

KAJIAN KANDUNGAN U DAN Th DALAM SEDIMEN SUNGAI DI SEMENANJUNG MURIA DENGAN METODA AKTIF DAN PASIF

Sukirno dan J. Djati Pramana

P3TM – BATAN

ABSTRAK

KAJIAN KANDUNGAN U DAN Th DALAM SEDIMEN SUNGAI DI SEMENANJUNG MURIA DENGAN METODA AKTIF DAN PASIF. Penentuan uranium dan thorium telah dilakukan dengan metoda aktif yaitu dengan analisis aktivasi neutron (AAN) dan metoda pasif dengan teknik spektrometri gamma dalam cuplikan sedimen sungai. Pada metoda aktif U dan Th ditentukan berdasarkan reaksi $^{238}\text{U}(n,\gamma)^{239}\text{Np}$ dan $^{232}\text{Th}(n,\gamma)^{233}\text{Pa}$. Uranium diidentifikasi melalui tenaga puncak 228,2 keV dari ^{239}Np dan Th melalui tenaga puncak 312 dan 300 keV dari ^{233}Pa . Pada metoda pasif U dan Th ditentukan berdasarkan dari anak luruhnya yaitu ^{214}Pb dan ^{212}Pb pada tenaga puncak 235,9 keV dan 238,6 keV. Analisis dilakukan dengan membandingkan cuplikan terhadap standar acuan NBL-110A dan SRM 1645. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa kedua metoda tidak berbeda secara nyata pada pengujian dengan taraf kepercayaan 95%. Metoda aktif memberikan nilai akurasi > 90% dan metoda pasif > 86%, sedangkan toleransi yang cukup baik diatas 85%.

ABSTRACT

ASSESSMENT OF U AND Th CONTENT IN RIVER SEDIMENT OF MURIA PENINSULA BY ACTIVE AND PASSIVE METHODS. The determination of uranium (U) and thorium (Th) has been done using active method by neutron activation analysis (NAA) and passive method by gamma spectrometry technique in river sediment samples. For active method U and Th were determined as $^{238}\text{U}(n,\gamma)^{239}\text{Np}$ and $^{232}\text{Th}(n,\gamma)^{233}\text{Pa}$. Uranium was identified from peak energy 228,2 keV of ^{239}Np and Th from the peak energy 312 and 300 keV of ^{233}Pa . For passive method U and Th were determined from the daughters of ^{214}Pb and ^{212}Pb at peak energy of 235,9 keV and 238,6 keV. Quantitative analysis was done by comparing the sample with materials NBL 110A and SRM 1645. The statistic test result shows that there is no significant different between both method with the significant level of 95. The active method gives the accuracy value > 90% and the active method > 86%, Whereas tolerance level is good enough above 85%.

PENDAHULUAN

Rencana pemerintah yang akan direalisasi dalam waktu dekat beroperasinya industri Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Jati B di Tubanan, dan rencana lokasi pembangunan Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) telah dilakukan studi tapak dan studi lingkungan pada tahun 1991 – 1996 oleh konsultan NEWJEC (1) dari Jepang. Dengan perkembangan industri tersebut tidak menutup kemungkinan terjadinya polusi terhadap lingkungan khususnya polusi zat radioaktif dan nonradioaktif. Maka perlu sedini mungkin diamati kualitas lingkungan pada waktu sekarang dan akan datang, terutama analisis atau pemantauan uranium dan thorium alam disekitar daerah tersebut.

Di dalam kerak bumi terdapat unsur alamiah primordial yaitu jenis radioaktif alam yang sudah terbentuk semenjak terbentuknya planet bumi ini.

Unsur-unsur radioaktif yang termasuk kedalam jenis ini adalah U-238, U-235, Th-232 bersama anak luruhnya (dikenal juga dengan deret uranium dan thorium) dan K-40. Menurut BENEDIICT et al (2) peluruhan deret uranium dan thorium akan menghasilkan berbagai macam anak luruh dengan umur paro dari orde detik sampai ribuan tahun.

Menurut TOJO (3) dan SUKIRNO dkk (4) metoda aktif merupakan suatu bahan cuplikan diiradiasi dalam reaktor nuklir menggunakan neutron termal sehingga unsur-unsur yang terdapat dalam bahan cuplikan akan menjadi aktif dan mengeluarkan sinar gamma. Pembuatan aktivasi radiasi dipakai sebagai teknik untuk identifikasi kualitatif dan analisis kuantitatif. Sedangkan metoda pasif adalah bahan cuplikan langsung dilakukan pencacahan dengan mengidentifikasi sinar gamma

radionuklida yang ada dalam bahan tersebut dengan teknik spektrometri gamma.

Untuk mengetahui apakah ada perbedaan kedua metoda aktif dan pasif, maka akan dilakukan uji hipotesis. Menurut SUDJANA (5) uji hipotesis yang digunakan adalah uji hipotesis statistik varians (anava) desain acak sempurna. Desain penelitian bertujuan untuk memperoleh atau mengumpulkan informasi yang diperlukan dan berguna dalam melakukan penelitian untuk mengambil keputusan perbedaan analisis uranium dan thorium dengan metoda aktif maupun pasif.

Kualitas data analitik ditentukan oleh kualitas kinerja laboratorium analitik dan bergantung pada banyak variabel operasional, misalnya jenis dan kondisi prasarana dan sarana, kalibrasi dan standarisasi peralatan, validasi metoda, kondisi operasional dan pengalaman serta keterampilan para analisis dan supervisor. Pada dasarnya akurasi hasil analisis metoda aktif maupun pasif diuji dengan membandingkan terhadap cuplikan acuan standar (*standard reference material, SRM*). Hasil analisis kadar unsur-unsur atau aktivitas radionuklida dibandingkan dengan nilai kadar yang tercantum dalam sertifikat. menurut SUKIRNO (6) ketetapan hasil pengukuran diukur dari seberapa dekat hasil analisis mampu mendekati nilai yang tercantum dalam sertifikat.

Tujuan penelitian ini adalah tersusunnya data rona awal logam uranium dan torium alam dalam sedimen sungai di daerah calon tapak PLTN Ujung Lemahabang, yang mengakomodasikan data lingkungan terkini dalam rangka memperoleh izin tapak dan AMDAL PLTN.

TATA KERJA

Alat

Reaktor Nuklir Kartini, seperangkat spektrometer gamma dengan detektor Ge(Li), timbangan Analitik Ohaus-GT 410, ayakan Karl Colb 100 mesh, agat porselin, Vial polietilen, cawan, dan alat-alat gelas

Bahan

Bahan kimia Th(NO₃)₄.5H₂O (Merck), UO₂(NO₃)₂.6H₂O (Merck), NBL 106 Campuran U dan Th dalam pasir monasit dari New Brunswich Laboratory USA, pasir monasit NBL 110-A dan River sediment Kode SRM 1645, serbuk selulosa, sedimen sungai disekitar semenanjung Muria, tempat sedimen basah dan kering yang berlabel.

Cara Kerja

Sedimen sungai Balong, Suru, Kancilan, Gelis diambil dikawasan rencana lokasi pembangunan PLTN. Sedimen dikeringkan dan dihilangkan dari kotoran kemudian dihaluskan 100 mesh lolos dan dihomogenkan dan ditempatkan dalam wadah yang bebas kontaminasi. Sedimen dalam wadah tersebut telah siap untuk dianalisis kandungan uranium dan thoriumnya dengan metoda aktif dan pasif

Metoda aktif, dibuat cuplikan standar sekunder thorium dan uranium yang diencerkan dalam selulosa dengan konsentrasi 0,5 - 10 mg/kg. Cuplikan ditimbang masing-masing seberat 0,1 g dalam vial. Cuplikan sedimen, standar sekunder dan primer dimasukkan dalam kelongsong iradiasi. Iradiasi cuplikan dilakukan dalam fasilitas Lazy Susan selama 12 jam dengan fluks neutron $0,58 \times 10^{11}$ n.cm⁻²det⁻¹. Setelah iradiasi dihentikan kemudian didinginkan selama 5 hari kemudian dilakukan pencacahan radionuklida Pa-233 dengan puncak tenaga 300 dan 312 keV untuk mengetahui adanya torium dan Np-239 dengan tenaga puncak 228,2 keV untuk uranium. Pencacahan dilakukan dengan menggunakan spektrometri gamma dengan detector Ge(Li) selama 600 detik.

Metoda pasif, sedimen dimasukkan dalam kontainer plastik seberat 100 gram, kemudian dilakukan pencacahan selama 12.000 detik dengan menggunakan teknik spektrometri gamma, pencacahan dilakukan dengan 3 kali pengulangan. Bersamaan itu dilakukan juga pencacahan standar yang merupakan SRM yang telah diketahui kadarnya. Pada saat pencacahan efisiensi detektor telah diketahui nilainya.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung aktivitas dan kadar U dan Th dalam sedimen adalah persamaan (1), untuk mengetahui aktivitas cuplikan menuju waktu pada saat iradiasi dihentikan (No) untuk metoda aktif. Sedangkan metoda pasif aktivitas dihitung dengan persamaan (2). Persamaan (3) untuk mengetahui kadar U dan Th dalam sedimen dengan metoda komparatif untuk metoda aktif maupun pasif.^[3,4,6]

$$No = Nt \cdot e^{0,693t/T} \quad (1)$$

$$A = \frac{N}{E \cdot P_Y \cdot W} \quad (2)$$

$$W_{cuplikan} = \frac{No_{cuplikan}}{No_{s\ tan\ dar}} \cdot W_{s\ tan\ dar} \quad (3)$$

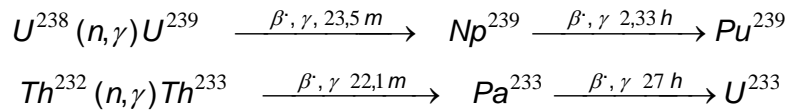
dengan ;

- W = kadar unsur yang diperhatikan mg/kg
 Nt = laju cacah pada saat pencacahan (sps)
 No = laju cacah pada saat iradiasi dihentikan (cps)
 T = waktu paro (detik)
 t = waktu tunda (detik)
 A = aktivitas radionuklida yang diperhatikan Bq/kg
 P_Y = probabilitas atau kelimpahan isotop (%)

Untuk menghitung akurasi menggunakan persamaan (4) seperti dibawah ini^[6]

$$Akurasi = \left[1 - \left| \frac{K_S - K_T}{K_S} \right| \right] \times 100\% \quad (4)$$

K_S, K_T = kadar unsur sertifikat, Kadar unsur terukur (mg/kg)



Pada reaksi aktivasi tersebut U²³⁸ dan Th²³² ditentukan dari radionuklida Np²³⁹ dan Pa²³³, kedua radionuklida ini merupakan anak luru dari U²³⁹ dan Th²³³. Radionuklida Np²³⁹ memancarkan sinar gamma pada tenaga 228,2 keV dengan probabilitas 10,72 % dan umur paro 2,33 hari sedangkan dan Pa²³³ pada tenaga 311,8 keV dengan probabilitas 33,70 % dengan umur paro 27,4 hari. Menurut ERDTMANN (7) yang telah membuat tabel bahwa radionuklida Np²³⁹ dan Pa²³³, mempunyai lebih dari satu tenaga atau mempunyai multi tenaga gamma.

Metoda pasif dilakukan dengan mengidentifikasi radionuklida dari anak luru

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Secara Kualitatif

Penentuan unsur secara kualitatif dilakukan dengan menentukan tenaga dari puncak-puncak spektrum kemudian mencocokkan dengan tabel isotop. Pada Tabel 1 merupakan hasil identifikasi radionuklida secara kualitatif untuk mengetahui uranium dan thorium dengan metoda aktif yaitu secara analisis aktivasi neutron (AAN) dan metoda pasif dengan teknik spektrometri gamma. Kedua metoda ini dilakukan berdasarkan anak luruhnya masing-masing.

Hasil metoda aktif melalui reaksi aktivasi neutron, seperti dibawah ini:

deret uranium dan deret thorium yaitu masing-masing radionuklida Pb-214 atau Ra-266 dan Pb-212. Pada tabel isotop Pb-214 mempunyai 26 tenaga puncak, mempunyai probabilitas 0,005% sampai dengan 37,1% dan umur paro 26,8 menit, dan Ra-266 mempunyai 4 puncak tenaga dan mempunyai probabilitas dari 0,0065 sampai dengan 3,28% dan umur paro 1600 tahun, sedangkan Pb-212 mempunyai 4 tenaga puncak, mempunyai probabilitas 0,02% sampai dengan 43,1% dan umur paro 10,6 jam. Untuk mengidentifikasi radionuklida dipilih probabilitas yang mempunyai prosentase paling tinggi.

Tabel 1. Radionuklida yang diperhatikan dari aktivasi neutron U dan Th serta anak luru deret U dan deret Th

Radionuklida	Tenaga (keV)		Radionuklida diperhatikan		Probabilitas (%)	
	Aktif	Pasif	aktif	Pasif	Aktif	Pasif
U-238	228,2	235,9	Np-239	Pb-214	10,72	37,1
Th-232	311,8	238,6	Pa-333	Pb-212	33,70	43,1

Penentuan Secara Kuantitatif

Setelah dipilih radionuklida Np-239, Pa-233 untuk metoda aktif dan Pb-214, Pb-212 untuk metoda pasif, yang mempunyai probabilitas terbesar secara kualitatif, maka selanjutnya adalah penentuan secara kuantitatif. Analisis kuantitatif ini dilakukan dengan cara komparatif radionuklida dalam cuplikan dengan radionuklida yang ada dalam standar, dengan menggunakan persamaan (3).

Hasil analisis kuantitatif dengan metoda aktif dan pasif, untuk uranium dan thorium alam yang terdapat dalam sedimen sungai, digambarkan sebagai histogram Gambar 1 dan 2, atau penyajian pada Tabel 2. Terlihat bahwa konsentrasi yang teranalisis untuk kadar thorium lebih tinggi dari pada kadar uranium dalam sedimen di seluruh lokasi pengambilan cuplikan.

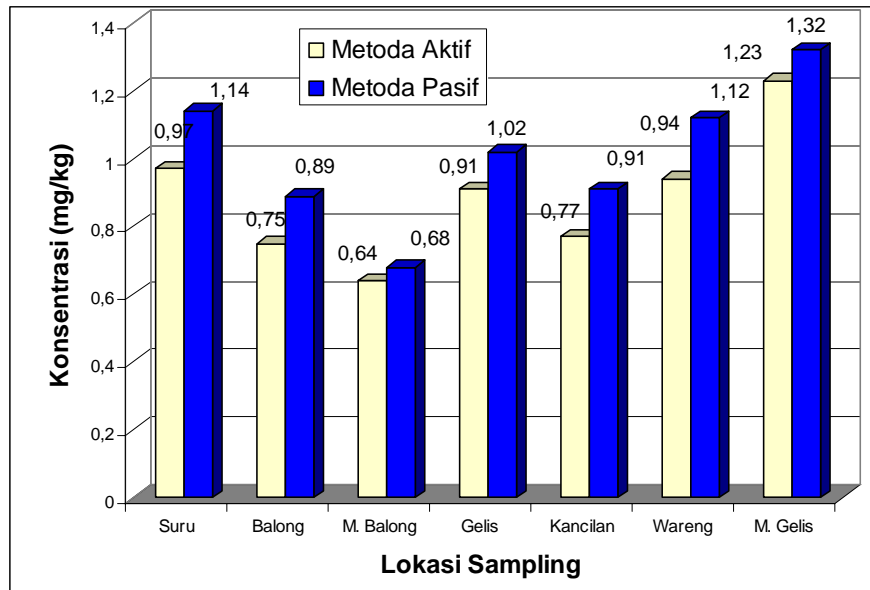
Gambar 1, histogram konsentrasi U berbagai lokasi *sampling* yang dilakukan, Pada histogram

tersebut terlihat bahwa kadar uranium pada umumnya setiap lokasi berbeda walaupun tidak mencolok, baik itu pada analisis metoda aktif maupun pasif. Analisis dengan menggunakan metoda pasif kadar yang terdeteksi dalam cuplikan sedimen pada umumnya lebih besar dari pada metoda aktif, perbandingan antara kedua metoda tersebut sekitar (5,9% - 15,7%). Hal ini bisa terjadi pada metoda pasif yang banyak dipengaruhi besaran parameter, misalnya probabilitas radionuklida, efisiensi detektor, anak luruh daripada uranium itu sendiri.

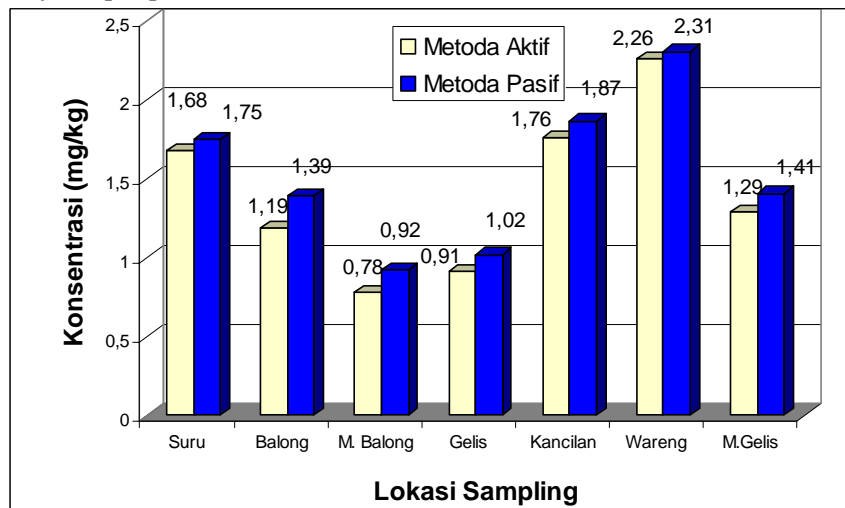
Kadar terendah untuk uranium terdapat pada sungai Balong dibagian muara dengan konsentrasi

$0,64 \pm 0,05$ mg/kg, sedangkan kadar yang tertinggi terdapat di sungai Gelis bagian mura dengan konsentrasi $1,32 \pm 0,11$ mg/kg.

Gambar 2, merupakan perbandingan histogram konsentrasi thorium dalam sedimen berbagai lokasi *sampling*. Perbandingan antara metoda aktif dan pasif sekitar (2,1% - 13,7%) dan pada umumnya metoda aktif konsentrasinya lebih kecil untuk setiap cuplikan. Untuk thorium kadar terendah terdapat pada sungai Balong pada bagian muara dengan nilai $0,68 \pm 0,05$ mg/kg dan kadar tertinggi terdapat di sungai Waren dengan nilai $3,212 \pm 0,588$ mg/kg.



Gambar 1. Perbandingan histogram hasil analisis uranium dalam sedimen sungai dengan metoda aktif dan pasif



Gambar 2. Perbandingan histogram hasil analisis thorium dalam sedimen sungai dengan metoda aktif dan pasif

Tabel 2. Data analisis uranium dan thorium dengan metoda aktif dan pasip

Nama Sungai	Metoda Aktif		Metoda Pasif		Perbedaan (%)	
	U	Th	U	Th	U	Th
Suru	0,97±0,06	1,68±0,04	1,15±0,100	1,75±0,02	15,6	4,0
Balong	0,75±0,07	1,19±0,21	0,89±0,07	1,38±0,06	15,7	13,7
M. Balong	0,64±0,05	0,78±0,05	0,68±0,05	0,92±0,12	5,9	3,9
Gelis	0,91±0,07	0,98±0,03	1,02±0,09	1,02±0,15	10,8	8,5
M. Gelis	1,23±0,09	1,29±0,11	1,32±0,11	1,41±0,22	6,8	8,5
Kancilan	0,77±0,07	1,76±0,13	0,91±0,08	1,87±0,11	15,3	5,9
Wareng	0,94±0,07	2,26±0,16	1,11±0,11	2,31±0,05	15,3	2,1

Untuk menguji apakah kedua metoda yang dipergunakan untuk analisis uranium dan thorium mempunyai perbedaan yang signifikan, maka dilakukan pengujian hipotesis statistik dengan persentasi perbedaan yang paling besar. Pada Gambar 1, perbandingan histogram kadar uranium untuk sungai Balong metoda aktif sebesar $0,75 \pm 0,07$ mg/kg dan metoda pasif $0,89 \pm 0,07$ mg/kg merupakan kadar rerata yang disajikan pada Tabel 2, maupun pada Tabel 3, perbedaan kadar hasil analisis adalah 15,7%. Berdasarkan uji hipotesis bahwa kadar uranium tersebut yang diamati, pada perbedaan persentase 15,7% didapat nilai distribusi F perhitungan

sebesar 4,221 merupakan perbandingan kuadrat tengah(KT) antar perlakuan terhadap kuadrat tengah dalam perlakuan, dapat dilihat Tabel 4. Menurut SUDJANA (5) jika untuk ini diambil taraf signifikan $\alpha = 0,05$ atau dengan taraf kepercayaan 95%, dengan derajat kebebasan 1 dan 5 dari tabel statistik nilai distribusi F sebesar 6,61. Nilai distribusi F perhitungan lebih kecil daripada nilai F statistik maka hipotesis diterima. Ini berarti kedua metoda analisis yang mempunyai perbedaan dibawah 15,7% tidak terpengaruh, tepatnya tidak berbeda secara nyata, terhadap metoda aktif maupun pasif.

Tabel 3. Data pengamatan perbedaan 15,7% uranium di sungai Balong (Tabel 2) untuk acak sempurna pada analisis uranium dan thorium dengan metoda aktif dan pasif.

	Metoda Analisis		Jumlah
	Aktif	Pasif	
Hasil cacah dalam pengamatan (mg/kg)	0,69	0,99	
	0,68	0,81	
	0,87	0,87	
	0,76		
Jumlah	3,00	2,67	5,67
Pengamatan	4	3	
Rerata	$0,75 \pm 0,07$	$0,89 \pm 0,07$	1,64

Tabel 4. Daftar anava data dalam daftar Tabel 2.

Sumber variasi	dk	JK	KT	Nilai F	
				Hitung	Tabel
Rerata	1	4,5927	4,5927	4,221	6,61
Antar perlakuan	1	0,0336	0,0336		
Dalam perlakuan	5	0,0398	0,00796		
Jumlah	7	4,6661			

Keterangan :

dk = derajat kebebasan

JK = jumlah kuadrat-kuadrat

KT = kuadrat tengah

Akurasi sangat perlu dilakukan untuk menguji kualitas hasil analisis dari suatu perhitungan pencacahan cuplikan dengan

menggunakan teknik pencacahan spektrometri gamma. Hasil akurasi dari perhitungan dengan menggunakan persamaan (4) disajikan pada Tabel 5. Pengaruh semua parameter terhadap keberhasilan hasil analisis dapat dievaluasi dengan melihat besaran presisi akurasi (ketelitian) pengukuran.

Keseksamaan hasil analisis dipengaruhi oleh deviasi standar atau simpangan baku dari pengukuran yang dilakukan berulang-ulang, menunjukkan kesesuaian antara beberapa hasil pengukuran yang diukur dengan cara yang sama.

Ketelitian hasil analisis dapat dilihat dari beberapa dekat kadar unsur hasil analisis yang diperhatikan dengan kadar unsur yang tercantum dalam sertifikat, menunjukkan kesesuaian antara hasil dan nilai sebenarnya. Semakin dekat kadar unsur yang diperhatikan dengan kadar yang ada tercantum dalam sertifikat berarti penggunaan metoda aktif untuk analisis logam berat semakin baik. Hal ini menunjukkan hasil akurasi yang dihitung pada penyajian Tabel 5 lebih besar 90 % maka hasil analisis cukup baik dan dapat

dipertanggungjawabkan untuk analisis lingkungan, terutama cuplikan padatan pada unsur kelumit maupun minor. Menurut SUKIRNO (6), untuk analisis dengan metoda aktif akurasi yang diperbolehkan minimal adalah lebih besar dari 85%.

Sedangkan metoda pasif dengan teknik spektrometri gamma menggunakan *Reference Material* kode IAEA-315 radionuklida anak luruh uranium yaitu Ra-266 didapatkan hasil akurasi sebesar 87,03%. Untuk menguji akurasi dari pada thorium tidak dapat dilakukan berhubung aktivitas dalam sertifikat tidak tercantum salah satu anak luruh dari pada deret thorium.

Tabel 5. Akurasi metoda aktif dan pasif dengan menggunakan NBS kode SRM 1645 river sediment (aktif) dan Reference Material kode IAEA-315 Radionuclides in marine sediment

Unsur	Pengukuran		Data sertifikat		Akurasi (%)	
	Aktif (mg/kg)	Pasif (Bg/kg)	Aktif (mg/kg)	Pasif (Bq/kg)	Aktif	Pasif
U	1,24 ± 0,131	13,80 ± 1,13	1,11	12,01	91,00	87,03
Th	1,27 ± 0,117		1,62		90,71	

Untuk kedua metoda aktif dan pasif semua mempunyai kelebihan dan kekurangan. Metoda aktif diperlakukan perlakuan yang istimewa yaitu melalui pengaktifan uranium dan thorium yang ada dalam cuplikan sedimen dengan metoda AAN. Cuplikan yang digunakan sedikit sekitar 0,1 gram, akan tetapi tidak dapat digunakan lagi setelah dilakukan aktivasi dan pencacahan memerlukan waktu yang singkat sekitar 600 detik. Metoda pasif tanpa perlakuan awal, langsung dilakukan pencacahan memerlukan cuplikan sekitar 100 gram, waktu pencacahan memerlukan sekitar 12.000 detik. Untuk cuplikan yang banyak jumlahnya metoda aktif lebih baik cepat, tepat dan akurasinya cukup baik, sedang sedangkan jumlah cuplikan yang sedikit lebih baik menggunakan metoda pasif.

Sedangkan dipandang dari akurasi kedua metoda tersebut, maka metoda aktif yang mempunyai kesalahannya lebih kecil dari pada metoda pasif sehingga akurasi metoda aktif akan lebih besar dibandingkan metoda pasif ini dapat dilihat pada Tabel 3.

KESIMPULAN

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari hasil pembahasan dan penting untuk diingat adalah sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan metoda aktif dapat ditentukan uranium melalui anak luruh U^{239} yaitu Np^{239} dan torium melalui anak luruh Th^{233} yaitu Pa^{233} sedangkan metoda pasif melalui anak luruh detet U dan Th masing-masing Pb-214 atau Ra-226 dan Pb-212. yang memancarkan sinar gamma. Perbedaan kadar kedua metoda untuk U dan Th masing-masing adalah (5 % - 16%) dan (2% -14%). Kadar yang teridentifikasi untuk uranium sekitar (0,6 - 1,3) mg/kg dan thorium sekitar (0,64 - 2,3) mg/kg. Dari uji statistik perbedaan kedua metoda tersebut tidak terdapat perbedaan secara nyata.
2. Untuk cuplikan jumlahnya sangat banyak identifikasi U dan Th lebih baik menggunakan metoda aktif, sebaliknya untuk jumlah yang sedikit digunakan metoda pasif.

DAFTAR PUSTAKA

1. NEWJEC. Laporan Environment Impact Assessment Report, Feasibility Study of the First Nuclear Power Plant at Muria Peninsula Region, central Java. Jakarta (1996)
2. BENEDICT. M and PIGFORD, T.H., Nuclear chemical engineering. Ed 2nd, McGraw-Hill Book Company. New York (1981)

3. TAKAO TOJO. Instrumental Neutron Activation Analysis. BATAN JAERI Training Course on Radiation Measurement and Nuclear Spectroscopy. Jakarta (1998)
4. SUKIRNO., SUDARMADJI., “Aplikasi APN Untuk Menentukan Multiunsur dalam sedimen., Prosiding PPI, P3TM BATAN., Yogyakarta (1999)
5. SUDJANA., Desain dan Analisis Eksperimen. Edisi III. Penerbit Tarsito. Bandung (1989)
6. SUKIRNO., Penilaian Tingkat Kandungan Logam Berat Dalam Cuplikan Kelautan Calon Tapak PLTN Lemahabang Dengan Metoda AAN. Persentasi Ilmiah Peneliti Muda. P3TM-BATAN. Jogjakarta 2004.
7. ERDTMANN, G., Neutron activation tables., New York (1976)

TANYA JAWAB**Zainul Kamal**

- *Mengapa yang dipilih sebagai sampel logam U dan Th serta sedimen?*

Sukirno

- U dan Th yang ada dalam sedimen adalah U dan Th alam, sehingga U dan Th sudah ada sejak terbentuk sedimen tersebut. Perlu diketahui kadar kandungannya, sebelum beroperasinya PLTU maupun PLTN di daerah pengambilan sampel.

Jati Susilo

- *Dari hasil analisis apakah daerah tersebut layak untuk dianalisis U dan Th untuk pembangunan PLTN dan PLTU?*

Sukirno

- Perlu dan layak untuk menganalisis U dan Th di lokasi pembangunan PLTN dan PLTU sebelum beroperasinya PLTU (tahun 2005) dan rencana pembangunan PLTN perlu dilakukan analisis lingkungan radioaktivitas, khususnya U dan Th dan begitu juga setelah beroperasinya kedua pembangkit listrik tersebut untuk keperluan AMDAL.

Isyuniarto

- *Apakah dimungkinkan di daerah Muria ada U dan Th-nya?*
- *Bagaimana untuk mengurangi kandungan U dan Th tersebut?*

Sukirno

- U dan Th ada, akan tetapi kadarnya saja yang berbeda, di setiap lokasi sampling (lihat jawaban Sdr. Zainul Kamal hampir sama).
- U dan Th tidak bisa dikurangi, dengan proses apapun karena U dan Th alam yang dianalisis secara pasif maupun aktif.