

**PENENTUAN PEKALI KECEKAPAN PENGESAN FOTON DALAM KAJIAN FLUKS NEUTRON**

*DETERMINATION OF PHOTON DETECTOR COEFFICIENT IN NEUTRON FLUX STUDY*

**Jedol Dayou, Azali Muhammad, Abd. Aziz Mohamed**  
Institut Penyelidikan Teknologi Nuklear Malaysia (MINT)  
Bangi, 43000 Kajang, Selangor, MALAYSIA

**Abdul Razak Daud, Elias Saniman**  
Jabatan Sains Nuklear,  
Universiti Kebangsaan Malaysia,  
43600 UKM Bangi, Selangor, MALAYSIA

**Abstrak**

*Kajian terhadap pekali kecekapan pengesan foton yang biasanya digunakan dalam kajian penentuan fluks neutron telah dijalankan. Data dari kajian ini dinyatakan dalam bentuk graf yang dilakar menggunakan beberapa model persamaan seperti model songsangan, modal eksponen dan model semilog dan seterusnya ditentukan pekali kecekapan pengesan. Selain dari itu, beberapa set model persamaan kuadratik tenaga juga telah digunakan. Didapati bahawa pemilihan model persamaan adalah sangat penting dalam penentuan pekali ini. Bagi model persamaan kuadratik tenaga, pemilihan set tenaga didapati mempengaruhi hasil yang diberikan. Dapat disimpulkan bahawa model persamaan kuadratik tenaga adalah model yang terbaik untuk digunakan dalam penentuan penentuan fluks neutron.*

**Abstract**

*The efficiency of photon detector which is normally used in neutron flux measurement has been studied. The data obtain have been plotted using mathematical models in the form of reciprocal, exponential and semilog equation and subsequently efficiency coefficient of the detector has been determined. Beside that, energy quadratic equation model has also been used. It has been found that equation model selection is very important in the detector efficiency coefficient determination. In the case of energy quadratic equation, it has been found that the selection of energy set influenced the result. It can be concluded that energy quadratic equation is the best model in the neutron flux determination.*

**PENGENALAN**

Fluks neutron merupakan parameter yang penting bagi sesebuah reaktor [Arlinah Kusnowo 1992]. Ia menentukan tahap keupayaan sesebuah reaktor berkenaan untuk sebarang penggunaan. Oleh yang demikian, kajian penentuan fluks haruslah dijalankan untuk mendapatkan nilainya. Dalam

---

Keywords : Photon detectors, Efficiency coefficient, Neutron flux measurement, Energy quadratic equation, Mathematical models

kajian fluks, beberapa parameter seperti fluks neutron terma, fluks neutron epiterma, fluks neutron pantas dan nisbah kadmium dapat diperolehi.

Fluks neutron dapat ditentukan dengan menggunakan kaedah pengaktifan neutron [Block, H. & Arlinah Kusnowo 1992; Zsolnay 1993]. Kaedah ini lebih mudah jika dibanding dengan kaedah-kaedah lain dan tidak memerlukan kemahiran yang tinggi. Dengan menggunakan kaedah ini, kita bukan sahaja dapat menentukan nilai fluks neutron di dalam sesebuah reaktor tetapi juga daripada punca-punca neutron yang lain. Kaedah ini lebih tepat kerana tidak diganggu oleh sinaran latarbelakang yang dikeluarkan oleh punca neutron. Bahan tertentu seperti emas, indium atau nikel diaktifkan melalui pendedahan kepada alur neutron. Bahan berkenaan akan teruja dan menjadi bahan radioaktif. Bilangan foton yang terhasil daripada penyepaian bahan radioaktif itu dibilang dengan menggunakan pengesan foton untuk mendapatkan aktiviti bahan berkenaan. Dengan menggunakan rumus tertentu seperti dalam persamaan (1), (2) dan (3), fluks neutron terma, neutron epiterma dan nisbah kadmium dapat diperolehi [Arlinah Kusnowo 1992; Zsolnay 1993].

$$\phi_{th} = \frac{K(C_G - C_S)(e^{\lambda T_b})}{\sigma_{th} N_A (1 - e^{-\lambda T_p})(e^{-\lambda T_s})} \quad (1)$$

$$\phi_{epi} = \frac{K C_S e^{\lambda t_b}}{\sigma_{epi} N_A (1 - e^{-\lambda T_p})(e^{-\lambda T_s})} \quad (2)$$

$$R_{Cd} = \frac{\phi_{th} + \phi_{epi}}{\phi_{epi}} \quad (3)$$

dengan  $\phi_{th}$  - fluks neutron terma

K - pekali kecekapan pengesan

$C_G$  - bilangan foton dari bahan yang disinar alur neutron (gondol)

$C_S$  - bilangan foton dari bahan yang disinar alur neutron (bersalut kadmium)

$\lambda$  - pemalar pereputan bahan

$T_b$  - tempoh pembilangan

$\sigma_{th}$  - keratan rentas pengaktifan neutron terma

$N_A$  - bilangan atom yang terlibat dalam bahan yang disinar neutron

$T_p$  - tempoh penyinaran dalam alur neutron

$T_s$  - tempoh penyejukan

$\phi_{epi}$  - fluks neutron epiterma

$\sigma_{epi}$  - keratan rentas pengaktifan neutron epiterma

$R_{cd}$  - nisbah kadmium

Dalam rumus ini, terdapat satu parameter yang dikenali sebagai faktor pekali kecekapan pengesan,  $K$ . Pekali kecekapan pengesan berkenaan dinyatakan dalam bentuk rumus sebagai:

$$K_T = C_p/C_s \quad (4)$$

- dengan  $K_T$  - pekali kecekapan pengesan bagi foton bertenaga  $T$  yang menunjukkan keadaan kecekapan pengesan
- $C_p$  - bilangan foton yang diperolehi dari pengesan
- $C_s$  - bilangan sebenar foton yang diperolehi berdasarkan kepada perkiraan menggunakan rumus (10)

Pekali kecekapan untuk tenaga tertentu di atas ditentukan dengan menggunakan bahan radioaktif piawai yang diketahui kekuatannya pada suatu masa tertentu.

Menurut kaedah biasa, untuk mendapatkan pekali kecekapan pengesan pada suatu tenaga yang diingini, beberapa sampel piawai perlu ditentukan aktivitiya terlebih dahulu. Kemudian, pekali  $K_T$  ditentukan dengan menggunakan rumus (4). Data tersebut kemudian dinyatakan dalam satu graf untuk mendapatkan perhubungan antara pekali dengan tenaga foton. Berdasarkan graf berkenaan, pekali kecekapan pengesan untuk tenaga foton yang dikeluarkan oleh bahan tersinar neutron ditentukan [Gui Ah Au: 1985].

Walau bagaimanapun, didapati bahawa pekali kecekapan pengesan  $K_T$  dapat dihubungkan dengan tenaga foton  $E$  menggunakan rumus [Faridah Mohamad Idris 1993]:

$$K_T = \exp \sum_{i=0}^n a_i (\ln E)^i \quad (5)$$

dengan  $a_i$  sebagai pemalar persamaan. Dengan menggunakan penghampiran  $n=2$  [Faridah Mohamad Idris 1993], pekali kecekapan pengesan dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan kuadratik tenaga dengan tiga pemalar.

$$K_T = a_1 T^2 + a_2 T + a_3 \quad (6)$$

Oleh kerana terdapat tiga pemalar yang tidak diketahui nilainya, maka kita hanya perlu menentukan aktiviti sampel piawai pada tiga tenaga foton yang berbeza. Dengan demikian, kita akan mempunyai tiga persamaan dengan tiga pembolehubah iaitu:

$$K_{T1} = a_1 T_1^2 + a_2 T_1 + a_3 \quad (7)$$

$$K_{T2} = a_1 T_2^2 + a_2 T_2 + a_3 \quad (8)$$

$$K_{T3} = a_1 T_3^2 + a_2 T_3 + a_3 \quad (9)$$

Persamaan serentak di atas dapat diselesaikan dengan menggunakan kaedah penghapusan Gauss bagi mendapatkan pemalar-pemalar persamaan  $a_1$ ,  $a_2$  dan  $a_3$ . Setelah pemalar-pemalar berkenaan diketahui, nilai tenaga bagi foton yang dikeluarkan oleh bahan yang disinarkan kepada neutron dimasukkan ke dalam persamaan (6) untuk mendapatkan pekali kecekapannya.

### BAHAN DAN KAEDAH KAJIAN

Tiga sampel piawai iaitu  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{60}\text{Co}$ , dan  $^{133}\text{Ba}$  telah dikira bilangan fotonnya persaat pada dua tenaga utama masing-masing selama 5 minit menggunakan pengesan germinium ketulenan tinggi. Jadual 1 menunjukkan ciri-ciri bagi sampel piawai yang digunakan.

Jadual 1: Ciri-ciri sampel piawai

Sampel	Tahun dibuat	Aktiviti ( $A_0$ )	Separuh hayat ( $T_{1/2}$ ) (hari)[IAEA 1990]	Tenaga (keV)[IAEA 1990]
$^{22}\text{Na}$	1 Jun 1981	10.6 $\mu\text{C}$	949	511.00, 1274.53
$^{60}\text{Co}$	1 Jun 1981	10.62 $\mu\text{C}$	1924	1173.24, 1332.5
$^{133}\text{Ba}$	1 Jun 1981	11.36 $\mu\text{C}$	3840	302.85, 356.02

Bilangan foton yang dikeluarkan persaat bagi tenaga-tenaga berkenaan juga ditentukan secara perkiraan dengan menggunakan rumus:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (10)$$

dengan A - aktiviti sampel

$\lambda$  - pemalar pereputan iaitu  $\ln 2/T_{1/2}$  dengan  $T_{1/2}$  adalah masa separuh hayat

$A_0$  - aktiviti asal sampel iaitu pada masa ia dibuat

t - masa penyepaian

b - peratus cabang tenaga

Berdasarkan kepada persamaan (4), pekali kecekapan pengesan bagi setiap tenaga sinaran yang dikeluarkan oleh sampel-sampel piawai di atas dikira. Kemudian, graf pekali kecekapan pengesan melawan tenaga foton dilukiskan bagi sampel piawai berkenaan berdasarkan kepada beberapa model. Hasil dari graf ini digunakan untuk menganggarkan pekali kecekapan pengesan bagi tenaga foton yang lain.

Dengan menggunakan tiga set tenaga yang setiap satunya mempunyai tiga daripada tenaga foton pada Jadual 1, pemalar-pemalar bagi persamaan (7), (8) dan (9) dikira menggunakan kaedah penghapusan Gauss bagi menyatakan pekali tenaga dalam model persamaan kuadratik tenaga. Kemudian, pekali bagi tenaga-tenaga foton yang lain dikira menggunakan rumus (6). Hasil yang diperolehi dari setiap model yang digunakan kemudian dibuat perbandingan.

### KEPUTUSAN

Jadual 2 menunjukkan data asas yang diperolehi dari sampel piawai. Rajah 1, Rajah 2 dan Rajah 3 pula menunjukkan graf yang diperolehi berdasarkan kepada data daripada Jadual 2 yang dilukis menggunakan program komputer Statgrafik dengan Y sebagai pekali kecekapan pengesan  $K_T$  dan X sebagai tenaga foton. Rajah 1 dilukis menggunakan model persamaan songsangan  $1/Y = a + bX$ , Rajah 2 menggunakan model persamaan eksponen  $Y = \exp(a + bX)$  dan Rajah 3 menggunakan model persamaan semilog iaitu  $Y = a + b \log X$ . Pemalar-pemalar a dan b mempunyai nilai 114.770 dan 0.624 bagi model songsangan, -5.392 dan -0.001 bagi model eksponen dan 0.025 dan -0.004 bagi model semilog.

Jadual 2: Data asas sampel piawai dan nilai  $K_T$ .

Sampel piawai	Tenaga foton (keV)	Aktiviti menurut pembilangan, $C_p$ (saat <sup>-1</sup> )	Aktiviti menurut kiraan, $C_s$ (saat <sup>-1</sup> )	Pekali kecekapan pengesan $K_T$
<sup>22</sup> Na	4511.00	41.636	21979.081	$1.894 \times 10^{-3}$
	1274.53	13.710	12216.848	$1.122 \times 10^{-3}$
<sup>60</sup> Co	1173.24	86.973	72770.048	$1.195 \times 10^{-3}$
	1332.50	76.163	72828.682	$1.047 \times 10^{-3}$
<sup>133</sup> Ba	302.85	128.740	33119.082	$3.887 \times 10^{-3}$
	356.02	361.933	112113.420	$3.228 \times 10^{-3}$

Dengan menggunakan satu program komputer yang ditulis dalam bahasa Basic (Lampiran), didapati bahawa pemalar-pemalar  $a_1$ ,  $a_2$  dan  $a_3$  pada persamaan (6) masing-masing mempunyai nilai seperti yang ditunjukkan pada Jadual 3. Dalam jadual ini, tiga set nilai-nilai pekali persamaan kuadratik ditentukan dengan menggunakan tiga set tenaga foton yang berbeza-beza.

Berdasarkan kepada model-model persamaan tersebut, pekali bagi tenaga foton yang dikeluarkan oleh bahan emas-198 (411.8keV), indium-115 (416.86keV) dan kobalt-58 (810.77keV) ditentukan kerana bahan ini sering digunakan dalam penentuan fluks neutron[3]. Selain dari itu,

pekali untuk tenaga sampel piawai yang telah digunakan dalam kajian ini juga ditentukan untuk dibuat perbandingan. Jadual 4 menunjukkan perbandingan nilai-nilai pekali yang diperolehi menggunakan model-model persamaan berkenaan.

Jadual 3: Pemalar-pemalar persamaan kuadratik tenaga pada set tenaga yang berbeza

Set kuadratik	Tenaga-tenaga foton (keV)	Nilai-nilai pemalar persamaan kuadratik
1	$T_1 = 302.85$	$a_1 = 1.819 \times 10^{-8}$
	$T_2 = 356.02$	$a_2 = -2.437 \times 10^{-5}$
	$T_3 = 511.00$	$a_3 = 9.601 \times 10^{-3}$
2	$T_1 = 1173.24$	$a_1 = -3.757 \times 10^{-9}$
	$T_2 = 1274.53$	$a_2 = 8.476 \times 10^{-6}$
	$T_3 = 1332.50$	$a_3 = -3.577 \times 10^{-3}$
3	$T_1 = 302.85$	$a_1 = 2.093 \times 10^{-9}$
	$T_2 = 1173.24$	$a_2 = -6.182 \times 10^{-5}$
	$T_3 = 1332.50$	$a_3 = 5.567 \times 10^{-3}$

Jadual 4: Penentuan dan perbandingan nilai pekali kecekapan pengesanan menggunakan model-model matematik

Tenaga foton (keV)[IAEA 1990]	Model persamaan	Pekali pembilangan $K_T'$	Peratus ralat $((K_T' - K_T)/K_T) \times 100$
302.85 ( $^{133}\text{Ba}$ )	Songsangan	$3.292 \times 10^{-3}$	15.3
	Eksponen	$3.234 \times 10^{-3}$	16.8
	Semilog	$3.476 \times 10^{-3}$	10.6
	Kuadratik 1	$3.887 \times 10^{-3}$	0
	Kuadratik 2	$-1.335 \times 10^{-3}$	134.3
	Kuadratik 3	$3.887 \times 10^{-3}$	0

356.02 ( <sup>133</sup> Ba)	Songsangan	$2.968 \times 10^{-3}$	8.1
	Eksponen	$3.046 \times 10^{-3}$	5.6
	Semilog	$3.200 \times 10^{-3}$	0
	Kuadratik 1	$3.228 \times 10^{-3}$	0
	Kuadratik 2	$-1.036 \times 10^{-3}$	132.1
	Kuadratik 3	$3.632 \times 10^{-3}$	-12.5
411.80 ( <sup>198</sup> Au)	Songsangan	$2.690 \times 10^{-3}$	
	Eksponen	$2.860 \times 10^{-3}$	
	Semilog	$2.951 \times 10^{-3}$	
	Kuadratik 1	$2.648 \times 10^{-3}$	
	Kuadratik 2	$-7.243 \times 10^{-4}$	
	Kuadratik 3	$3.377 \times 10^{-4}$	
416.86 ( <sup>115</sup> In)	Songsangan	$2.667 \times 10^{-3}$	
	Eksponen	$2.844 \times 10^{-3}$	
	Semilog	$2.930 \times 10^{-3}$	
	Kuadratik 1	$2.600 \times 10^{-3}$	
	Kuadratik 2	$-6.972 \times 10^{-4}$	
	Kuadratik 3	$3.354 \times 10^{-3}$	
511.00 ( <sup>22</sup> Na)	Songsangan	$2.306 \times 10^{-3}$	-21.8
	Eksponen	$2.558 \times 10^{-3}$	-35.1
	Semilog	$2.582 \times 10^{-3}$	-36.3
	Kuadratik 1	$1.894 \times 10^{-3}$	0
	Kuadratik 2	$-2.274 \times 10^{-3}$	220.1
	Kuadratik 3	$2.955 \times 10^{-3}$	-56.0

810.77 ( <sup>58</sup> Co)	Songsangan	$1.611 \times 10^{-3}$	
	Eksponen	$1.824 \times 10^{-3}$	
	Semilog	$1.792 \times 10^{-3}$	
	Kuadratik 1	$1.793 \times 10^{-3}$	
	Kuadratik 2	$8.247 \times 10^{-3}$	
1173.24 ( <sup>60</sup> Co)	Kuadratik 3	$1.931 \times 10^{-3}$	
	Songsangan	$1.182 \times 10^{-3}$	1.1
	Eksponen	$1.213 \times 10^{-3}$	-1.5
	Semilog	$1.160 \times 10^{-3}$	2.9
	Kuadratik 1	$6.018 \times 10^{-3}$	-403.6
1274.53 ( <sup>22</sup> Na)	Kuadratik 2	$1.196 \times 10^{-3}$	0
	Kuadratik 3	$1.196 \times 10^{-3}$	0
	Songsangan	$1.099 \times 10^{-3}$	2.0
	Eksponen	$1.081 \times 10^{-3}$	3.7
	Semilog	$1.184 \times 10^{-3}$	-5.5
1332.50 ( <sup>60</sup> Co)	Kuadratik 1	$8.077 \times 10^{-3}$	-619.9
	Kuadratik 2	$1.122 \times 10^{-3}$	0
	Kuadratik 3	$1.0878 \times 10^{-3}$	0
	Songsangan	$1.057 \times 10^{-3}$	-1.1
	Eksponen	$1.012 \times 10^{-3}$	3.3
	Semilog	$9.420 \times 10^{-3}$	9.9
	Kuadratik 1	$9.412 \times 10^{-3}$	-799.0
	Kuadratik 2	$1.046 \times 10^{-3}$	0
	Kuadratik 3	$1.046 \times 10^{-3}$	0

### PERBINCANGAN DAN KESIMPULAN

Perbandingan bagi hasil yang diberikan oleh setiap model persamaan dapat dibuat berdasarkan pada analisis peratus ralat yang telah dijalankan. Dari analisis berkenaan, dapat diperhatikan bahawa model-model persamaan songsang, eksponen dan semilog mempunyai-ralat maksimum pada tenaga 511.00keV. Pada tenaga tinggi, ralat menjadi rendah iaitu kurang dari 5% kecuali



model semilog yang mempunyai 9.9% ralat pada tenaga 1332.5keV. Pada tenaga rendah pula, ralat berada di antara 5% hingga 17% kecuali bagi semilog iaitu pada tenaga 356.02keV.

Bagi model persamaan kuadratik tenaga, ralatnya bergantung kepada pemilihan tenaga semasa penentuan pemalar-pemalar persamaan pada rumus (7), (8) dan (9). Sebagai contoh, model kuadratik 1 mempunyai ralat sifar pada tenaga 302.85keV, 356.20keV dan 511.00keV kerana tenaga-tenaga berkenaan digunakan bagi penentuan pemalar-pemalar persamaan. Apabila tenaga meningkat, ralatnya juga meningkat dan menjadi sangat tinggi kerana tenaga berkenaan menjauhi tenaga yang digunakan dalam penentuan pemalar. Adalah dijangkakan bahawa pada tenaga 411.80keV dan 416.86keV, ralatnya akan menjadi rendah kerana kedua-dua tenaga berkenaan berada di antara tenaga yang digunakan untuk penentuan pemalar-pemalar persamaan. Sementara itu, ralat bagi model kuadratik 2 mempunyai nilai yang sangat tinggi pada tenaga rendah tetapi sifar pada tenaga tinggi. Ini adalah disebabkan tenaga yang digunakan semasa penentuan pekali persamaan adalah tinggi. Model kuadratik 3 yang menggunakan tenaga campuran iaitu dengan mempertimbangkan tenaga rendah dan tinggi dalam penentuan pemalar-pemalar persamaannya. Hasilnya, ralat pekali pembilang menjadi sifar pada tenaga rendah iaitu pada 302.85keV dan meningkat apabila tenaga meningkat sehingga 56% pada tenaga 511keV. Ralat kemudiannya kembali ke sifar pada tenaga tinggi.

Dari penilaian di atas, dapat dirumuskan bahawa ralat pekali pembilangan yang diberikan oleh model-model songsangan, eksponen dan semilog tidak mempunyai pergantungan terhadap tenaga. Bagi model persamaan kuadratik tenaga pula, ralatnya bergantung kepada pemilihan tenaga piawai semasa penentuan pemalar-pemalar persamaan. Adalah perlu supaya nilai tenaga piawai yang dipilih berada di sekitar atau di antara nilai tenaga yang hendak ditentukan nilai pekali pembilangannya supaya ralatnya dapat dikurangkan. Ini dapat diperhatikan pada ralat pekali kecekapan pengesan yang tidak terlalu tinggi pada model kuadratik 3 di mana tenaga piawai yang dipilih untuk penentuan pekali persamaan mempertimbangkan tenaga rendah dan tinggi. Kenyataan ini dapat dikuatkan lagi dengan hasil yang diberikan pada Jadual 5 yang mengambil tenaga-tenaga piawai 302.85keV, 356.02keV dan 1173.24keV untuk penentuan pemalar-pemalar persamaan. Hasilnya, ralat pekali kecekapan pengesan pada tenaga 511.00keV adalah kecil iaitu 11.6% sahaja berbanding dengan penggunaan model persamaan yang lain seperti pada Jadual 4 kecuali model kuadratik tenaga 1 yang memberikan ralat sifar kerana menggunakan tenaga ini dalam penentuan pemalar-pemalar persamaan.

Jadual 5: Peratus ralat bagi bagi tenaga 511.00keV menggunakan model persamaan kuadratik tenaga dengan set tenaga 302.85keV, 356.02keV dan 1173.24 keV dalam penentuan pemalar persamaan

Tenaga-tenaga foton (keV)	Nilai-nilai pemalar persamaan kuadratik	Pekali untuk tenaga 511.00keV $K_T'$	Peratus ralat bagi tenaga 511.00keV $((K_T' - K_T)/K_T) \times 100$
$T_1 = 302.85$	$a_1 = 1.138 \times 10^{-8}$		
$T_2 = 356.02$	$a_2 = -2.989 \times 10^{-5}$	$1.675 \times 10^{-3}$	-11.6
$T_3 = 1173.24$	$a_3 = 9.868 \times 10^{-3}$		

Dari perbincangan di atas, dapat disimpulkan bahawa model persamaan kuadratik tenaga adalah model yang paling sesuai untuk digunakan dalam penentuan pekali kecekapan pengesan foton. Walau bagaimanapun nilai-nilai tenaga yang digunakan untuk penentuan pemalar-pemalar persamaan mestilah di sekitar tenaga yang hendak ditentukan nilai pekalnya.

#### PENGHARGAAN

Penulis merakamkan penghargaan kepada Pn. Primala Devi dari Kumpulan Analisis Neutron PNDE, MINT atas kerjasama yang telah diberikan semasa pengambilan data sehingga hasil kajian ini dapat dipaparkan. Penulis juga merakamkan penghargaan atas sokongan ketua PNDE MINT terhadap kajian ini

#### RUJUKAN

Arlinah Kusnowo, (1992), Neutron Flux and Neutron Spectra Measurements. Regional Training Course on Basic Parameters of Research Reactor, Serpong, Indonesia, 3-21 August 1992

Block, H. & Arlinah Kusnowo, (1992), Neutron Activation Foil Manual. Regional Training Course on Basic Parameters of Research Reactor, Serpong, Indonesia, 3-21 August 1992

Zsolnay, E. M., (1993), Neutron Flux and Spectrum Measurement by Activation Method, Budapest.

Gui Ah Auu, (1985), Neutron Flux Measurement in The Thermal column of PUSPATI TRIGA Reactor. Jurnal Sains Nuklear Malaysia 3, 1, 49-58

Faridah Mohamad Idris, (1993), Neutron Flux Measurements of Reactor Triga PUSPATI(RTP), Nuclear Energy Unit, Minister of Science, Technology and the Environment.

IAEA TECDOC-564, (1990), Practical Aspect of Operating a Neutron Activation Analysis, A Technical Document Issued by the International Atomic Energy Agency, Vienna.