

## Penentuan *Peak to Total Ratio* Pada Analisis Aktivasi Neutron dengan Metode *ko*

Yustina Tri Handayani  
Pusdiklat - Badan Tenaga Nuklir Nasional

### Abstrak

Penentuan efisiensi total diperlukan dalam Analisis Aktivasi Neutron dengan metode *ko* yang mulai digunakan di BATAN. Efisiensi total dihitung dari efisiensi puncak dan nilai *Peak to Total Ratio* (Pff). Kondisi ideal penentuan nilai PIT dilakukan menggunakan sumber standar dari radionuklida yang memiliki energi tunggal. Pada kondisi keterbatasan ketersediaan sumber standar tersebut, penentuan dapat dilakukan dengan menggunakan radionuklida dengan multi-energi, dengan melakukan koreksi terhadap puncak-puncak yang lain. Percobaan penentuan nilai PIT dilakukan menggunakan sumber standar  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  terhadap spektrometer dengan detector HPGe coaxial model GC3018. Dari percobaan diperoleh hubungan nilai PIT terhadap energi (E) dengan persamaan  $\text{Log(PIT)} = 1.95 \text{ Log(E)} + 7.88 \text{ Log(E)} - 7.96$  untuk energi sampai dengan 100 KeV dan  $\text{Log(Pff)} = -0.864 \text{ Log(E)} + 1.76$  untuk energi lebih besar atau sama dengan 100 KeV.

### Pendahuluan

Metode *ko* dalam Analisis Aktivasi Neutron (AAN) sudah dikembangkan sejak tahun 1975. Karena banyak perhitungan yang harus dilakukan, metode tersebut dikembangkan dalam bentuk perangkat lunak untuk perhitungannya. Dibandingkan metode relative, metode tersebut mempunyai keuntungan dari segi penghematan biaya karena tidak bergantung pada penggunaan bahan standar dan dari penghematan waktu karena bisa dilakukan otomatisasi perhitungan.

Di BATAN, saat ini sedang dilakukan penyebarluasan penggunaan metode tersebut dengan bantuan perangkat lunak ko IAEA. Pada perangkat lunak tersebut, penentuan efisiensi dilakukan secara otomatis dari spectrum standar Cs-137 dan mixstandard. Walaupun demikian, tentu saja pemahaman tentang efisiensi total tetap diperlukan.

Di kawasan Asia, Korea, Cina dan Vietnam sudah membuat perangkat lunaknya sendiri. BATAN mempunyai program untuk membuat perangkat lunak ko.

Dalam pembuatan perangkat lunak tersebut, harus ditentukan dasar-dasar perhitungan dalam suatu algoritma. Salah satu nilai yang diperlukan dalam perhitungan adalah nilai efisiensi deteksi dari spectrometer gamma yang digunakan. Input nilai efisiensi tersebut dapat dimasukkan secara manual, maupun memasukkan input dalam bentuk spectrum mentah untuk selanjutnya perangkat lunak yang melakukan pengolahan data untuk mendapatkan nilai efisiensi. Pada kedua keadaan yang bisa dipilih dalam pembuatan perangkat lunak nanti, pemahaman tentang efisiensi total perlu dikembangkan, karena berbeda dengan pemahaman efisiensi seperti yang sudah dikenal dan digunakan, selama ini. Penentuan efisiensi total menggunakan sumber standar yang multi-energi dilakukan dengan beberapa pendekatan.

Secara ideal, penentuan efisiensi total memerlukan 6 (enam) sumber standar dari radionuklida yang mempunyai energi gamma tunggal, 3 buah dengan energi yang menyebar dan kurang dari 170 KeV serta 3 buah dengan energi yang menyebar dan lebih dari 170 KeV.

Apabila kondisi ideal tersebut terpenuhi, perhitungan nilai efisiensi total sangat sederhana. Dalam kenyataannya sulit untuk mendapatkan kondisi ideal tersebut, karena beberapa radionuklida yang memenuhi ketentuan tersebut, mempunyai waktu paro yang relative pendek, sehingga ketersediaan sumber standar tersebut di laboratorium sering menjadi kendala. Sedangkan pembuatan radionuklida tersebut dengan cara iradiasi, menghadapi kendala adanya pengotor yang menyebabkan energinya tidak tunggal.

Dalam makalah ini, penentuan efisiensi total menggunakan sumber standar yang multi-energi dilakukan dengan salah satu cara pendekatan. Dengan demikian, diharapkan pada saat pembuatan perangkat lunak nanti, bisa menjadi pertimbangan untuk menuangkannya dalam analisis numerik.

### Teori Dasar

Konsentrasi unsur dalam AAN ko dihitung berdasarkan persamaan :

$$Po = \frac{\left( \frac{N_p/t_m}{S.D.C.w} \right)_a}{A_{sp,m}} \cdot \frac{M_a \cdot \theta_m \cdot \sigma_{o,m} \cdot \gamma_m}{M_m \cdot \theta_a \cdot \sigma_{o,a} \cdot \gamma_a} \cdot \frac{G_{th,m} \cdot f + G_{e,m} \cdot Q_{o,m}(\alpha) \cdot \epsilon_{t,m}}{G_{th,a} \cdot f + G_{e,a} \cdot Q_{o,a}(\alpha) \cdot \epsilon_{t,a}} \cdot 10^6$$

$$k_{o,m}(a) = \frac{M_m \cdot \theta_a \cdot \sigma_{o,a} \cdot \gamma_a}{M_a \cdot \theta_m \cdot \sigma_{o,m} \cdot \gamma_m}$$

Keterangan :

- N<sub>p</sub> : jumlah cacah yang dirumpulkan pada puncak energi-penuh, setelah dikoreksi terhadap pulsa yang hilang ( antara lain : waktu mati detektor dan efek koinsidens)
- N<sub>A</sub> : Bilangan Avogadro, 6,023.10<sup>+23</sup>
- t<sub>m</sub> : selang waktu pengukuran (detik)
- S : faktor kejenuhan yang dinyatakan sebagai  $A = 1 - e^{-\lambda t}$  ;  
A = tetapan peluruhan = (ln2)/T, dengan T menunjukkan waktu paruh radionuklida yang diamati, dan tiradalah waktu irradiasi (detik)
- D : faktor peluruhan =  $e^{-\lambda t}$ , dengan t<sub>1/2</sub> adalah waktu peluruhan
- C : faktor pengukuran =  $(1 - e^{-\lambda t}) / \lambda t$ , dengan t<sub>m</sub> menyatakan waktu pengukuran
- W : massa unsur yang diiradiasi (g)
- e : Kelimpahan isotop di alam (fraksi)
- ε : efisiensi deteksi dari puncak energi total, termasuk koreksi untuk attenuasi y
- y : intensitas absolut sinar y
- M : Massa molar

Nilai efisiensi yang diperlukan adalah nilai efisiensi total yang dikoreksi terhadap adanya atenuasi dari bahan-bahan yang dilalui radiasi gamma. Perhitungan atenuasi di luar percobaan ini.

sedangkan efek fotolistrik menghasilkan puncak pada energi 511 KeV.

Selama ini, efisiensi deteksi dinyatakan sebagai efisiensi puncak, dihitung berdasarkan hasil pengukuran sumber standar dengan persamaan sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{R_p}{A_s I_y}$$

Keterangan :

- R<sub>p</sub> : laju cacah puncak (cacah per satuan waktu) yang sudah dikoreksi terhadap laju cacah latar belakang
- A<sub>s</sub> : aktivitas sumber standar

Efisiensi deteksi total dapat diperoleh dari efisiensi puncak dengan persamaan sebagai berikut :

$$\epsilon_t = \frac{G_p}{(P / T)}$$

Dimana P{f adalah Peak to Total Ratio. P{f merupakan kuantitas yang bisa diukur secara eksperimental untuk suatu detektor, bergantung pada parameter:

- Energi foton
- Jarak sumber detector
- Komposisi dan geometri sumber
- Material penyerap dan penghambur

Sumber yang digunakan untuk penentuan P{f adalah sumber titik dan secara ideal adalah radionuklida yang memiliki energi tunggal.. Pada penentuan P{f sebaiknya dilakukan pada energi yang menyebar dari rendah sampai tinggi. Beberapa radionuklida yang biasa digunakan dalam penentuan P{f dapat dilihat pada tabel I.

Penggunaan radionuklida dengan multi-energi dapat digunakan dengan melakukan pengurangan area puncak lainnya.

Koreksi yang perlu dilakukan meliputi:

1. pengurangan latar belakang
2. ekstrapolasi cacahan ke energi not
3. pengurangan cacahan "kontaminan" yang berasal dari pemancaran energi foton yang lain selain energi yang dikehendaki.

Tabel I. Beberapa radionuklida dengan energi tunggal

Radioouklida	Waktu paro	Eoergi (KeV)	Probabilitas pemancaran y
<sup>241</sup> Am	432,7 tahun	59,5	0,0359
<sup>1119</sup> Cd	462,6 hari	88,1	0,0365
<sup>57</sup> CO	271,79 hari	122,1	0,8568
<sup>201</sup> Hg	46,595 hari	279,2	0,8156
<sup>51</sup> Cr	27,705 hari	320,1	0,0985
<sup>137</sup> CS	30,25 tahun	661,6	0,8575
<sup>60</sup> Zn	244,26 hari	1115,6	0,507



### Alat dan Bahan

Spektrometer gamma dengan detector HPGe coaxial model GC3018, sumber standar  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{60}\text{Co}$ , pinset, dudukan sumber

### Prosedur

Pengukuran latar belakang dilakukan selama 1 jam. Sumber standar diletakkan pada dudukan sumber pada jarak tertentu dari detektor sesuai dengan kebutuhan. Pengukuran sumber dilakukan sampai diperoleh area puncak yang dikehendaki minimum 10.000 cacahan; Pengurangan spektrum latar belakang terhadap spectrum sumber standar dapat dilakukan baik secara otomatis menggunakan perangkat lunak, maupun secara manual. *Region of Interest (ROI)* dibuat pada puncak yang dikehendaki untuk mendapatkan nilai cacah puncak. Untuk mendapatkan area total diperoleh dari cacahan pada *Region of Interest (ROI)* pada seluruh spectrum ditambah nilai ekstrapolasi cacahan pada energi rendah. *ROI* pada puncak selain yang dikehendaki dibuat untuk mengurangi area total. Berdasarkan nilai (*PIT*) dari beberapa sumber standar, dibuat kurva hubungan antara  $\text{Log}(PIT)$  terhadap  $\text{Log}(E)$  dan regresinya. Perhitungan ulang atau iterasi dilakukan dengan mengurangi area total dengan nilai  $N_p/(PIT)$  sampai diperoleh kurva yang relatif tetap.

### Hasil dan Pembahasan

Penentuan (*PIT*) dilakukan pada kondisi tidak ideal, karena keterbatasan ketersediaan sumber standar, sehingga digunakan sumber standar  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{60}\text{Co}$ . Diantara sumber tersebut, hanya  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  yang memiliki energi tunggal. Oleh karena itu, nilai (*PIT*) ditentukan dengan metode Pengurangan Puncak "Kontaminan", pada energi yang bersesuaian dengan sumber tersebut diambil tetap, tidak perlu dihitung ulang pada langkah iterasi. Pengolahan data awal untuk mendapatkan nilai cacah puncak dan cacah total seperti contoh pada tabel 2.

Karena  $^{137}\text{Ba}$  merupakan radionuklida dengan multi-energi, maka nilai cacah total perlu dikurangi dengan nilai cacah puncak "kontaminan". Pengolahan datanya seperti ditunjukkan pada tabel 3 pada iterasi ke-I.

Hasil pengolahan data awal untuk sumber standar yang digunakan seperti pada tabel 4.

Nilai (*PIT*) pada energi 100 KeV diambil I, sesuai dengan asumsi dari IAEA..

**Tabel2. Cacah Puncak dan Cacah Total dari Spektrum <sup>133</sup>Ba**

Radionuklida : Ba-133

Peak utama

			Area
Energi: 356 KeV			27734
Integral			180950
	Count	Jml Channel	
E rendah	1	137	
	2	128	
	3	169	
	4	193	
	5	225	
	6	212	
	7	224	
	8	188	
	9	164	
	10	132	
Rerata		177.2	134
Integral Latar belakang			48121
<b>Cacah total + peak lain :</b>			<b>156573.8</b>

Tabel 3. Pengolahan Data Puncak "Kontaminan" dari <sup>133</sup>Ba

Puncak	"kontaminan"	Iterasi	
		1	2
	Energi (KeV)	Np	(P/T)1
1	35.3	860	0.37
2	53.3	712	0.68
3	81.0	24949	0.95
4	160.6	464	0.61
5	223.3	286	0.47
6	276.4	4032	0.40
7	302.9	9646	0.37
8	383.9	3711	0.30
9			
10			
	Total	44660	79684
	Net Area	111913.8	76890
<b>P/T</b>		<b>0.248</b>	<b>0.361</b>

Tabel 4. Nilai (PIT) Pada Iterasi ke-I

Radionuklida	Energi (KeV)	PIT	Log(E)	Log(PIT)
241Am	59.5	0.765	1.774517	-0.11634
109Cd	88.4	0.978	1.946452	-0.00966
	100	1	2	0
133S <sub>a</sub>	356	0.248	2.55145	-0.60555
137CS	661.6	0.213	2.820595	-0.67162
60Co	1173.7	0.142	3.069557	-0.84771
60CO	1332	0.124	3.124504	-0.90658

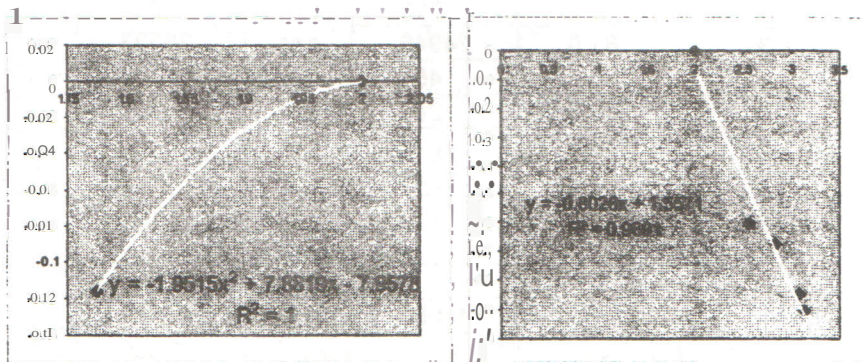
Kurva Log(PfT) sebagai fungsi Log(Energi) dapat dilihat pada Gambar 1. Kurva dipecah menjadi dua, untuk energi kurang sampai dengan 100 KeV didekati dengan polynomial tingkat 2, sedangkan energi 100 KeV atau lebih didekati dengan garis lurus.

Selanjutnya cacah "kontaminan" dikoreksi dengan nilai (PfT) yang diperoleh dari kedua persamaan tersebut di atas, seperti pada kolom iterasi ke-2 tabel 2. Hasil

pengolahan data iterasi ke-2 ditunjukkan pada tabel5.

Kurva hasil iterasi ke-2 ditunjukkan pada Gambar 2.

Kurva 1(a) dan 2(a) sarna, karena tidak ada perubahan data. Kurva 2(b) mempunyai persamaan dengan koefisien korelasi 1, sehingga iterasi dianggap sudah cukup memadai. Apabila kedua kurva di atas digabung, maka diperoleh kurva pada Gambar 3.



(a) Energi < 100 KeV

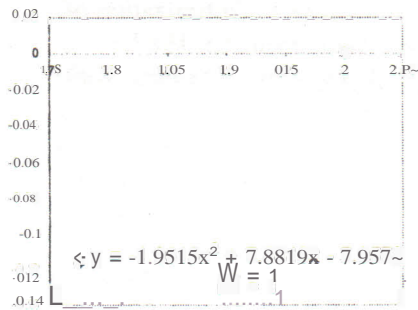
(b) Energi ~ 100 KeV

Gambar 1. Kurva Log(P/T) terhadap Log(E)

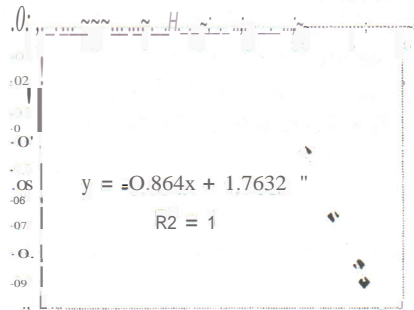


Tabel 5. Nilai (Pff) Pada Iterasi ke-2

Radionuklida	Energi (KeV)	Pff	Log(E)	Log(P/T)
$^{241}\text{Am}$	59.5	0.765	1.774517	-0.11634
$^{137}\text{Cs}$	661.6	0.213	2.820595	-0.67162
$^{60}\text{Co}$	1332	0.124	3.124504	-0.90658

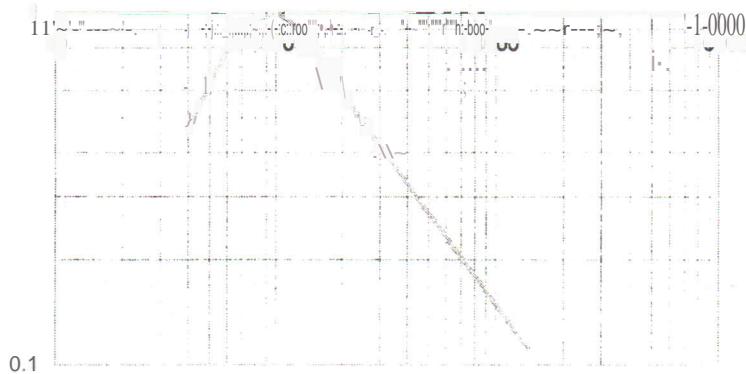


(a) Energi < 100 KeV



(b) Energi ~ 100 KeV

Gambar 2. Kurva Log(Pff) terhadap Log(E) Hasil Iterasi ke-2



Gambar 3. Kurva Peak to Total Ratio sebagai fungsi Energi



### Kesimpulan

Penentuan Peak to Total Ratio (P/T) dapat dilakukan menggunakan sumber standar  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{60}\text{Co}$ . Dari percobaan diperoleh hubungan nilai P/T terhadap energi (E) sebagai berikut :

- $\text{Log}(P/T) = 1,95 (\text{Log}(E) - 7,88)$  untuk energi sampai dengan 100 KeV dan
- $\text{Log}(P/T) = -0,864 \text{Log}(E) + 1,76$  untuk energi lebih besar atau sarna dengan 100 KeV.

### Daftar Pustaka

- Olenn F. Knoll. *Radiation Detection and Measurement*. Second Edition. John Wiley & Sons. New York. 1989.
- Frans De Corte. *The ko-Standardization Method. A Move to Optimization of Neutron Activation Analysis*. Nederlandse Samenvatting. 1987.
- K. Debertin and R.O.Helmer. *Gamma and X-Ray Spectrometry with Semiconductors*. North-Holland. 1988.