

Analisis  $^{226}\text{Ra}$  Dalam Sampel Air Melalui Pengukuran  $^{222}\text{Rn}$  Dengan Metode Pencacahan Sintilasi Cair (LSC)

Yustina Tri Handayani

ABSTRAK

Pengukuran  $^{222}\text{Rn}$  dalam sampel air menggunakan pencacah sintilasi cair (LSC) dapat dilakukan dengan mudah. Hal ini memungkinkan dilakukannya pengukuran  $^{226}\text{Ra}$  dalam sampel air melalui pengukuran anak luruh  $^{222}\text{Rn}$  menggunakan LSC. Sampel yang dianalisis diambil dari mataair panas Ciseeng Bogor dan air tanah Pusdiklat BATAN.  $^{222}\text{Rn}$  yang ada dalam sampel dilepas dengan cara pengadukan. Selanjutnya sampel dibiarkan untuk jangka waktu tertentu dengan maksud untuk menumbuhkan  $^{222}\text{Rn}$ .  $^{222}\text{Rn}$  hasil penumbuhan diambil dari sampel dengan cara ekstraksi pelarut menggunakan pelarut toluene. Untuk pengukuran dengan LSC perlu ditambahkan PPO dan POPOP sebagai sintilator. Pengukuran dilakukan dengan metode Efficiency Tracing Method (ETM). Berdasarkan aktivitas  $^{222}\text{Rn}$  dalam sampel air dan waktu penumbuhannya, dapat dihitung aktivitas  $^{226}\text{Ra}$  dalam sampel air. Kandungan  $^{226}\text{Ra}$  dalam air tanah Pusdiklat BATAN tidak terdeteksi ( $<0,054$  Bq/mL), sedangkan dalam sampel air panas Ciseeng sebesar  $(14,9 \pm 0,8)$  Bq/L.

TEORI DASAR

Radium (Ra) adalah unsur golongan II dan mempunyai nomor atom 88.  $^{226}\text{Ra}$  merupakan radionuklida dalam deret Uranium (lihat gambar 1) yang termasuk radionuklida primordial.  $^{226}\text{Ra}$  berada dalam sampel air tanah karena adanya kontak dengan aquifer yang mengandung radionuklida deret Uranium.

Peluruhan Berantai

Pada peluruhan berantai sebagai berikut :

$$N(1) \rightarrow N(2) \rightarrow N(3) \dots \dots N(i-1) \rightarrow N(i)$$

Keterangan : N(i) adalah radionuklida deret ke- $i$ .

Kecepatan peluruhan radionuklidanya sebagai berikut:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1$$

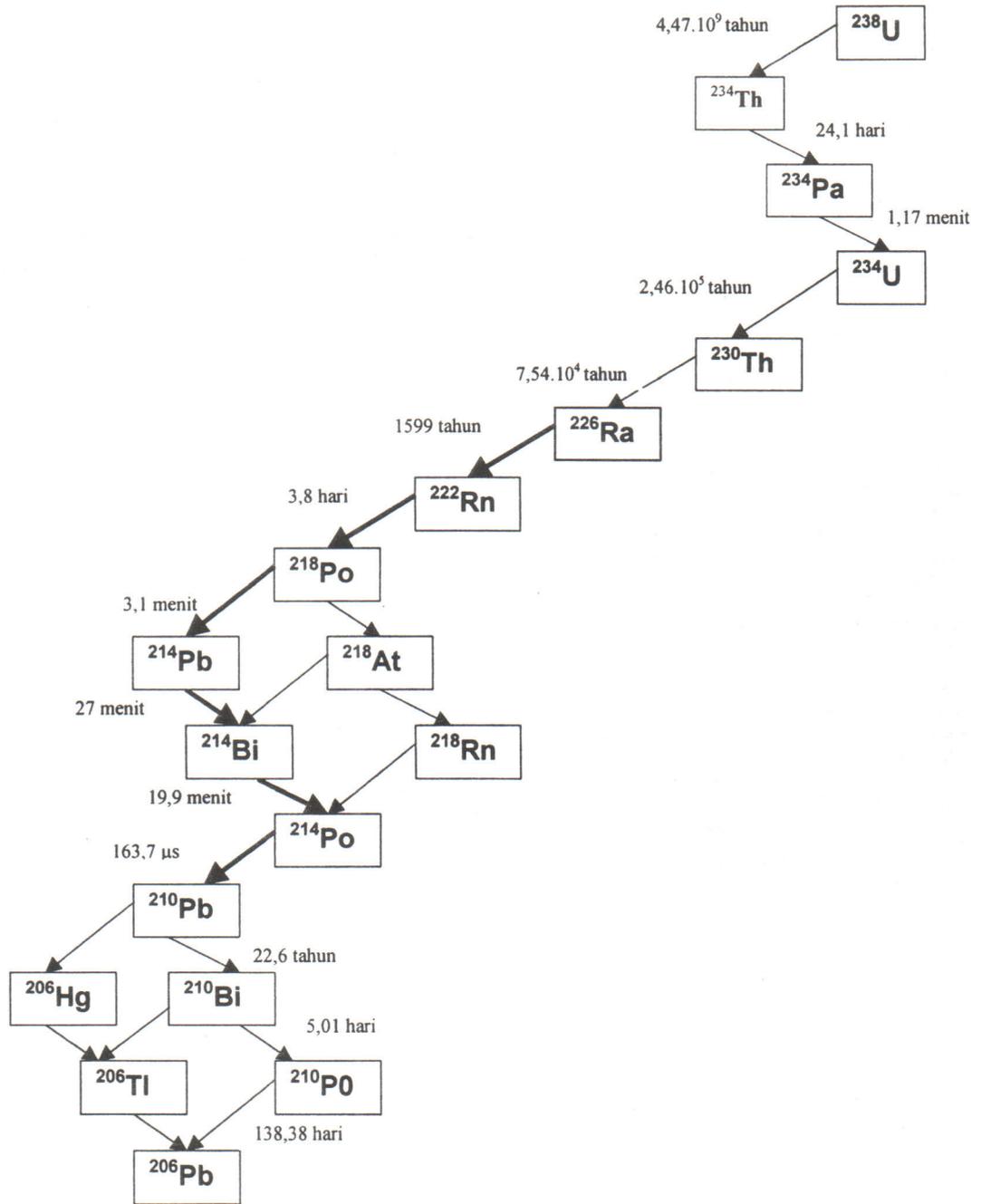
$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 - \lambda_3 N_3$$

⋮

$$\frac{dN_i}{dt} = \lambda_{i-1} N_{i-1} - \lambda_i N_i$$

Penyelesaian dari persamaan diferensial tersebut di atas dinyatakan dalam persamaan Bateman sebagai berikut :



Gambar 1. Skema Peluruhan Radionuklida Deret Uranium

$$N_i = N_1^0 (C_1 e^{-\lambda_1 t} + C_2 e^{-\lambda_2 t} + C_3 e^{-\lambda_3 t} + \dots)$$

Keterangan :

$$C_i = \frac{A_1 A_2 \dots A_{i-1} \lambda_i}{(\lambda_i - \lambda_1)(\lambda_i - \lambda_2) \dots (\lambda_i - \lambda_{i-1})}$$

$$C_2 = \frac{A_1 \lambda_1}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_2 - \lambda_3)}$$

$$C_3 = \frac{A_1 \lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_3 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_2)}$$

Apabila umur paro dari radionuklida induk cukup panjang dibandingkan anak luruhnya ( $> 10^6$  kali), dan peluruhan berlangsung sudah cukup waktu, maka terjadi keseimbangan sekuler dimana laju peluruhan radionuklida induk dan anak sama. Apabila umur paro radionuklida induk lebih pendek dari anak luruhnya, maka tidak akan terjadi keseimbangan dalam sistem peluruhannya.

Substitusi konstanta peluruhan pada label 1 ke dalam persamaan Bateman, menunjukkan adanya keseimbangan nilai dari lima anak luruh radionuklida deret Uranium. Lampiran 1 menunjukkan nilai aktivitas sebagai fungsi dari waktu.

Preparasi Sampel Radon Secara Ekstraksi Pelarut

Dalam sampel air yang mengandung <sup>226</sup>Ra selalu ada <sup>222</sup>Rn sebagai anak luruhnya. Untuk mendapatkan sampel yang hanya mengandung <sup>226</sup>Ra, perlu dilakukan pelepasan Radon dari sampel. Karena Radon berbentuk gas, maka pelepasannya dari sampel air cukup mudah, salah satu cara dengan melakukan pengadukan.

meluruh dan menumbuhkan <sup>222</sup>Rn dan anak-anak luruh lainnya sebagai fungsi dari waktu. Setelah sampel air didiamkan selama waktu tertentu untuk menumbuhkan <sup>222</sup>Rn, maka <sup>222</sup>Rn yang ada bisa dipisahkan secara ekstraksi dan diukur menggunakan pencacah sintilasi cair. Kandungan <sup>26</sup>Ra dalam sampel air dapat dihitung menggunakan persamaan Bateman berdasarkan waktu penumbuhan <sup>222</sup>Rn dan aktivitas <sup>222</sup>Rn hasil pengukuran.

Ekstraksi pelarut adalah suatu metode pemisahan untuk memindahkan suatu material target dari satu fasa ke fasa lain, sebagai contoh fasa air dan fasa organik. Pada keadaan radon dalam air, radon harus dipisahkan dari anak-anak luruhnya dan radionuklida lainnya ke fasa organik menggunakan toluene atau xylene. Radon yang sudah terpisah meluruh menjadi anak-anak luruhnya dan terdistribusi ke dalam air, fasa organik dan udara dalam botol, sehingga aktivitasnya dapat ditulis sebagai berikut :

$$C_0 V_w = C_w V_w + C_a V_a + C_T V_T$$

$$C_0 = C_w + C_a \left( \frac{V_a}{V_w} \right) + C_T \left( \frac{V_T}{V_w} \right)$$

$$C_0 = C_T \left( \frac{D_w}{D_T} + \frac{1}{D_T} \frac{V_a}{V_w} + \frac{V_T}{V_w} \right)$$

atau  $A_0 = A_T \left( 1 + \frac{D_w}{D_T} \frac{V_w}{V_T} + \frac{1}{D_T} \frac{V_a}{V_w} \right)$

Tabel 1. Beberapa Radionuklida Dalam Deret Uranium

Nuklida	Jenis Radiasi	Energi	T1/2	Konstanta peluruhan, sec <sup>-1</sup>
<sup>226</sup> Ra	α		1599 tahun	
<sup>222</sup> Rn	α	5.490 Mev (100 %)	3.824 hari	2.1 x 10 <sup>-6</sup>
<sup>218</sup> pO	α	6.002 Mev (100 %)	3.05 men it	3.8x10 <sup>-3</sup>
<sup>210</sup> Pb	β	0.67 Mev 0.73 Mev	26.8 men it	4.3 x 10 <sup>-4</sup>
<sup>214</sup> Si	β	1.26 Mev (99 %)	19.8 men it	5.8 x 10 <sup>-4</sup>
<sup>214</sup> pO	α	7.687 Mev (100 %)	165 ps	4.2 x 10 <sup>3</sup>

<sup>226</sup>Ra murni yang ada dalam sampel akan

keterangan :

- Co : konsentrasi Rn dalam sampel air (Bq/mL), sebelum ekstraksi  
 Cw : konsentrasi Rn dalam air, setelah ekstraksi (Bq/mL)  
 Ca : konsentrasi Rn dalam udara (Bq/mL)  
 CT : konsentrasi Rn dalam toluene/xylene (Bq/mL)  
 Vw : volume air (mL)  
 Va : volume udara (mL)  
 VT : volume toluene (mL)  
 Ao : aktivitas Rn dalam sampel air (Bq)  
 AT : aktivitas Rn dalam air, setelah ekstraksi (Bq)  
 DT : koefisien distribusi Radon dalam toluene dan udara (CT/Ca)  
 $DT = 18.2 \exp(-T/46.5)$   
 Dw : koefisien distribusi Radon dalam air dan udara (Cw/Ca)  
 $Dw = 9.12/(17.0 + T)$   
 T : suhu sistem

#### Pencacahan Sintilasi Cair

Pencacah sintilasi cair (*Liquid Scintillation Counter = LSC*) merupakan suatu sistem pengukur radiasi yang menggunakan detektor sintilasi cair. Sistem ini mempunyai keunggulan dibandingkan dengan sistem pengukur lain, khususnya untuk mengukur radiasi  $\alpha$  dan  $\beta$  yang mempunyai energi dan aktivitas rendah. Sampel yang akan diukur aktivitasnya, dilarutkan ke dalam detektor berbentuk cairan, sehingga dapat dilakukan pencacahan 4 $\pi$  (4 $\pi$  counting). Dalam pencacahan 4 $\pi$  semua radiasi yang dipancarkan oleh sumber akan ditangkap oleh detektor, sehingga efisiensi pengukurannya dapat mencapai 100 %.

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah preparasi sampel yang akan diukur aktivitasnya, harus dilarutkan bersama dengan sintilator cair dan pelarutnya. Beberapa bahan yang sering digunakan sebagai sintilator cair adalah PPO (2,5-diphenil oxazole), PBD (2-phenyl-5-biphenyl-1,3,4-oxadiazol) dan butyl-PBD. Sintilator cair ini berfungsi untuk mengubah energi radiasi yang dipancarkan oleh sumber menjadi percikan cahaya (foton). Frekuensi foton yang diharapkan adalah frekuensi cahaya tampak agar dapat ditangkap oleh *photomultiplier*. Bila frekuensi foton masih terlalu tinggi, misalnya frekuensi ultra-violet, maka diperlukan sintilator sekunder yang berfungsi sebagai penggeser frekuensi (*frequency shifter*) sehingga menghasilkan percikan cahaya dengan frekuensi cahaya tampak. Sebagai sintilator sekunder biasanya digunakan POPOP, dimethyl-POPOP. Bahan

pelarut yang digunakan biasanya adalah toluene, p-xylene, benzene atau dioxane.

Sumber radiasi memancarkan radiasi yang akan diserap oleh bahan sintilator setelah melalui bahan pelarut. Di dalam bahan sintilator, energi radiasi diubah menjadi percikan cahaya yang akan 'ditangkap' oleh *photomultiplier* (PMT). Kemudian di dalam PMT, percikan cahaya akan diubah menjadi pulsa listrik.

*Quenching* adalah suatu masalah yang timbul dan perlu diperhatikan dalam proses perubahan energi radiasi menjadi pulsa listrik pada detektor sintilasi cair ini. Terlihat bahwa terjadi beberapa proses perpindahan dan perubahan energi yang tentu saja dapat mempengaruhi kuantitas maupun energi. Perbedaan kuantitas radiasi dan kuantitas pulsa listrik akan menurunkan nilai efisiensi pencacahan (< 100 %), sedang pengurangan energi akan menyebabkan spektrum radiasi bergeser ke kiri

Penentuan aktivitas sampel pada prinsipnya dapat dilakukan dengan cara membandingkan cacahan yang dihasilkan oleh sumber standar dan cacahan yang dihasilkan oleh sampel, yaitu menghitung efisiensi sistem dengan mencacah sumber.

$$17 = \frac{\text{Cacahan}}{\text{Aktivitas}}$$

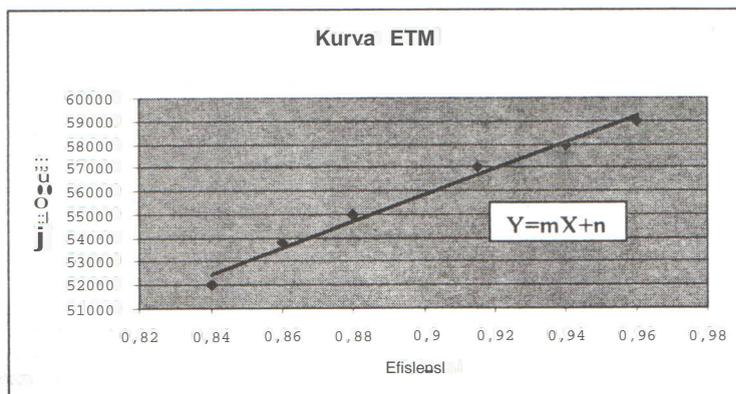
Kemudian menentukan aktivitas sampel dengan menggunakan nilai efisiensi sistem yang telah dihitung.

$$\text{Aktivitas} = \frac{\text{Cacahan}}{17}$$

Dengan adanya masalah *quenching*, penentuan aktivitas sampel menjadi tidak sederhana. Dalam kegiatan ini akan diperkenalkan salah satu metode penentuan aktivitas sampel, yaitu "*efficiency tracing method*" (ETM).

Dalam ETM, spektrum radiasi dibagi menjadi beberapa *region*, biasanya 6 *region*. Kemudian efisiensi setiap *region* dari spektrum tersebut dihitung, yaitu dengan mencacah sumber radiasi standar dan menggunakan persamaan di atas. Langkah ini akan menghasilkan tabel efisiensi dari setiap *region*. Langkah berikutnya adalah mencacah sampel dengan kondisi *region* yang sama dengan pencacahan sumber standar, sehingga dapat dibuat kurva yang menghubungkan antara cacahan dan efisiensi dari setiap *region*.

Persamaan linier antara cacahan dan efisiensi dari kurva ( $Y = mX + n$ ) dapat ditentukan dengan



Gambar 1. Kurva ETM

analisis regresi linier, sehingga aktivitas sampel dapat dihitung, yaitu sama dengan nilai cacahan ketika efisiensinya 1 (100%).

**PERALATAN DAN BAHAN**

1. Liquid Scintillation Counter (LSC) Aloka-5000
2. Sampel air
3. Pengaduk magnet
4. Toluene
5. PPO
6. POPOP
7. Sumber standar 14C
8. Vial
9. Labu ekstraksi
10. Botol ekstraksi
11. Mesin pengocok labu ekstraksi
12. Sarung tangan
13. Pengolah data Perhitungan aktivitas 226Ra

**PROSEDUR**

222Rnyang ada dalam sampel dilepas dengan cara pengadukan. Untuk memastikan 222Rnyang ada dalam sampel air bisa lepas seluruhnya dilakukan pengujian pengadukan menggunakan pengaduk magnet dengan variasi waktu pengadukan 5, 10, 15, 20 40 dan 60 menit. Selanjutnya sampel dibiarkan untuk jangka waktu tertentu denaan maksud untuk menumbuhkan 222Rn. 2t:1Rn hasil penumbuhan diambil dari sampel dengan cara ekstraksi pelarut menggunakan pelarut toluene. Untuk pengukuran dengan LSC perlu ditambahkan PPO dan POPOP sebagai sintilator. Pengukuran dilakukan 4 jam setelah ekstraksi untuk mencapai keseimbangan antara 222Rn dengan

keempat anak luruhnya. Pengukuran dilakukan dengan metode Efficiency Tracing Method (ETM). Berdasarkan aktivitas 222Rn dalam sampel air dan waktu penumbuhannya, dapat dihitung aktivitas 226Radalam sampel air.

**DATA DAN HASIL**

**Hasil Pengujian Pengadukan**

Cacah latar belakang : (3748 ± 61) cacah per jam (cpj)

Waktu pengadukan (menit)	Pencacahan hasil ekstraksi (cpj)
5	8800 ± 94
10	7136 ± 84
15	6892 ± 83
20	4598 ± 68
40	4420 ± 66
60	3832 ± 62

Nilai pencacahan hasil ekstraksi, pada pengadukan selama 60 menit secara statistik sama dengan cacah latar belakang, yang menunjukkan toluene hasil ekstraksi sudah tidak mengandung 222Rn. Hal ini menunjukkan pengadukan selama 60 menit mampu melepas semua Radon, sehingga pengukuran 222Rn Dada analisis 226Rahanya berasal dari peluruhan 226Ra yang ada dalam sampel.

**Hasil Analisis 226Ra**

Salah satu spektrum hasil pengukuran 222Rn seperti pada gambar 2 di bawah, yang menunjukkan spektrum campuran antara radiasi alpha (diskrit) dan beta (kontinyu).

Aktivitas latar belakang ( $3430 \pm 59$ ) dpj. Berdasarkan nilai aktivitas latar belakang tersebut, diperoleh nilai Batas Pengukuran Terendah (*Minimum Detectable Activity = MDA*) untuk kondisi pengukuran sampel air Pusdiklat (waktu penumbuhan  $^{222}\text{Rn}$  30 hari, volume sampel 1500 mL, waktu pencacahan 1 jam) sebesar 0,054. Bq/L

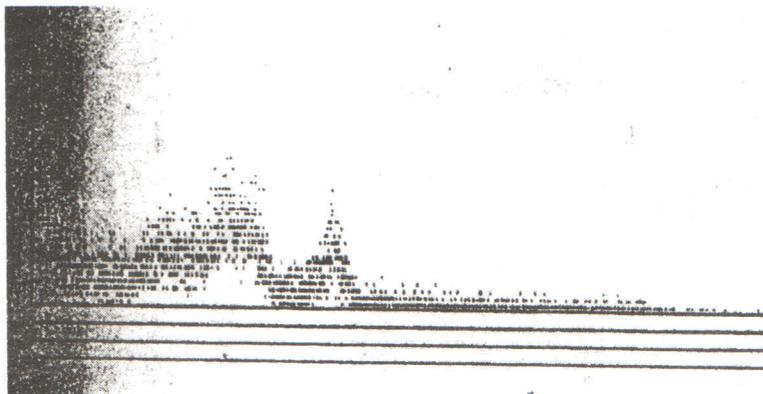
Keterangan :

VT : Volume toluene yang digunakan pada ekstraksi  
 Vt : volume toluene yang dicacah  
 Vs : volume sampel air  
 Va : volume udara dalam botol ekstraksi  
 A : Aktivitas total terukur dari  $^{222}\text{Rn}$  dan keempat anak luruhnya dan latar

belakang (diolah berdasarkan kurva ETM)  
 At : Aktivitas  $^{222}\text{Rn}$  dan keempat anak luruhnya dalam toluene pada pengukuran  
 ARn(t) : Aktivitas  $^{222}\text{Rn}$  dalam toluene pada pengukuran  
 ARn(T) : Aktivitas  $^{222}\text{Rn}$  dalam toluene untuk volume VT pada pengukuran  
 At(Rn) : Aktivitas  $^{222}\text{Rn}$  dalam sampel air pada pen-ukuran  
 Ao(Rn) : Aktivitas  $^{222}\text{Rn}$  dalam sampel air pada saat ekstraksi  
 ARa : Aktivitas  $^{226}\text{Ra}$  dalam sampel air  
 era : Konsentrasi  $^{226}\text{Ra}$  dalam sampel air

Tabel 2. Data hasil analisis  $^{226}\text{Ra}$

	Sampel Air Pusdiklat		Sampel Air Ciseeng	
	1	2	1	2
Sampling	24/09/03 11.30	24/09/03 11.30	29/10/03 10.05	29/10/03 10.05
Pelepasan Rn	25/09/03 14.30	25/09/03 14.30	29/10/03 09.00	29/10/03 09.00
Ekstraksi	03/11/03 08.30	03/11/03 08.30	03/11/03 08.30	03/11/03 08.30
Pencacahan	03/11/03 12.30	03/11/03 15.00	03/11/03 12.30	03/11/03 15.00
VT(mL)	$30 \pm 0,5$	$30 \pm 0,5$	$25 \pm 0,5$	$25 \pm 0,5$
Vt(mL)	$20 \pm 0,5$	$20 \pm 0,5$	$24 \pm 0,5$	$24 \pm 0,5$
Vs (mL)	$1500 \pm 5$	$1500 \pm 5$	$70 \pm 0,5$	$70 \pm 0,5$
A (dpj)	$3343 \pm 58$	$3514 \pm 59$	$12283 \pm 111$	$11654 \pm 108$
At (dpj)	<MDA	<MDA	$8852 \pm 126$	$8224 \pm 123$
At (dpj)	<MDA	<MDA	$1770,4 \pm 25,2$	$1644,8 \pm 24,6$
ARnm(8q)	<MDA	<MDA	$0,492 \pm 0,007$	$0,457 \pm 0,007$
ARnIT(8q)	<MDA	<MDA	$0,512 \pm 0,016$	$0,476 \pm 0,014$
Suhu (eC)	$28 \pm 2$	$28 \pm 2$	$28 \pm 2$	$28 \pm 2$
A <sub>1</sub> (Rm)(8q)	<MDA	<MDA	$0,528 \pm 0,024$	$0,491 \pm 0,022$
AoRn18q)	<MDA	<MDA	$0,644 \pm 0,029$	$0,598 \pm 0,027$
ARa(8q)	<MDA	<MDA	$1,08 \pm 0,05$	$1,01 \pm 0,05$
CRa(8q/L)	<MDA	<MDA	$15,5 \pm 0,8$	$14,4 \pm 0,7$
CRa(8q/L)	<MDA		$14,9 \pm 0,8$	



Gambar 2. Spektrum  $^{222}\text{Rn}$  dan Anak Luruhnya

Aktivitas  $^{226}\text{Ra}$  dihitung berdasarkan aktivitas  $^{222}\text{Rn}$  dan waktu penumbuhannya dengan menggunakan persamaan Bateman, dengan cara dihitung balik. Perhitungan tersebut cukup sulit bila dilakukan secara manual, karena harus memperkirakan aktivitas  $^{226}\text{Ra}$  untuk waktu penumbuhan tertentu mendapatkan Aktivitas  $^{222}\text{Rn}$  yang sesuai. Dalam penelitian ini perhitungan dilakukan dengan membuat program kecil dengan perangkat lunak MS Excel seperti tabel 3 di bawah.

#### KESIMPULAN

1. Analisis  $^{226}\text{Ra}$  dapat dilakukan menggunakan LSC Aloka-5000 melalui pengukuran  $^{222}\text{Rn}$ , dengan batas pengukuran terendah 0,054 Bq/L pada kondisi volume sampel 1500 mL, waktu penumbuhan 30 hari, waktu pencacahan 1 jam.
2. Kandungan  $^{226}\text{Ra}$  dalam sampel air tanah Pusdiklat tidak terukur karena di bawah batas pengukuran terendah, sedangkan dalam sampel air panas Ciseeng sebesar  $(14,9 \pm 0,8)$  Bq/L.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Grafton D. Chase and Joseph L. Rabinowitz, 1967. *Principle of Radioisotope Methodology*. Third Edition. Burgess Publishing Company, Minneapolis.
  2. Glenn F. Knoll. *Radiation Detection and Measurement*. Second Edition. John Wiley & Sons, New York. 1989.
  3. Murase, Y., dkk. 1998. *Assay of Rn-222 in Water Samples by Modified Integral Counting Method*. Journal of Application of Radiation and Isotope Vol.49 NO.7. Elsevier Science Ltd., Great Britain.
  4. Pusdiklat BATAN. 2005. *Petunjuk Praktikum Analisis Ra-226 Melalui Pengukuran Rn-222 Menggunakan Pencacah Sintilasi Cair*. Jakarta.
- Aloka. 1997. *Manual of LSC-5000*. Japan.

Tabel3. Perhitungan Aktivitas <sup>226</sup>Ra

PERHITUNGAN AKTIVITAS <sup>226</sup>Ra

Aktivitas <sup>226</sup>Ra awal: 1,084 Bq  
 N1 awal = 78926462338 nuklida  
 t = 430200 detik

Radionuklida	Waktu paro	Lamda	EXP	Nn	Aktivitas				
Ra-226	50457600000	1,37343E-11	0,999994092	78925996002	1,083994				
Rn-222	330350,4	2,09777E-06	0,405570018	307163,8607	0,64436				
Po-218	186	0,003725806	0	172,878611	0,644112				
Pb-214	1620	0,000427778	1,1934E-80	2534,02205	1,083998				
Bi-214	1194	0,000580402	3,6431E-109	1103,27146	0,640341				
Po-214	0,0001637	4233,353696	0	0,000151261	0,640341				
Pb-210	703252800	9,85421E-10	0,999576162	156371,3587	0,000154				
Bi-210	432864	1,60096E-06	0,502210949	19,76931368	3,16E-05				
Po-210	11956032	5,79624E-08	0,975372906	3,615137496	2,1E-07				
Pb-206									
Radionuklida	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9
Ra-226	78926462338								
Rn-222	516741,9598	-516741,9598							
Po-218	290,9456289	-291,1095337	0,163904808						
Pb-214	2534,042655	-0,013888049	-0,185164428	14,10756583					
Bi-214	1867,683335	-1884,756775	0,025182525	39,54092396	-22,4927				
Po-214	0,000256063	-0,000258404	3,45258E-09	5,42115E-06	-3,1E-06	-15E-33			
Pb-210	1115593420	521710,8632	-0,00392291	-53,6486188	22,49271	1,55E-33	-1,1E+09		
Bi-210	686672,5205	-1034,816227	1,038E-09	0,000124048	-3,8E-05	-3,6E-46	-687411	1773,1411	
Po-210	18970911,04	812,1855211	-4,46031E-13	-4,6432E-07	1,06E-07	1,30E-55	-1,9E+07	-1839,75	345303,8
Pb-206									