

## ANALISIS RADIONUKLIDA DALAM BATUAN MENGGUNAKAN SPEKTROMETER GAMMA

**Noviarty, Iis Haryati, S. Nisa**

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN  
Badan Tenaga Nuklir Nasional, Serpong , Banten, Indonesia, 15314  
email: artynov@yahoo.co.id

**ABSTRAK**—Telah dilakukan analisis radionuklida dalam sampel batuan menggunakan spektrometer gamma. Analisis radionuklida dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui jenis dan jumlah radionuklida yang terdapat dalam sampel batuan, sehingga asal dari radionuklida tersebut juga dapat diketahui. Analisis radionuklida dapat dilakukan dengan pencacahan sampel menggunakan spektrometer gamma genny. Pencacahan sampel dilakukan terhadap sampel batuan dengan waktu pencacahan selama 80000 detik. Dari hasil pencacahan diperoleh 5 jenis radionuklida yang tercacah yaitu radionuklida Pb-212 dengan kandungan  $5,14E-11$   $\mu\text{g/g}$  aktivitas 0,11 Bq/g; radionuklida Ac-228  $3,41E-11$   $\mu\text{g/g}$ , dengan aktivitas 0,13 Bq/g; radionuklida U-235 0,15  $\mu\text{g/g}$ , dengan aktivitas 0,013 Bq/g; radionuklida Pb-214  $9,77E-14$   $\mu\text{g/g}$  dengan aktivitas 0,12 Bq/g; dan radionuklida Bi-214  $5,71E-13$   $\mu\text{g/g}$  dengan aktivitas 0,98 Bq/g. Selanjutnya untuk melihat keberterimaan hasil analisis aktivitas radionuklida dalam sampel batuan tersebut dilakukan perhitungan akurasi dari standar uranium bersertifikat dari CRM. Pada penentuan nilai akurasi tersebut diperoleh nilai akurasi rerata pengukuran radionuklida uranium (U-235) yang terdapat dalam standar uranium bersertifikat dari CRM yaitu 3,45%, nilai akurasi yang diperoleh cukup baik yaitu lebih kecil dari 5%.

Kata kunci : radionuklida, Spektrometer-y

**ABSTRACT**—Radionuclide analysis was performed in rock samples using a gamma spectrometer. Radionuclide analysis was conducted in order to know the type and amount of radionuclides contained in rock samples, so that the origin of the radionuclides is also known. Radionuclide analysis can be performed by sample enumeration using a gamma genny spectrometer. The sample enumeration was performed on rock samples with enumeration time of 80000 seconds. From the enumeration results obtained 5 types of radionuclides are chopped ie radionuclides Pb-212 with a content of  $5.14E-11$   $\mu\text{g/g}$  of activity 0.11 Bq/g; radionuclides Ac-228  $3.41E-11$   $\mu\text{g/g}$ , with an activity of 0.13 Bq / g; radionuclides U-235 0.15  $\mu\text{g/g}$ , with an activity of 0.013 Bq/g; radionuclides Pb-214  $9.77E-14$   $\mu\text{g/g}$  with an activity of 0.12 Bq/g; and Bi-214 radionuclides  $5.71E-13$   $\mu\text{g/g}$  with an activity of 0.98 Bq/g. Furthermore, to see the acceptability of the results of analysis of radionuclide activity in the rock samples is done the calculation of the accuracy of certified uranium standards from CRM. In determining the accuracy value, the average accuracy value of uranium radionuclide (U-235) measured in the certified uranium standard from CRM is 3.45%, the value of accuracy obtained is good enough that is smaller than 5%.

**Keywords:** radionuclide, Spectrometer-y

## I. PENDAHULUAN

Radionuklida di alam berdasarkan asal usulnya secara garis besar dapat dibagi dalam dua jenis. Yang pertama adalah radionuklida primordial, yang telah ada di kerak bumi sejak terbentuknya alam semesta, dan yang ke dua adalah radionuklida kosmogenik yang terjadi akibat interaksi antara radiasi kosmik dengan udara. Selain dua jenis tersebut, terdapat juga radionuklida yang muncul karena peluruhan spontan nuklida dapat belah (Th-232, U-235, U-238) atau karena reaksi inti tangkapan neutron dari radiasi kosmik, dan ada juga radionuklida punah yang sekarang tidak ada lagi karena umur paronya yang pendek, tetapi karena secara kuantitas sangat sedikit maka dapat diabaikan.

Di dalam radionuklida primordial terdapat radionuklida yang membentuk deret radionuklida. Radionuklida alam yang membentuk deret adalah nuklida deret thorium dengan induk thorium-232 (Th-232) dengan umur paro 14 milyar tahun, dan radionuklida deret aktinium dengan induk uranium-235 (U-235) dengan umur paro 700 juta tahun. Sedangkan radionuklida deret neptunium-237 saat ini tidak ada lagi di alam karena umur paronya yang pendek yaitu 2,14 juta tahun.<sup>[1]</sup>

Untuk mengetahui keberadaan radionuklida primordial yang terdapat dalam kerak bumi, antara lain dilihat dengan cara menganalisis radionuklida yang terkandung dalam batuan. Keberadaan radionuklida perlu diketahui sebagai dasar untuk pengendalian pencemaran lingkungan oleh radionuklida, seperti pada kegiatan penelitian sebelumnya telah dilakukan identifikasi radionuklida pemancar Gamma dari sedimen sungai code Yogyakarta. Dari hasil kegiatan penelitian tersebut teridentifikasi radionuklida Pb-214 yang berasal dari deret Uranium, Tl-208 berasal dari deret Thorium, Bi-214 berasal dari deret Uranium. Radionuklida yang teridentifikasi merupakan zat radioaktif alam. Zat radioaktif alamiah ini berasal dari mineral batuan dan dari tanah. Pada kegiatan penelitian tersebut dinyatakan bahwa radionuklida pemancar gamma yang berasal dari deret Uranium dan Thorium terlihat masih kurang jelas. Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan analisis radionuklida yang terkandung dalam batuan karena batuan merupakan sumber dari radionuklida alam<sup>[3]</sup>

Analisis radionuklida dilakukan dengan cara melihat pancaran energi gamma dari batuan. Besar pancaran energi gamma yang dihasilkan dianalisis menggunakan alat Spektrometer Gamma Genny 2000 yang terdapat di laboratorium instalasi radiometalurgi.<sup>[4,5]</sup>

## II. TEORI

Spektrometer gamma merupakan alat analisis yang digunakan untuk identifikasi radionuklida pemancar sinar gamma. Analisis dilakukan dengan cara mengamati karakteristik spektrum yang ditimbulkan oleh interaksi radiasi dengan materi detektor. Pada spektrometer gamma ini detektor yang digunakan adalah detektor HPGe. <sup>[4]</sup>

Sebelum alat spektrometer gamma digunakan untuk pengukuran isotop pemancar gamma terlebih dahulu dilakukan kalibrasi energi alat menggunakan sumber standar energi gamma isotop europium (Eu-152) pada puncak energi 100 keV- 1500 keV. Kalibrasi energi perlu dilakukan untuk menentukan hubungan antara nomor salur (*channel*) dan energi gamma (keV), karena setiap isotop mempunyai energi yang berbeda dan merupakan karakteristik dari suatu isotop, sehingga hal ini digunakan sebagai dasar dalam analisis kualitatif dan kuantitatif. <sup>[4]</sup>

Analisis kuantitatif pada pengukuran keradioaktifan isotop dihitung berdasarkan nilai efisiensi detektor yang diperoleh dari kurva efisien yang dibuat dari hasil pencacahan isotop Europium-152. Nilai efisiensi dihitung menggunakan rumus <sup>[4]</sup>:

$$At(dps) = A_0 e^{-0,693t/t_{1/2}} \quad (1)$$

$$\varepsilon(E) = Cps / Y(E) \cdot At(dps) \quad (2)$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai aktivitas sampel dengan menggunakan rumus :

$$At(dps) = Cps / Y(E) \cdot \varepsilon(E) \quad (3)$$

dimana :

$A_0$  = Aktivitas awal (Bq) dari sertifikat

$A_t$  = Aktivitas pada saat pengukuran (dps)

$T$  = waktu  $A_0$  ke waktu  $A_t$  (th)

$t_{1/2}$  = waktu paro(th)

$\varepsilon(E)$  = Efisiensi

$Y(E)$  = *yield* (tabel)

Cps = cacah per detik (dari pencacahan)

Dan untuk menghitung kandungan isotop dalam sampel digunakan rumus:

$$W = (A_t \cdot t_{1/2} \cdot BA) / (Na \cdot 0,693) \quad (4)$$

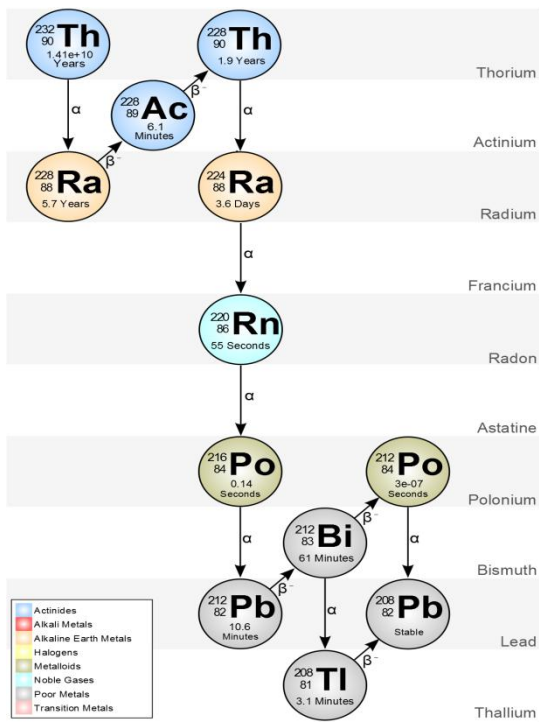
dimana :

At = Aktivitas pada saat pengukuran (dps)

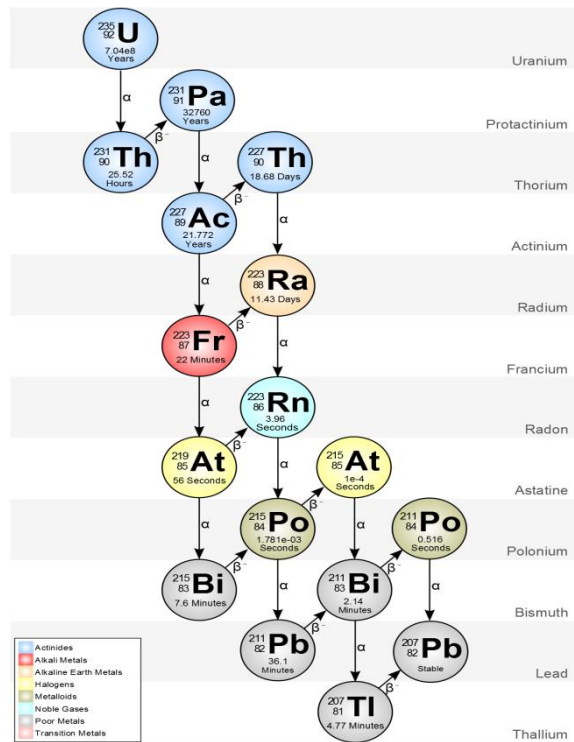
BA = Berat atom

$t_{1/2}$  = waktu paro(th)

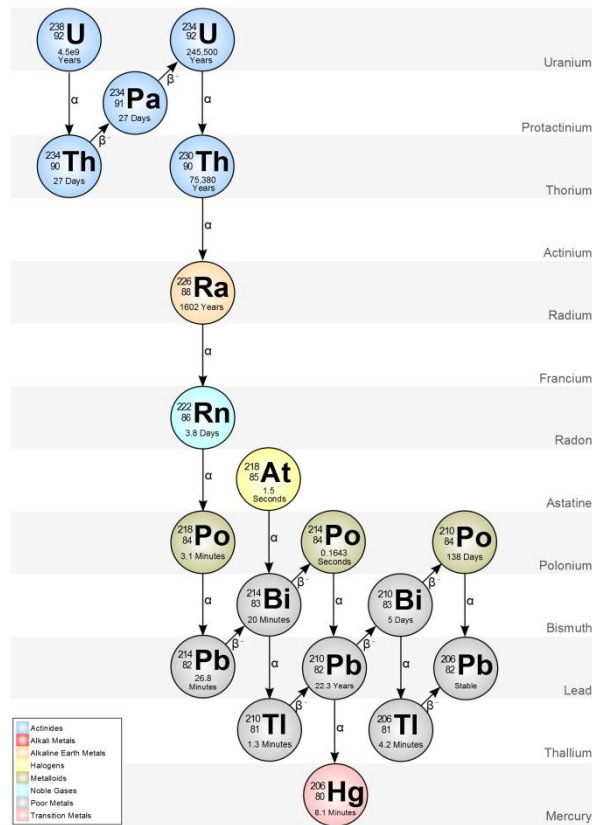
Na =  $6,02E23$



Gambar 1 Decay Chain of Isotope Th-232 (Thorium Series)<sup>[2]</sup>



Gambar 2 Decay Chain of Isotope U-235, (actinium series)<sup>[2]</sup>



Gambar 3 Decay Chain of Isotope U-238 (Radium Series) [2]

### III. TATA KERJA

#### A. Bahan

Sumber standar Eu-152 untuk kalibrasi energi, bahan Standar uranium bersertifikat dari NIST digunakan sebagai bahan standar untuk penentuan nilai Efisiensi detektor.

#### B. Peralatan

Spektrometer Gamma Canberra *Genny 2000* digunakan sebagai alat ukur energi gamma. Perlengkapan APD (sarung tangan, masker, dan peralatan survey meter) digunakan untuk keselamatan kerja dengan sumber radiasi.

#### C. Prosedur Percobaan [5]

##### 1. Penyiapan kondisi operasi

Sebelum pengoperasian peralatan, dilakukan pengkondisian lingkungan dengan temperatur ruangan  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan humiditas maksimal 63 %. Sedangkan pada kesiapan alat, dewar detektor telah terisi nitrogen cair paling lambat 7 jam sebelum beroperasi [5]

##### 2. Pengoperasian [5]

Pengoperasian alat spektrometer gamma dilakukan pertama dengan memutar secara perlahan tombol *HV* yang terletak pada panel *MCA* ( *Multichannel Analyzer* ) untuk menaikkan tegangan hingga mencapai 4,3 KeV. Selanjutnya dilakukan kalibrasi energi alat menggunakan sumber standar isotop europium (Eu-152) dengan lama pencacahan 1500 detik. Nilai energi dari isotop europium (Eu-152) dimasukkan mulai dari energi rendah sampai energi tinggi (100 - 1500 keV). Setelah energi alat terkalibrasi, dilakukan pengukuran cacahan isotop Europium bersertifikat dari Amersham, pada jarak 20 cm dari detektor dengan waktu cacah 1000 detik. Data hasil cacah yang diperoleh digunakan untuk membuat kurva efisiensi detektor. Selanjutnya pencacahan dilakukan terhadap sampel uji batuan yang telah dihaluskan dan disimpan dalam wadah selama satu bulan. Hasil pengukuran berupa spektrum dianalisis pada masing-masing energi yang terbentuk.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengamatan spektrum energi gamma menggunakan sumber standar isotop europium (Eu-152) terhadap puncak energi mulai dari energi rendah sampai energi tinggi (100 - 1500 keV), diperoleh data spektrum seperti ditunjukkan dalam Tabel 1. Dari data spektrum tersebut terlihat sebaran nilai cacah yang tergambar dengan besaran persen RSD yaitu 1,1780% hingga 3,7338 %. Persen RSD yang diperoleh tidak melebihi dari 5% sehingga hasil pengukuran nilai cacah spektrum standar Eu dapat diterima dengan tingkat kepercayaan 95%<sup>[6]</sup>.

Tabel 1. Data pengukuran cacahan standar Isotop Europium (Eu-152)

Energi (keV)	Nilai cacahan Standar Eu ( Net Area dalam 1000 detik)								SD	RSD (%)
	1	2	3	4	5	6	7	rerata		
244,70	3140	3133	3162	3122	3142	3214	3210	3160,4286	37,2284	1,1780
344,28	8332	8402	8381	8568	8226	8429	8306	8377,7143	107,7725	1,2864
778,91	2026	1916	1940	2010	1976	1914	1981	1966,1429	44,2358	2,2499
964,13	1822	1882	1787	1682	1782	1743	1849	1792,4286	66,9250	3,7338
1112,12	1512	1501	1536	1569	1477	1508	1519	1517,4286	28,9532	1,9080
1408,01	1882	1899	1843	1869	1918	1887	1853	1878,7143	26,0302	1,3855

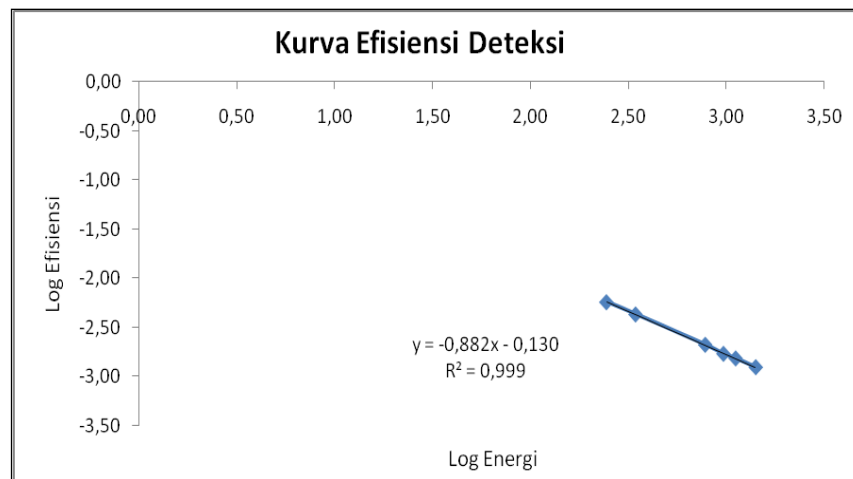
Selanjutnya hasil pencacahan spektrum standar Eu digunakan untuk menghitung besaran nilai efisiensi menggunakan persamaan (2) sehingga diperoleh nilai efisiensi seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil perhitungan efisiensi standar Isotop Europium (Eu-152)

Energi (keV)	count	cps	yield	efisiensi	log efisiensi	log Energi
244,70	3160,4286	3,1604	0,0749	0,0057	-2,2412	2,3886
344,28	8377,7143	8,3777	0,2650	0,0043	-2,3666	2,5369
778,91	1966,1429	1,9661	0,1274	0,0021	-2,6780	2,8915
964,13	1792,4286	1,7924	0,1440	0,0017	-2,7714	2,9841
1112,12	1517,4286	1,5174	0,1356	0,0015	-2,8176	3,0462
1408,01	1878,7143	1,8787	0,2070	0,0012	-2,9086	3,1486

Data yang diperoleh dari Tabel 2 selanjutnya dibuat kurva kalibrasi energi yaitu hubungan antara log energi dengan log efisiensi yang ditunjukkan dalam gambar 3.

Pada gambar 3 terlihat hubungan yang linier antara log energi dan log efisiensi dengan persamaan garis linier  $y = -0,882x - 0,130$  dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,999. Nilai koefisien determinasi yang diperoleh lebih besar dari 0,990 (mendekati 1), hal ini menunjukkan ketepatan terhadap data ukur yang mendekati nilai benar, karena hasil linieritas telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh Eurachem. Dengan demikian kalibrasi energi yang dilakukan dapat diterima.<sup>[7,8]</sup>

Gambar 3. Kurva kalibrasi efisiensi menggunakan standar <sup>152</sup>Eu

Selanjutnya dilakukan pengukuran radionuklida dalam sampel batuan sampel uji (sampel batuan), dengan waktu cacah 80000 detik. Hasil pengukuran isotop yang diperoleh berupa spektrum ditunjukkan dalam gambar 4.





Tabel 3 Data Hasil Pengukuran radionuklida

Isotop	Energi	Yield	Area sampel	Area Blanko
Pb-212	87,2	6,3	1529±9,59	0
Ac-228	93,3	3,5	2992±4,69	1129±4,90
Ac-228	129,1	2,8	1484±7,84	0
U-235	185,7	54	5135±2,33	728±6,76
Ac-228	209,3	4,4	2112±5,23	0
Pb-212	238,6	44,6	23464±0,86	195±24,38
Ac-228	270,2	3,6	2041±4,47	0
Pb-214	295,2	19,2	2992±1,35	298±13,78
Ac-228	327,6	3,2	1098±7,08	42±85,13
Ac-228	338,3	11,4	5001±1,95	44±80,25
Pb-214	351,9	37,2	16149±0,88	714±6,08
Ac-228	409,5	2,13	6,86±9,65	0
Bi-214	609,3	5,6	11976±0,99	529±6,17
Bi-214	768,4	5,04	684±0,99	72±24,93
Bi-214	806,2	1,23	684±0,99	0
Ac-228	911,6	27,7	5001±1,95	25±65,43

Radionuklida yang tercacah selanjutnya dihitung masing-masing aktivitasnya menggunakan persamaan linier yang diperoleh dari kurva kalibrasi efisiensi dengan persamaan (2),(3),(4). Hasil perhitungan aktivitas masing-masing nuklida ditunjukkan dalam Tabel 4

Tabel 4 Data Hasil Perhitungan Aktivitas radionuklida dalam sampel batuan

Data Hasil Cacah Pengukuran nuklida dalam sampel batuan					
Kode nuklida	Pb-212	Ac-228	U-235	Pb-214	Bi-214
Area	23464	5104	5135	16149	11976
(Cps (cacah/dt)	0,2933	0,0638	0,0641875	0,2018625	0,1497
Area blank	195	25	728	714	529
Cps- blank	0,002	0,0003	0,009	0,009	0,007
cps Sample-blanko	0,2909	0,0635	0,0551	0,1929	0,1431
energi	238,600	911,600	185,700	351,900	609,300
log energi	2,378	2,960	2,269	2,546	2,785
Log Efisiensi	-4,229	-4,743	-4,133	-4,378	-4,588

Efisiensi	0,005901	0,001808	0,007362	0,004188	0,002579
yield	44,600	27,700	54,000	37,200	5,600
Aktivitas (Bq/g)	0,110	0,126	0,013	0,123	0,985
W ( $\mu\text{g/g}$ )	5,14E-11	3,41E-11	0,15	9,77E-14	5,71E-13

Pada Tabel 4 terlihat kandungan masing-masing radionuklida dalam sampel batuan yaitu  $5,14\text{E-}11 \mu\text{g/g}$  dengan aktivitas  $1,11 \text{ Bq/g}$  untuk Pb-212;  $3,42\text{E-}11 \mu\text{g/g}$ , aktivitas  $0,13 \text{ Bq/g}$  untuk radionuklida Ac-228;  $0,15 \mu\text{g/g}$ , aktivitas  $0,013 \text{ Bq/g}$  U-235;  $9,77\text{E-}14 \mu\text{g/g}$  aktivitas  $0,12 \text{ Bq/g}$  Pb-214; dan untuk radionuklida Bi-214  $5,71\text{E-}13 \mu\text{g/g}$  aktivitas  $0,98 \text{ Bq/g}$ . Kandungan radionuklida Pb-212, Pb-214 Ac-228 dan Bi-212 dalam sampel sangat kecil sekali karna waktu paroh dari radionuklida tersebut sangat pendek hanya sekitar 6-26 hari, sementara untuk radionuklida U-235 mempunyai waktu paro yang panjang yaitu  $7,03\text{E}8$  tahun. Untuk melihat keberterimaan hasil analisis aktivitas radionuklida dalam sampel batuan tersebut dilakukan perhitungan akurasi dari standar isotop uranium berdasarkan sertifikat dari CRM. Perhitungan nilai akurasi dihitung dengan membandingkan kandungan isotop hasil pengukuran dengan kandungan isotop secara teoritis dari sertifikat.<sup>[7]</sup> Nilai akurasi pengukuran yang diperoleh ditunjukkan dalam Tabel 5

Tabel 5. Data Hasil Perhitungan Akurasi radionuklida Uranium(U-235) dalam standar

Sampel	Berat (g)	Cps (Cacah/detik)	Berat isotop (gr)		Akurasi (%)
			Teoritis	Terukur	
Standar Uranium dari CRM	0.9457	11,3208	0,0057	0,0054	4,5528
		11,4603		0,0055	3,3762
		11,5729		0,0056	2,4276
Rerata		11,4513		0,0055	3,4522

Pada Tabel 5 terlihat nilai akurasi rerata pengukuran radionuklida uranium (U-235) yang terdapat dalam standar uranium bersertifikat dari CRM yaitu  $3,4522\%$ , nilai akurasi yang diperoleh cukup baik kecil dari  $5\%$ .<sup>[7,8]</sup>

## V. KESIMPULAN

Pada kegiatan penentuan kandungan radionuklida dalam sampel batuan diperoleh 5 jenis radionuklida yang tercacah yaitu Pb-212, Ac-228, U-235, Pb-214, dan Bi 214. Kandungan masing-masing radionuklida yang diperoleh yaitu: untuk radionuklida Pb-212  $5,14\text{E-}11 \mu\text{g/g}$  dengan aktivitas  $0,11 \text{ Bq/g}$ ; radionuklida Ac-228  $3,41\text{E-}11 \mu\text{g/g}$ , aktivitas  $0,13 \text{ Bq/g}$ ; radionuklida U-235;  $0,013 \mu\text{g/g}$ , aktivitas  $0,15 \text{ Bq/g}$ ;

Pb-214  $9,771E-14$   $\mu\text{g/g}$  aktivitas  $0,123\text{Bq/g}$ ; dan untuk radionuklida Bi-214  $5,71E-13$   $\mu\text{g/g}$  aktivitas  $0,98\text{Bq/g}$ . Hasil pengukuran isotop dapat diterima karena pada penentuan nilai akurasi terhadap sampel standar uranium serbuk bersertifikat dari CRM, nilai akurasi yang diperoleh cukup baik yaitu kecil dari 5%.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kami ucapkan pada Ibu. Ir Dian Angraini dan Bpk. Boybul, Dip.Kim, serta Ka.Bid Uji Radiometalurgi yang telah membantu kami dalam pelaksanaan kegiatan ini. Kegiatan ini pendanaannya menggunakan DIPA 2017 untuk pembelian Nitrogen cair dan lainnya yang berkaitan dengan operasional alat spektrometer gamma.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ensiklopedi Teknolodi Nuklir tentang Radionuklida Alam diunduh pada tanggal 24 Agustus 2017 dari: <http://www.batan.go.id/ensiklopedi/09/01/01/02/09-01-01-02.html>
- [2]. Nuclear Forensics: A Scientific Search Problem, Decay Chains diunduh pada tanggal 17 Oktober 2017 dari: <http://metadata.berkeley.edu/nuclear-forensics/Decay%20Chains.html>
- [3]. Elin Nuraini, dkk." Analisis Radioaktivitas Gross  $\alpha,\beta$ , Dan Identifikasi Radionuklida Pemancary Dari Air Dan Sedimen Sungai Code Yogyakarta" Prosiding PPI-PDIPTN2007 Pustek Akselerator dan Proses Bahan – BATAN Yogyakarta, 10 Juli 2007 ISSN 0216-3128 hal.385
- [4]. WISNU SUSETYO "Spektrometri Gamma" Gajah Mada University Press, Yogyakarta, 1988
- [5]. CANBERRA GENNY 2000,"Operator's Manual Spectrometer Gamma GC 3018", 2002
- [6]. ROBERT L. ANDERSON, "Practical statistics for Analytical chemists ", Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1987.
- [7]. HARMITA, " Petunjuk Pelaksanaan Validasi Metode dan cara Perhitungannya" Majalah Ilmu Kefarmasian, ISSN : 1693-9883 Vol.1, No.3 Desember 2004
- [8]. Chan, CC., Lam, H., Lee., Zang, XM., (2004), *Analytical Method Validation and Instrument Performance Verification*, John Wiley & Sons Inc, Canada, p 16-18.

