

## PENENTUAN UNSUR KELUMIT UMUR PARO PENDEK DALAM CUPLIKAN LINGKUNGAN DENGAN METODA ANALISIS PENGAKTIPAN NEUTRON

Sri Wardani, Edison Sihombing, Amir Hamzah,  
Rochidi, Putut Hery S., Saleh Hartaman, Jaka Inan

### ABSTRAK

**PENENTUAN UNSUR KELUMIT DALAM CUPLIKAN LINGKUNGAN DENGAN METODA ANALISIS PENGAKTIPAN NEUTRON.** Pada penentuan konsentrasi nuklida umur paruh pendek di dalam cuplikan lingkungan dengan metoda analisis pengaktipan neutron (APN), sering terjadi kehilangan cacah yang disebabkan oleh kecepatan cacah yang tinggi. Suatu sirkuit elektrik "Pile-Up Rejector (PUR)" diinstalasikan ke dalam pencacahan nuklida umur paruh pendek dengan spektrometer sinar- $\gamma$  sebagai koreksi terhadap kehilangan nilai cacah. Cuplikan diiradiasi selama 30 ~ 60 detik pada fluks neutron  $3,5 \times 10^{12} \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , kemudian didinginkan selama 120 detik dan dilakukan pencacahan selama 180 detik dengan menggunakan sistem ini. Konsentrasi nuklida di berbagai cuplikan lingkungan mempunyai hasil analisis yang berbeda, lebih presisi dan akurat, dimana harga pengukuran dari analisis dengan sistem PUR 30% lebih besar dari pada hasil pengukuran dengan metode spektrometri sinar- $\gamma$  konvensional.

### ABSTRACT

**DETERMINATION OF SHORT-LIVED TRACE ELEMENTS IN ENVIRONMENTAL SAMPLES BY NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS.** Concentration of a short-lived trace elements in environmental samples were determined by neutron activation analysis, a counting loss often occurs due to the high counting rate. A Pile-Up Rejector (PUR) electric circuit was installed in counting a short-lived trace elements by a  $\gamma$ -ray spectrometer in order to correct a counting loss. The samples were irradiated for 30 ~ 60 seconds at neutron flux of  $3.5 \times 10^{12} \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , then the samples cooled for 120 seconds and counted for 180 seconds using this system. The nuclide concentration in the varieties environmental samples have a difference analysis results, was more accurate and precise, which the measured results would be 30% more higher by PUR system than the result would be counted using a conventional  $\gamma$ -ray spectrometry method.

### PENDAHULUAN

Akurasi metode Analisis Pengaktipan Neutron Instrumental (APNI) dengan spektrometer sinar- $\gamma$  efisiensi tinggi diperlukan dalam analisis untuk memperoleh sensitivitas yang baik. Pada APNI, sinar- $\gamma$  dari radionuklida berumur paruh pendek dicacah dengan spektrometer sinar- $\gamma$  konvensional, sering terjadi kehilangan nilai cacah yang disebabkan oleh kecepatan cacah yang tinggi. Untuk mengoreksi terhadap kehilangan nilai cacah tersebut dipasang suatu sirkuit listrik "Pile-Up Rejector (PUR)" pada sistem spektrometer sinar- $\gamma$  yang digunakan dan pembacaan radionuklida berumur paruh pendek mempunyai "dead-time" pencacahan yang tinggi. Pengukuran sinar- $\gamma$  dengan kondisi

kecepatan pencacahan tinggi dapat dipergunakan. Peluruhan radioaktivitas, pulsa, pile-up pada saat pengukuran menjadi masalah penting. Penyelesaian masalah ini merupakan hal yang sangat penting untuk mencapai hasil analisa dengan sensitivitas pengukuran yang baik untuk spektrometer sinar- $\gamma$ . Untuk kecepatan pencacahan tinggi dengan mengganti pulsa / pile-up dengan interval dua pulsa yang dimasukkan ke dalam detektor mendekati "piled-up" yang sesuai. Satu pulsa yang diakui ada fenomena pencacahan pada tempat yang berlainan dan kanal yang disesuaikan dengan ketinggian gelombang yang asli untuk pengukuran sinar- $\gamma$  dengan kecepatan pencacahan tinggi, dengan pulsa / pile-up terjadi

kehilangan nilai pencacahan pada puncak sinar- $\gamma$  dengan target nuklida, harga analisis menjadi lebih kecil dari harga yang sebenarnya. Lebih lanjut, latar pada bagian energi tinggi dan puncak sinar- $\gamma$  dengan pulsa/pile-up akan bertambah, deteksi pada puncak yang sangat kecil menjadi sulit. Oleh karena itu, biasanya sedapat mungkin dilakukan pengukuran sinar- $\gamma$  dengan kondisi kecepatan pencacahan rendah pada derajat 2 kcps, dicari hubungan yang berkaitan dengan perbandingan pengurangan nilai pengukuran dan kecepatan pencacahan, dengan berdasarkan hubungan setelah pengukuran sinar- $\gamma$  ini maka diperlukan suatu metoda koreksi terhadap kehilangan pencacahan tersebut. Sebagai metoda pengukuran dengan kecepatan pencacahan tinggi maka ditambahkan pulsa / pile-up rejector (PUR) pada spektrometer sinar- $\gamma$  yang digunakan atau dengan peralatan baru yang disebut "Ultra High Counting Rate". Pada eksperimen ini, sebagai koreksi terhadap pengurangan radioaktivitas pada saat pengukuran dengan kecepatan pencacahan tinggi dapat dicatat nilai "dead-time" dengan memberikan fungsi pada spektrometer sinar- $\gamma$  dilakukan pengujian metoda koreksi terhadap peluruhan radioaktivitas dan umur paruhnya. Efisiensi spektrometer sinar- $\gamma$  pada pemakaian kecepatan pencacahan tinggi untuk pengukuran radionuklida seperti Al, V, Se, Pt, Mn dll. yang terkandung dalam kuantitas mikro adalah lebih tinggi dibanding pengukuran dengan spektrometer sinar- $\gamma$  konvensional

## METODOLOGI

**Persiapan cuplikan lingkungan, dan bahan standar referensi**

Cuplikan yang dianalisa terdiri dari beberapa cuplikan lingkungan, antara lain : sedimen dan air sungai Banjir kanal (yang kena

limbah industr), cuplikan bahan standar referensi CRM-NIES (National institute for Environmental Studies of Japan) merupakan bahan referensi yang ditetapkan dengan no kode CRM (certified reference materials) yaitu cuplikan CRM. No3 (Chlorella), CRM No.8 (udara partikulat) dan CRM No.13 (rambut manusia).

Persiapan awal cuplikan lingkungan dibagi dalam 3 kelompok, antara lain :

1. *Cuplikan sedimen.* Cuplikan dicuci dengan air murni dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 100°C selama beberapa hari sampai kering. Kemudian cuplikan ditimbang dengan berat 30 ~ 100 mg dan dibungkus dalam kantong polietilen rangkap
2. *Cuplikan air sungai.* Cuplikan dikeringkan dalam oven pada temperatur 80° C selama beberapa hari sampai kering berbentuk serbuk padat. Kemudian cuplikan ditimbang dengan berat 30 ~ 100 mg dan dibungkus dalam kantong polietilen rangkap
3. *Cuplikan bahan standar referensi CRM* dengan nomor kode , yaitu: CRM No.3 (Chlorella), CRM No.8 (udara partikulat), dan CRM No.13 (rambut manusia). Cuplikan tanpa perlakuan awal kemudian ditimbang untuk masing-masing berat 20 ~ 30 mg dan dibungkus dalam kantong polietilen rangkap.
4. *Cuplikan ikan laut.* Cuplikan ikan dibersihkan dari kotoran yang ada, kemudian dicuci dengan air murni dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 50° C selama beberapa hari sampai kering dan berat tetap. Kemudian cuplikan ditumbuk sampai halus, ditimbang dengan orde berat 50 ~ 100 mg, kemudian dibungkus dalam kantong polietilen rangkap.

Cuplikan kacang-kacangan( kedelai hitam, kedelai putih, kacang merah dan kacang hijau).. Cuplikan dicuci bersih, kemudian dikeringkan dalam oven pada temperatur 50° C selama beberapa hari sampai kering dan berat tetap. Kemudian cuplikan dibagi dalam 2 bagian, yaitu :a).. Sebagian cuplikan dalam bentuk biji ditimbang dengan orde berat 50 ~ 100 mg, kemudian dibungkus dalam kantong polietilen rangkap b) Sebagian cuplikan yang lain ditumbuk sampai halus, ditimbang dengan orde berat 50 ~ 100 mg, kemudian dibungkus dalam kantong polietilen rangkap

#### Persiapan unsur standar

Penentuan konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam cuplikan lingkungan secara kuantitatif dilakukan dengan metode komparatif menggunakan unsur standar yang sama dengan unsur yang terkandung dalam cuplikan yang dianalisis sebagai unsur pembanding cuplikan. Pada eksperimen ini, unsur-unsur yang ditentukan secara kuantitatif adalah :

- a). Nuklida umur paro pendek, yang terkandung dalam cuplikan lingkungan, antara lain: V, Al, Mg, Mn, dan Na.
- b) Nuklida umur paro pendek yang terkandung dalam cuplikan standar referensi (CRM No.3, CRM No.8 dan CRM No.13), antara lain: Mn, Mg, Zn, Al, Na, V, Se, dan Cu.

Masing-masing unsur tersebut di atas dimasukkan dalam kantong polietilen rangkap yang diberi kertas saring dengan menggunakan mikropipet dengan volume antara 10~50 µl atau ekivalen berat 10~50 µg, kemudian di 'seal' kedua sisinya dan diiradiasi bersama-sama cuplikan yang akan dianalisa pada kondisi iradiasi yang sama. Dari beberapa jenis cuplikan

tersebut, masing-masing diiradiasi dengan neutron termal selama 30 ~ 60 detik pada posisi sistem rabbit dengan flux neutron termal  $3,5 \times 10^{12} \text{n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .

#### Iradiasi dan pencacahan

Cuplikan lingkungan, cuplikan standar referensi dan unsur standar setelah di masukkan kedalam kapsul polietilen rangkap, kemudian diiradiasi selama 30 ~ 60 detik dalam posisi sistem rabbit hidrolik pada fluks neutron termal  $3,5 \times 10^{12} \text{n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  di reaktor riset RSG GAS. Setelah di iradiasi, cuplikan didinginkan selama 120 detik dan dilakukan pencacahan selama 180 detik menggunakan spektrometer sinar-γ konvensional dengan planar detektor

Spektrometer sinar-γ yang untuk analisis cuplikan menggunakan 2 metode, yaitu : metode spektrometer sinar-γ konvensional tanpa menggunakan PUR, dan metode spektrometer sinar-γ yang dilengkapi dengan PUR dan analog digital transformator (Canberra 8077) digabung untuk koreksi kehilangan nilai cacah atau dengan peralatan baru yang disebut *ultra high counting rate (UHCR)* Untuk mengukur peluruhan radioaktivitas nuklida berumur pendek selama periode pencacahan, kecepatan "dead time" per detik di dalam analisator tinggi pulsa saluran ganda pada spektrometer sinar-γ telah dicoba selama periode pencacahan .

#### Inspeksi efisiensi PUR

Untuk memeriksa ketepatan kerja PUR dilakukan eksperimen terhadap efisiensi spektroskopi-Amp dengan PUR. Eksperimen dilakukan dengan 2 tahap, yaitu pertama mengerjakan eksperimen awal dengan mengukur cuplikan  $^{65}\text{Zn}$  (670 Bq) sebagai sumber detektor HPGe, kemudian mengukur intensitas dan laju

cacah sinar- $\gamma$ . Kedua, eksperimen dengan  $^{137}\text{Cs}$  (36 - 1600 kBq) sebagai sumber detektor HPGe, dengan kondisi pengukuran pada ketinggian 20 dan 80 mm dan lama pencacahan selama 15 menit. Dari seluruh perubahan laju cacah dengan PUR dan tanpa PUR, pertama-tama dapat diketahui hasil analisis untuk perubahan permukaan puncak sinar- $\gamma$  dari sumber  $^{65}\text{Zn}$  pada 1115 keV; dan dapat diketahui efek pengurangan latar dengan menggunakan PUR dari sumber  $^{137}\text{Cs}$  (360 kBq) dan juga pengukuran unsur kelumit  $^{54}\text{Mn}$  dan  $^{59}\text{Fe}^{2)}$

**Koreksi peluruhan radioaktivitas.**

Pada penentuan nuklida umur paruh pendek yang akan terjadi perubahan laju cacah pada awal dan akhir pengukuran. Penentuan nuklida-nuklida dengan metoda pembandingan untuk menghitung harga perbandingan laju cacah puncak sinar- $\gamma$  pada awal pencacahan cuplikan referensi standar dengan cuplikan yang

dianalisis, harus dilakukan koreksi terhadap presisi peluruhan radioaktivitas sebelum pengukuran. Untuk ini, dilakukan koreksi peluruhan radioaktivitas selama pengukuran dengan metoda tersebut. dengan mengsumsikan waktu pengukuran  $T_a$ , luas puncak foton dari nuklida adalah  $S$ , laju cacah puncak pada awal pengukuran adalah  $I_0$ , maka dapat ditunjukkan persamaan integral seperti persamaan 1)<sup>3)</sup>

$$S = \int_0^{T_a} [I_0 - D(t)]e^{-\lambda t} dt \tag{1}$$

dimana :

$D(t)$  : “dead time” pada waktu  $t$ ,

$T_a$  : true time

Fungsi  $D(t)$  tidak diketahui dari persamaan hitungan integral 1), tetapi laju “dead time” selama pengukuran akan berubah seperti ditunjukkan dalam persamaan 2), perhitungan integral persamaan 1) dapat dihilangkan, laju cacah puncak sinar- $\gamma$  pada awal pengukuran  $I_0$  menjadi seperti pada persamaan 3)

$$D(t) = T_a - T_b / T_a \dots\dots\dots \tag{2}$$

$$I_0 = S \cdot \lambda (T_a / T_b) / (1 - e^{-\lambda T_a}) \tag{3}$$

dimana  $T_b$  : live time.

Disini metoda “total dead time” adalah persamaan koreksi peluruhan radioaktivitas <sup>4)</sup>. Tetapi laju cacah selama pengukuran berubah, laju “dead time” menjadi besar., dari persamaan diketahui secara pasti bahwa koreksi yang tepat untuk laju “dead time” tidak dapat dikerjakan. Oleh karena itu, dilakukan pengujian metoda dari hasil analisis yang diperoleh dari laju pencacahan dengan memasukkan harga integral numerik ke dalam persamaan 1) untuk harga laju “dead time” $\gamma$  pada detektor.

Dengan pemakaian berulang pada spektrometer sinar- $\gamma$ , didapatkan numerik laju “dead time” per detik selama pengukuran, akhir pengukuran data spektrum bersama-sama floppy disket dapat dituliskan dengan menambah fungsinya. Adapun analisis spektrum sinar- $\gamma$  dikerjakan dengan program komputer P.C. Dicari harga laju pencacahan puncak spektrum pada awal pengukuran dan diketahui koreksi peluruhan radioaktivitas dari persamaan 1) maka secara otomatis diketahui data laju “dead time” per detik dan luas puncak spektrum.

## **ANALISIS KUALITATIF DAN KUANTITATIF**

Dari hasil analisis kualitatif untuk masing-masing cuplikan lingkungan dapat diketahui unsur-unsur umur paro pendek yang terkandungnya seperti ditunjukkan dalam tabel 1.

Pada analisis kuantitatif digunakan metode komparatif dengan unsur standar yang sama, dan dari hasil perhitungan dapat diketahui harga konsentrasi unsur dalam ppm ( $\mu\text{g/g}$ ) seperti ditunjukkan dalam tabel 2 .

## **PEMBAHASAN**

Dari tabel 1 dapat diketahui unsur-unsur (umur paro pendek) kualitatif yang terkandung dalam berbagai cuplikan lingkungan yang dianalisis.

Dari tabel 2 adalah hasil analisis cuplikan standar referensi CRM-NIES, dan dari hasil analisis ini dapat diketahui akurasi dan presisi peralatan yang digunakan. Dari hasil analisis cuplikan dengan metode APN yang menggunakan fasilitas peralatan di RSG-GA Siwabessy apabila dibandingkan dengan hasil analisis yang ditetapkan oleh NIES (sertifikat NIES) menunjukkan bahwa peralatan di RSG-GA Siwabessy cukup laik dipergunakan untuk aplikasi teknik APN. Dari hasil analisis terlihat presisi dan akurasi yang baik dibandingkan dengan NIES, dengan presisi berkisar 3% ~ 18%. Hal ini disebabkan adanya banyak masalah yang timbul pada saat iradiasi cuplikan dengan waktu iradiasi pendek (30 detik) di posisi sistim

rabbit hidrolik sehingga mengurangi presisi dan akurasi hasil analisis. Untuk analisis unsur/nuklida umur paro pendek dengan teknik APN sangat dianjurkan untuk mengiradiasi cuplikan pada posisi sistim rabbit pneumatik. Kendala pada saat pelaksanaan penelitian adalah persediaan kapsul iradiasi untuk sistim pneumatik tidak tersedia. Diharapkan dengan sistim rabbit pneumatik hasil analisis mempunyai presisi dan akurasi yang lebih baik.

Tabel 3 adalah hasil analisis dari berbagai cuplikan lingkungan, dari hasil analisis ini dapat diketahui konsentrasi dari berbagai unsur berumur paro pendek yang terkandung dalam cuplikan lingkungan sampai pada orde ppm. Dikarenakan beberapa kendala teknis maka analisis cuplikan dengan menggunakan PUR/UHCR belum dapat dilakukan dan akan dilakukan dalam waktu dekat ini.

Sedangkan untuk mengetahui efisiensi PUR hanya dilakukan secara eksperimen dari beberapa sumber standar  $\text{Zn-65}$  dan  $\text{Cs-137}$  menggunakan detektor HPGe. Dari hasil eksperimen untuk inspeksi efisiensi PUR dapat diketahui bahwa relatif standar deviasi kira-kira 30% untuk PUR. Dalam hal ini dikarenakan kehilangan nilai pencacahan yang disebabkan oleh laju cacah tinggi. Dsini dapat disimpulkan bahwa hasil analisis dengan spektrometer sinar- $\gamma$  dengan PUR memberikan hasil analisis dengan akurasi dan presisi yang lebih baik

Tabel 1. Hasil analisis kualitatif unsur umur paro pendek dari bermacam cuplikan lingkungan.

	Nama Cuplikan	Pos. Iradiasi	lama Iradiasi / lama pencacahan	Unsur
	<b>Umur paro pendek (Kacang-kacangan)</b>			
1	Kedelai hitam biji	Sistem	30 detik/3 menit	Mg, Mn, In, K, Cl,
2.	Kedelai putih biji	rabbit hidr.	30 detik/3 menit	Mg, Mn, In, Na, K, Cl, Br
3.	Kacang merah biji		30--45det/3 menit	Mg, Mn, In, Na, K, Cl, Al
4	Kacang hijau biji		30-35 det/3 menit	Mg, Mn, In, Na, K, Al, Cl
	<b>( Ikan laut dari pantai utara Jakarta)</b>			
1	Udang	Sistem	30 detik/60 detik	Mn, Al, Na, In, Cu
2.	Ikan kembung (bag. Tubuh ikan)	rabbit hidr	30 detik/2 menit	Mn, Mg, Al, Cl, In, Na.
	<b>( Bahan standar referensi CRM-NIES)</b>			
1	CRM No.8 (udara	Sistem	30 detik/60 detik)	Na, Zn, Mn, Al, V, Cu
2.	parikulat)	rabbit hidr	30 detik/60 detik	Mg, Mn, V, Cl, Al
3.	CRMNo.13(rambut manusia)		30 detik/ 3 menit	Mn, Mg, Cl, Zn
	CRM No.3(Chlorella)			
	<b>Sedimen &amp; Air sungai</b>			
1	a. Sedimen posisi 1	Sistem	30 detik/ 3 menit	Sc, Mn, Ar, Na, V, Al
	b. Sedimen posisi 3	rabbit hidr	30 detik/3 menit	Sc, Mg, Mn, Ar, Na, V, Al
	c. Sedimen posisi 5		30 detik/ 3 menit	Mn, I, Ar, Na, In, V, Cl, Al
2.	a. Air sungai posisi 5		30 detik/ 3 menit	Mn, Ar, Na, Cl, Al
	b. Air sungai posisi 6		30 detik/ 3 menit	Mn, Ar, Na, Cl, Al
	c. Air sungai posisi 7		30 detik/ 3 menit	Mn, Ar, Na, Cl, Al

**Tabel 2. Hasil analisis kuantitatif cuplikan CRM-NIES**

No.	Nama Unsur	Konsentrasi (ppm) (harga analisis)	Konsentrasi (ppm) (harga NIES)
	CRM No. 03 ( Chlorella)		
	Mn	66	69 ± 5
	Zn	18,65	20,5 ± 1,0
	Mg	0,37	0,33 ± 0,02 (%berat)
	CRM No.8 (udara partikulat)		
	Al	0,29 (%)	0,33 ± 0,02 (%)
	Na	0,21 (%)	0,192 ± 0,008 (%)
	Zn	0,12 (%)	0,104 ± 0,005 (%)
	V	15	17 ± 2
	CRM No.13 (rambut manusia)		
	Mg	155	160
	Al	122	120
	V	0,19	0,27
	Mn	3,50	3,90

**Tabel 3. Hasil analisis kuantitatif berbagai cuplikan lingkungan**

No.	Nama cuplikan	Unsur	Konsentrasi (ppm)
1	Sedimen posisi 1	Mn ; Na ; V ; Al	0,42; 18,56; 0,24; 1,54
	Sedimen posisi 5	Mn ; Na ; V ; Al	0,32; 202,62; 0,22; 1,18
	Sedimen posisi 3	Mn; Na; V; Al	0,18; 54,49; 0,19; 1,26
2	Air sungai posisi 5	Mn; Na; Al	0,11; 63,77; 0,21
	Air sungai posisi 6	Mn; Na; Al	0,20; 80,38; 0,41
	Air sungai posisi 7	Mn; Na; Al	0,17; 53,17; 0,81
3	Kedelai hitam biji	Mn; Mg; K	3,78; 350; 2400
	Kedelai putih biji	Mn; Mg; Na; K; Br	3,20; 390; 36; 7200; 0,87
	Kacang merah biji	Mn; Mg; Na; K; Al	0,31; 360; 6,08; 2573; 0,52
	Kacang hijau biji	Mn; Mg; K; Al	0,31; 48,66; 252; 0,11

### KESIMPULAN

Pertama, pada penentuan nuklida umur paruh pendek dalam cuplikan CRM-NIES menunjukkan bahwa fasilitas peralatan yang tersedia di RSG-GA Siwabessy cukup laik dipergunakan untuk aplikasi teknik APN dimana presisi 3% - 18% dibandingkan dengan sertifikat NIES.

Kedua, pada pengukuran sumber radionuklida berumur paruh pendek metode pencacahan spektrometer sinar- $\gamma$  dengan PUR memberikan hasil analisis dengan akurasi dan presisi yang lebih baik dari pada hasil analisis dengan metoda spektrometer sinar- $\gamma$  konvensional.

Ketiga, untuk mencapai hasil analisis yang optimum pada analisis unsur umur paro pendek

dengan teknik APN, sangat dianjurkan untuk mengiradiasi cuplikan pada posisi sistim rabbit pneumatik

#### DAFTAR PUSTAKA

1. S.SUZUKI, S. HIRAI, 'Efficiency inspection of PUR using high counting rate  $\gamma$  - ray spectrometer', Anal. Sci. Bunseki Kagaku Vol.41, 1992
2. S. SUZUKI, S. HIRAI, "Radioisotopes", 34, 563 (1985)
3. M. WIERNIK, "Nucl. Instrum. Methods Phys". Res., Sect. A 95, 13 (1971)
4. E. SCHANFIELD, "Nucl. Instrum. methods Phys". Res, Sect. A 42, 213 (1966)

#### PERTANYAAN

Penanya Setiyanto

##### Pertanyaan :

1. Apa kriteria nuklida umur pendek?
2. Adakah cara/metode khusus untuk mencacah nuklida umur pendek? Apa bedanya dengan nuklida umur panjang?
3. Yang diutamakan HCR atau umur pendek?

##### Jawaban :

1. Pada penelitian ini nuklida umur paruh pendek adalah nuklida dengan umur paruh  $\pm$  3,5 menit s/d beberapa jam.
2. Pada umumnya dilakukan pencacahan dengan metode spektrometri sinar gamma konvensional. Tetapi ada metode lain yang memberikan hasil lebih baik dan akurat yaitu dengan metode spektrometri sinar gamma laju cacah tinggi menggunakan PUR/UHCR.

3. Yang diutamakan adalah unsur umur paruh pendek dengan 2 metode pencacahan, yaitu metode spektrometri sinar gamma konvensional dan metode spektrometri sinar gamma laju cacah tinggi.

Penanya Yan Bony Marsahala

##### Pertanyaan :

1. Selain dengan teknik analisis pengaktifan neutron, penentuan unsur kelumit dalam cuplikan lingkungan dapat dilakukan dengan metode lain. Yang ditanyakan apa dasar pemikiran anda yang mendasari pemilihan teknik tersebut di atas?
2. Dengan teknik ini unsur kelumit apa saja yang dominan dapat dilacak?

##### Jawaban :

1. Teknik APN mempunyai keandalan teknik analisis tinggi, yaitu mampu menganalisis cuplikan pada orde mg dengan kemampuan analisis unsur-unsurnya sampai pada orde ppm ~ pH. Dan dapat menganalisis banyak unsur (20 ~ 50 unsur) pada satu kali pengukuran.
2. Unsur-unsur yang dapat ditentukan terdiri dari banyak unsur (50 unsur).

Penanya Suryawati

##### Pertanyaan :

1. Apa tujuan dari penelitian ini?
2. Mengapa / apa dasar pemilihan metode APN dan apakah telah dibandingkan dengan metode lain?

##### Jawaban :

1. Tujuan dari penelitian adalah penguasaan teknologi / metode APN dengan fasilitas yang tersedia di PRSG / PPSM.
2. Dasar pemilihan APN antara lain metode APN adalah metode analisis dengan sensitivitas.