasi Penelitian	Kandungan Radionuklida	Stasiun			Rata-rata
		I	II	III	
Sekupang	^{212}Bi	0.015	0.009	0.011	0.012
	^{214}Bi	0.015	0.01	0.012	0.012
	^{212}Pb	0.598	0.53	0.526	0.551
	^{214}Pb	0.011	0.024	0.017	0.017

^{212}Bi , ^{214}Bi , ^{212}Pb dan ^{214}Pb merupakan radionuklida yang mewakili keberadaan radionuklida alam di lingkungan perairan. Kandungan radionuklida alam pada sedimen laut masing-masing perairan berbeda, rata-rata kandungan ^{212}Bi pada perairan Sambau dan Sekupang sama yaitu sebesar 0.012 Bq/gr, rata-rata kandungan ^{214}Bi tertinggi terdapat pada perairan Sekupang yaitu 0.012 Bq/gr dimana kandungan radionuklida ^{214}Bi tertinggi terdapat pada substasiun I yaitu 0.015 Bq/gr kemudian substasiun III yaitu

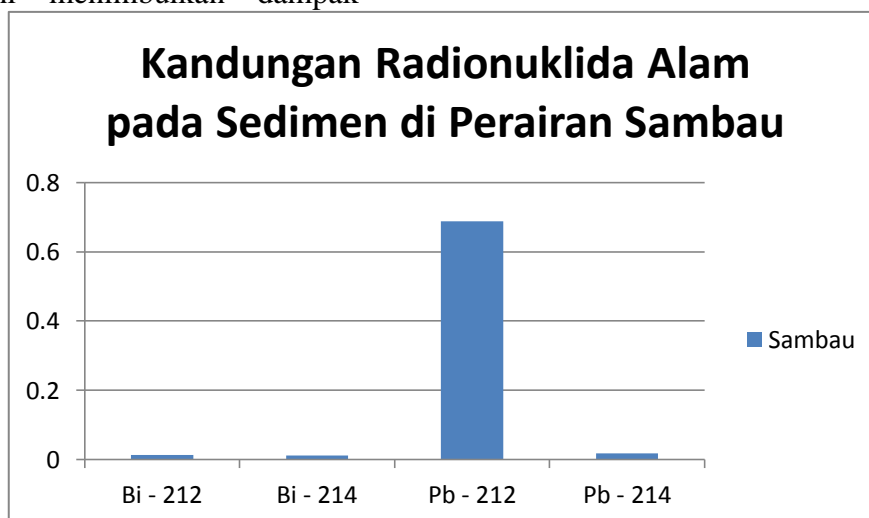
0.012 Bq/gr dan substasiun II yaitu 0.01 Bq/gr. Kemudian rata-rata kandungan radionuklida ^{212}Pb tertinggi terdapat pada perairan Sambau yaitu 0.668 Bq/gr dan kandungan radionuklida ^{214}Pb memiliki tingkat kandungan yang sama antara perairan Sambau maupun perairan Sekupang yaitu 0.017 Bq/gr. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan perusahaan-perusahaan di sekitar tempat penelitian memberikan pengaruh kepada nilai kandungan radionuklida alam pada sedimen di perairan tersebut



Histogram Kandungan Radionuklida Alam pada Sedimen di Perairan Sekupang

Selain itu, tinggi kandungan radionuklida ^{212}Pb pada perairan Sambau disebabkan oleh aliran limbah industry yang di buang langsung oleh perusahaan, kegiatan industry pada kawasan ini menimbulkan dampak

terhadap perairan khususnya kandungan ^{212}Pb , diperkirakan limbah industry yang menggunakan bahan radioaktif dapat meningkatkan kandungan ^{212}Pb diperairan.



Histogram Kandungan Radionuklida Alam pada Sedimen di Perairan Sambau

Wardhana (1994) menyatakan bahwa bahan radioaktif yang masuk ke lingkungan laut disebabkan oleh kegiatan industri dan teknologi nuklir melalui sungai dan udara yang akhirnya sampai juga kepada manusia..

Bahan radioaktif menyebabkan terjadinya pra-ionisasi pada gas yang dimasukkan untuk menghantarkan arus listrik sehingga piranti menjadi peka dan bekerja. Contoh penerapan adalah tabung selal latu, stater lampu, tabung

fluorensi dan tabung pelatuk picu pada
V KESIMPULAN

Kandungan radionuklida alam pada sedimen di perairan Sambau dan Sekupang menunjukkan tingkat yang masih di bawah nilai ambang batas yang ditetapkan oleh Kep. Ka Bapeten No. 02/ Ka-BAPETEN/ V-99 tentang Baku Tingkat Radioaktivitas di Lingkungan (Lampiran II). Kandungan radionuklida ini diperkirakan berasal dari beberapa limbah yang dihasilkan industri di sepanjang perairan Batam dan juga berasal dari Singapura.

DAFTAR PUSTAKA

- Connell, D. W dan G. J. Miller, 1995. Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran. Diterjemahkan oleh Yanti Koestoer. Universitas Indonesia Press 455 hal.
- Emery, R. N and D. C. Clopter, 1972. The distribution of Transuranic Elements in a Freshwater Pond Ecosystem. Michigan, 269 p.
- Hutagalung, H.P., 1984. Logam Berat di Lingkungan Laut. Perwarta Oseana: 9(1); 1-8.
- Koenawan, J. K., 2000. Analisis Kandungan Radionuklida Cs-137 pada Sedimen di Perairan Batam. Skripsi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Riau.
- Nybakken, J. W., 1992. Biologi Laut: Suatu Pendekatan Ekologis. Gramedia, Jakarta. 459 hal.
- Ophel, I. L. 1976. Effects of Ionising Radiation on Aquatic Organisms. Dalam Effect of Ionising Radiation on Aquatic Organisms and Ecosystems, perabotan listrik (Thayib, 1988). Hal ini karena sedimen yang terdapat disepanjang Perairan di permukaan selalu bergerak dan tercampur dengan sedimen di lapisan bawah. Hal ini disebabkan adanya pergerakan arus yang memutuskan ikatan antar butiran sedimen sehingga sedimen permukaan menjadi tersuspensi di perairan. Sedimen tersuspensi tersebut akan mengendap kembali setelah berikatan dengan padatan tersuspensi lainnya yang juga melayang-layang di perairan laut
- Technical Report Series No. 172. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Situmorang SP. 2011. Tingkat Cemarannya Unsur Radionuklida Alam ^{238}U dan ^{232}Th di Perairan Sekitar Kawasan PLTU Batubara (Kajian Di Perairan Puau Panjang dan Pesisir Teluk Lada, Banten) Tesis Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Sundawan IKA . 2003. Analisis Radionuklida Alami ^{228}Th ^{226}Ra dan ^{40}K Dalam Sampel Tanah di Wilayah Kota Bogor. Skripsi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor.
- Suratman, Nareh M, Indiyati dan Masrur. 2001, Penentuan Konsentrasi ^{226}Ra Dalam Air Minum dan Perkiraan Dosis Interna dari Beberapa Lokasi di Jawa dan Sumatera. Risalah Pertemuan Ilmiah Peneliti dan Pengembangan Aplikasi dan Radiasi. Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir, BATAN. Jakarta

- Susetyo, W., 1988. Spektrometri Gamma dan Penerapannya dalam Analisis Pengaktifan Neutron, Yogyakarta 1988.
- Thoha, H., 1991. Pencemaran Laut dan Dampak terhadap Lingkungannya. *Pewarta Oseana VI (2)*; 10-13
- Wardhana, W. A., 1994. Teknik Analisis Radioaktifitas Lingkungan, Andi Offset, Yogyakarta.
- , 1995. Dampak Pencemaran Lingkungan, Andi Offset, Yogyakarta.
- , 1996. Radioekologi, Andi Offset, Yogyakarta.
- Yumiarti dan S. Surtipatri., 1987. Isolasi ^{137}Cs dalam Contoh Ikan Tuna dengan Amonium Fosfomolibdat, Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN. (tidak diterbitkan)