
KOMPARASI UNJUK KERJA SPEKTROMETRI GAMMA MENGUNAKAN DETEKTOR BICRON 2M2 DENGAN SPEKTROMETRI GAMMA MENGGUNAKAN DETEKTOR LUDLUM 44-62

Alan Batara Alauddin¹, Argo Satrio Wicaksono², Joko Sunardi³

^{1,2,3} Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir – Badan Teanaga Nuklir Nasional
Jln. Babarsari POB 6101 YKBB Yogyakarta 55281
Telp. (0274) 48085, 489716; Fax : (0274) 489715

ABSTRAK

KOMPARASI UNJUK KERJA SPEKTROMETRI GAMMA MENGGUNAKAN DETEKTOR BICRON 2M2 DENGAN SPEKTROMETRI GAMMA MENGGUNAKAN DETEKTOR LUDLUM 44-62. Telah dilakukan uji komparasi spektrometri gamma menggunakan detektor Bicron 2M2 dengan spektrometri gamma menggunakan detektor Ludlum 44-62. Spektrometri Gamma adalah komponen utama pencacah radiasi gamma pada instrumentasi nuklir di bidang kedokteran dan industri. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh kelebihan dan kekurangan unjuk kerja masing-masing spektrometri gamma yang menggunakan transduser yang berbeda. Metoda pengujiannya adalah dengan membandingkan beberapa parameter unjuk kerja spektrometri gamma antara lain bentuk pulsa, bentuk spektrum energi, FWHM, resolusi dan efisiensi detektor dengan sumber yang digunakan adalah Cs-137 dan Ba-133. Selain itu diuji pula unjuk kerja detektor dengan variasi jarak dan uji tingkat presisi pencacahan dengan menggunakan uji chi square. Dari pengujian diperoleh hasil bahwa resolusi spektrometri gamma menggunakan detektor Ludlum 44-62 lebih tinggi dibandingkan resolusi detektor Bicron 2M2. Sehingga kemampuan detektor Bicron 2M2 untuk memisahkan 2 pulsa yang berdekatan lebih baik dari pada detektor Ludlum 44-62. Selain itu, efisiensi detektor Bicron 2M2 lebih tinggi dibandingkan efisiensi detektor Ludlum 44-62. Pada pengujian jarak diperoleh bahwa interaksi detektor Bicron 2M2 terhadap radiasi sinar gamma lebih baik dibandingkan detektor Ludlum 44-62. Dari hasil uji chi square data hasil pencacahan sistem spektrometri gamma dengan menggunakan detektor Bicron 2M2 maupun detektor Ludlum 44-62 sesuai dengan kriteria sehingga dapat dinyatakan bahwa alat memenuhi syarat kestabilan.

Katakunci: Komparasi, Unjuk Kerja, Spektrometri Gamma, Detektor Bicron 2M2, Detektor Ludlum 44-62

ABSTRACT

PERFORMANCE COMPARISON OF GAMMA SPCTROMETRY USING BICRON 2M2 DETECTORS WITH GAMMA SPCTROMETRY USING LUDLUM 44-62 DETECTORS. It has been tested performance comparison of gamma spectrometry using Bicron 2M2 detectors with gamma specrometry using Ludlum 44-62 detectors. Gamma spectrometry is the main component of gamma radiation counter on nuclear instrumentation in medicine and industry. This research aims to gain advantages and disadvantages of each gamma spectrometry using a different transducer. The test method is to compare some of the detectors performance such as pulse shape, the shape of the spectrum, FWHM, resolution and efficiency with the source used was Cs-137 and Ba-133. In addition it also tested the performance of the gamma spectrmety with a variation of distance and test the level of precision enumeration by using Chi Square Test. From the obtained test results that resolution 44-62 Ludlum detector was higher than the detector resolution Bicron 2M2. so the ability of Bicron 2M2 detector to separate two adjacent pulses is better than Ludlum 44-62 detectors. In addition, the efficiency of the Bicron 2M2 detector higher than the efficiency of the Ludlum detector 44-62. In testing the interaction distance Bicron detector against gamma radiation is better than Ludlum detector. From the results of chi square test result data enumeration gamma spectrometry system using a Bicron 2M2 detector or Ludlum 44-62 detectors in accordance with the criteria so that it can be stated that the devices meet the stability requirements.

Keywords: Comparison, Performance, Gamma Spectrometry, Bicron 2M2 Detectors, Ludlum 44-62 Detectors

1. PENDAHULUAN

Spektrometri gamma dapat digunakan sebagai suatu cara pengukuran dan identifikasi zat-zat radioaktif dengan jalan mengamati spektrum karakteristik yang ditimbulkan oleh foton gamma yang dipancarkan oleh zat-zat radioaktif tersebut pada materi detektor. Sistem spektrometri gamma biasanya terdiri dari detektor, sistem penguat pulsa, sistem pengolah pulsa dan penyimpanan data.

Detektor disini berfungsi untuk mengubah foton radiasi menjadi besaran listrik yang dapat diukur. Salah satu jenis dari detektor gamma adalah detektor sintilasi. Detektor sintilasi selalu terdiri dari dua bagian yaitu bahan sintilator dan photomultiplier. Bahan sintilator merupakan suatu bahan padat, cair maupun gas, yang akan menghasilkan percikan cahaya bila dikenai radiasi pengion. Sinar gamma yang masuk ke dalam detektor berinteraksi dengan atom-atom bahan sintilator menurut efek fotolistrik, hamburan Compton dan produksi pasangan, yang akan menghasilkan kilatan cahaya dalam sintilator. Keluaran cahaya yang dihasilkan oleh kristal sintilasi sebanding dengan energi sinar gamma. Jumlah percikan cahaya sebanding dengan energi radiasi diserap dan dipengaruhi oleh jenis bahan sintilatornya. Semakin besar energinya semakin banyak percikan cahayanya. Percikan-percikan cahaya ini kemudian 'ditangkap' oleh photomultiplier.^[2]

Kemudian, kilatan cahaya oleh pipa cahaya dan pembelok cahaya ditransmisikan ke fotokatoda dari *photomultiplier tube* (PMT) kemudian digandakan sebanyak-banyaknya oleh bagian pengganda elektron pada PMT. Tabung photomultiplier terbuat dari tabung hampa yang kedap cahaya dengan fotokatoda yang berfungsi sebagai masukan pada salah satu ujungnya dan terdapat beberapa dinode untuk menggandakan elektron. Photokatoda yang ditempelkan pada bahan sintilator, akan memancarkan elektron bila dikenai cahaya dengan panjang gelombang yang sesuai. Elektron yang dihasilkannya akan diarahkan, dengan perbedaan potensial, menuju dinode pertama. Dinode tersebut akan memancarkan beberapa elektron sekunder bila dikenai oleh elektron.^[2]

Elektron-elektron sekunder yang dihasilkan dinode pertama akan menuju dinode kedua dan dilipatgandakan kemudian ke dinode ketiga dan seterusnya sehingga elektron yang terkumpul pada dinode terakhir berjumlah sangat banyak. Dengan sebuah kapasitor kumpulan elektron tersebut akan diubah menjadi pulsa listrik. Arus elektron yang dihasilkan membentuk pulsa tegangan pada input penguat awal (*preamplifier*). Pulsa-pulsa inilah yang kemudian akan dianalisa pada sistem spektroskopi.^[2]

1.1 DETEKTOR BICRON 2M2

Detektor ini telah terintegrasi di dalamnya *preamplifier* dan pembagi tegangan untuk cacah latar rendah. Detektor ini didesain di mana photomultiplier tube (PMT) terpasang secara langsung pada bahan sintilator. Pada tipe 2m2 ini memiliki ukuran kristal 2" x 2" dan ukuran PMT 2". Sintilator ditempatkan dalam kontainer aluminium dan dilindungi oleh magnetik logam yang disesuaikan pada PMT. Detektor ini menghasilkan resolusi yang lebih baik dan lebih konstan untuk energi tinggi dibandingkan dengan detektor yang lain.^[6]

Detektor ini dibungkus hingga kedap udara untuk mencegah efek higroskopik ketika digunakan. Ukuran maksimum sintilator adalah berdiameter atau diagonalnya 127mm. Detektor tipe ini biasanya digunakan untuk spektroskopi gamma, perlengkapan thyroid uptake dan alat kedokteran nuklir lainnya.^[6]

1.2 DETEKTOR LUDLUM 44-62

Detektor model ini digunakan untuk mendeteksi radiasi gamma energi rendah dengan kisaran 60 keV sampai dengan 1.25 MeV. Bahan detektor ini berdiameter 0.5" (1.3cm) x 1" (2.54cm). Kristal NaI dan PMT ditempatkan pada aluminium dengan tebal 0.0062". Proses pendeteksian oleh detektor tergantung pada energi. Saat dinormalisasi dengan Cs-137, respon yang tinggi pada jangkauan energi lebih besar dari 100 keV dengan faktor perkalian sepuluh dan respon yang rendah pada jangkauan energi di atas 1 MeV dengan faktor perkalian 0.5^[5]

Detektor tipe ini beroperasi pada tegangan tinggi 500-1200Volt. Sensitivitas input instrumen yang direkomendasikan sekitar 10mV atau lebih. Detektor ini beroperasi pada suhu -20°C sampai dengan 50°C. Beberapa aplikasi penggunaan detektor ini adalah sebagai monitoring radiasi latar, deteksi radiasi level rendah dan analisis spektrum dengan menghubungkan pada SCA atau MCA.^[5]

2. TEORI

Dalam pengujian ini, akan dibandingkan unjuk kerja dari 2 jenis detektor yaitu detektor Bicon 2M2 dan detektor Ludlum 44-62. Adapun parameter-parameter yang dibandingkan diantaranya :

2.1 EFISIENSI DETEKTOR

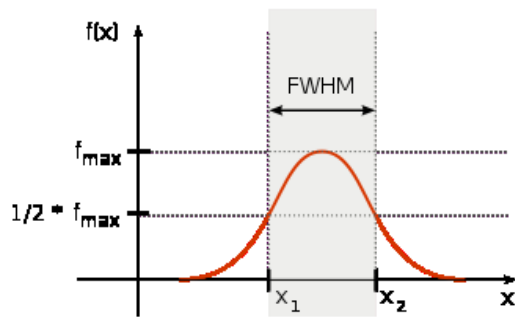
Efisiensi adalah suatu nilai yang menunjukkan perbandingan antara jumlah pulsa listrik yang dihasilkan sistem pencacah terhadap radiasi yang diterima detektor. Untuk itu perlu diketahui terlebih dahulu aktivitas dari sumber yang akan dicacah. Secara matematis dapat dituliskan :

$$\eta = \frac{(N_t - N_{Bg})}{A_t \gamma} \times 100\% \quad (1)$$

dengan η adalah efisiensi detektor (cps/dps), N_t adalah laju cacah sumber standar total (cps), N_{Bg} adalah laju cacah *background* (cps), γ adalah nilai *yield* radionuklida dan A_t adalah aktivitas sumber standar saat pengukuran (dps).^[3]

2.2 RESOLUSI DETEKTOR

Resolusi adalah kemampuan detektor untuk membedakan pulsa satu dengan pulsa yang lain yang berdekatan. Untuk memperoleh resolusi, maka perlu menentukan FWHM terlebih dahulu. FWHM (Full Width at Half Maximum) adalah pengukuran dari lebar puncak berupa selisih antara x_2 dan x_1 pada setengah dari tinggi intensitas ($1/2$ F maks). Dalam spektrometri gamma, x_2 dan x_1 adalah nomor kanal.



Gambar 1. Penentuan besarnya FWHM

Resolusi detektor diperoleh dengan menggunakan rumus berikut.^[3]

$$R = \frac{FWHM}{No.ChannelPeak} \times 100 \% \quad (2)$$

2.3 CHI SQUARE TEST

Chi square test adalah sebuah metode yang banyak digunakan untuk menguji apakah sekumpulan data mengikuti distribusi Gauss atau tidak. Terdapat kemungkinan bahwa fluktuasi nilai terlalu kecil atau fluktuasi terlalu besar. Nilai *Chi Square* ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\chi^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{\bar{x}} \quad (3)$$

Dengan X_i adalah nilai setiap pengukuran. Nilai *chi square* (χ^2) dari perhitungan di atas kemudian dicocokkan ke tabel *chi square*. Data hasil pengukuran layak diterima sebagai distribusi Gauss bila nilai χ^2 nya berada di dalam rentang yang ditentukan. Apabila data hasil pengukuran intensitas radiasi tidak memenuhi kriteria maka kumpulan data tersebut tidak mengikuti distribusi Gauss, atau dengan kata lain terdapat kesalahan, mungkin di alat ukurnya atau di sumbernya sendiri.^[4]

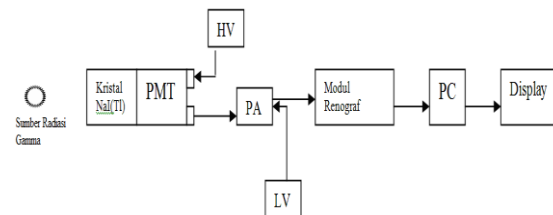
3. TATAKERJA (BAHAN DAN METODE)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dan

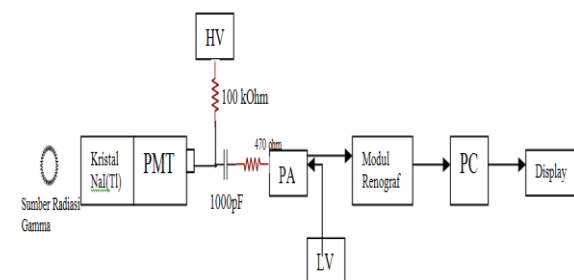
menganalisis unjuk kerja masing-masing detektor. Bagian yang diuji adalah bentuk keluaran pulsa pada detektor, HV, *preamplifier* dan *amplifier*. Selain itu menentukan spektrum distribusi energi, FWHM, dan resolusi. Kemudian membandingkan jumlah cacah yang dihasilkan masing-masing detektor pada jarak yang divariasikan. Uji *chi square* juga dilakukan untuk menentukan kestabilan sistem spektrometri gamma, yang diharapkan kumpulan data hasil pencacahan mengikuti distribusi *Gauss*. Sehingga dari beberapa pengujian ini diperoleh perbandingan unjuk kerja masing-masing detektor.

3.1 UJI BENTUK PULSA

Uji keluaran pulsa dimaksudkan untuk mengetahui unjuk kerja alat yang ditentukan dari parameter-parameter seperti tinggi pulsa, lebar pulsa dan bentuk pulsa pada masing-masing modul spektrometri gamma. Untuk pengujian ini digunakan sumber standar Cs-137 dan spektrometri gamma dirancang seperti Gambar 2 dan Gambar 3. *Check point* pada uji keluaran pulsa adalah keluaran HV, keluaran *preamplifier* dan keluaran *amplifier*.



Gambar 2. Blok diagram spektrometri gamma dengan detektor Bicron 2m2



Gambar 3. Blok diagram spektrometri gamma dengan detektor Ludlum 44-62

3.2 UJI BENTUK SPEKTRUM

Uji bentuk spektrum dimaksudkan untuk mengetahui bentuk spektrum energi yang dihasilkan dari dua jenis detektor. Sama halnya dengan uji bentuk pulsa, untuk pengujian ini digunakan sumber standar Cs-137 dan spektrometri gamma dirancang seperti Gambar 2 dan Gambar 3. Hasil tampilan atau *display* diperoleh dari tampilan pada PC.

3.3 PENENTUAN FWHM, RESOLUSI dan EFISIENSI DETEKTOR

Pengujian resolusi dari kedua detektor bertujuan untuk mengetahui kemampuan detektor untuk memisahkan 2 pulsa energi yang berdekatan. Untuk mengetahui resolusi detektor maka terlebih dahulu mencari besarnya FWHM. Dari FWHM tersebut maka diperoleh resolusi detektor dengan satuan persen. Sedangkan pengujian efisiensi detektor bertujuan untuk mengetahui nilai efisiensi yang menunjukkan perbandingan antara jumlah pulsa listrik yang dihasilkan sistem pencacah terhadap radiasi yang diterima detektor.

3.4 UJI UNJUK KERJA DETEKTOR dengan VARIASI JARAK

Uji unjuk kerja detektor dengan variasi jarak dimaksudkan untuk mengetahui respon detektor dalam mencacah zarah radiasi dalam beberapa titik (jarak). Sama halnya dengan pengujian sebelumnya, untuk pengujian ini digunakan sumber standar Cs-137 dan spektrometri gamma dirancang seperti Gambar 2 dan Gambar 3. Kemudian dilakukan beberapa kali pencacahan dengan variasi jarak sumber ke detektor.



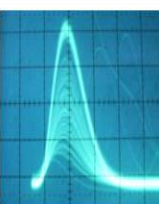
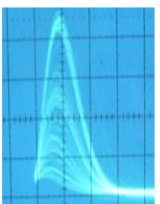
3.5 UJI TINGKAT PRESISI PENCACAHAN

Untuk mengetahui pengukuran intensitas radiasi memenuhi distribusi *Gauss* maka dilakukan metode *chi square test*. Pengujian kestabilan sistem spektrometri gamma dilakukan pada 20 data dengan tingkat kepercayaan 95% sesuai IAEA Tec-Doc 602.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 BENTUK PULSA

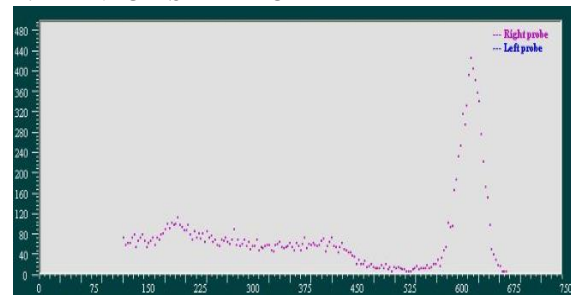
Tabel 1. Uji Keluaran Pulsa

Check point	Detektor NaI(Tl) Bicron model 2M2		Detektor NaI(Tl) Ludlum model 44-62	
	Bentuk	Keterangan	Bentuk	Keterangan
Output HV		Tinggi pulsa 637 V		Tinggi Pulsa 489V
Output preamplifier		Tinggi pulsa 1.8 V Lebar pulsa 30 us		Tinggi Pulsa 3.2 V Lebar Pulsa 30 us
Output Amp		Tinggi pulsa 4.25 V Lebar pulsa 5.5 us		Tinggi pulsa 4.4 V Lebar pulsa 5.5 us

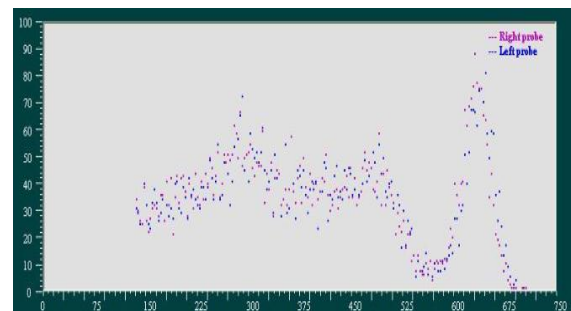
Check point pengukuran adalah pulsa keluaran HV,

pulsa keluaran *preamplifier* dan pulsa keluaran *amplifier*. Agar bekerja optimal, maka besarnya HV untuk detektor Ludlum 44-62 adalah 489V sedangkan untuk detektor Bicron 2M2/2 sebesar 637V. Keluaran *preamplifier* untuk spektrometri menggunakan detektor Ludlum adalah pulsa dengan rise time pendek dan decay time panjang. Tinggi pulsa 3.2 volt dan lebar pulsa 30 μ s. Sedangkan untuk spektrometri gamma menggunakan detektor Bicron, memiliki tinggi pulsa 1.8volt dan lebar pulsa 30 μ s. Keluaran *amplifier* pada spektrometri gamma pada kedua detektor memiliki bentuk pulsa semi Gaussian dengan lebar pulsa 5.5 μ s. Tetapi tinggi pulsa keluaran *amplifier* dengan menggunakan detektor Ludlum adalah 4.4 volt sedangkan tinggi pulsa keluaran *amplifier* menggunakan detektor bicron sebesar 4.25 volt.

4.2 BENTUK SPEKTRUM



Gambar 4. Spektrum Cs-137 dengan menggunakan detektor Bicron 2M2



Gambar 5. Spektrum Cs-137 dengan menggunakan detektor Ludlum 44-62

Pada pengamatan spektrum energi, nomor kanal mewakili besarnya energi radiasi gamma dalam satuan keV. Untuk Cs-137, puncak spektrum energi terletak pada nomor kanal 662. Saat menggunakan detektor Bicron puncak spektrum energi terletak pada nomor kanal 609. Ketika menggunakan detektor ludlum, puncak spektrum energi terletak pada nomor kanal 634.

4.3 FWHM, RESOLUSI dan EFISIENSI DETEKTOR

Tabel 2. FWHM dan Resolusi Detektor

sumber	Parameter	Jenis detektor	
		Bicron 2m2	Ludlum 44-62
Cs-137	FWHM	42	45
	RESOLUSI	6.89	7.09
	EFISIENSI	6.12%	0.17%

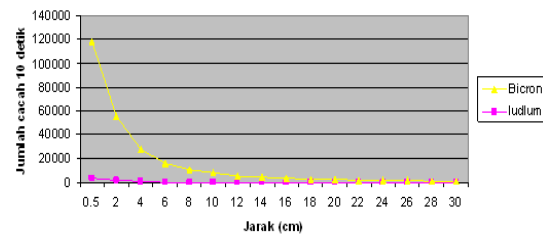
Dengan mengukur menggunakan sumber Cs-137 diperoleh resolusi detektor Ludlum 7.09% dan resolusi detektor Bicron 6.89%. Dari hasil pengolahan data yang diperoleh dapat dinyatakan bahwa detektor Bicron memiliki resolusi yang lebih kecil dibandingkan dengan detektor Ludlum. Sehingga kemampuan detektor Bicron memisahkan 2 pulsa energi yang berdekatan lebih baik dibandingkan detektor Ludlum.

Saat mengukur menggunakan sumber Cs-137 diperoleh juga efisiensi detektor Ludlum 0.17% dan efisiensi detektor Bicron 6.12%. Dari nilai yang diperoleh tersebut dapat dinyatakan bahwa radiasi sinar gamma yang dipancarkan oleh Cs-137 tertangkap lebih banyak oleh detektor Bicron.

4.4 UNJUK KERJA DETEKTOR dengan VARIASI JARAK

Tabel 3. unjuk kerja detektor dengan variasi jarak

JARAK	Cacah Total per 10 detik		Cacah Netto per 10 detik	
	Ludlum 2M2/2	Bicron 44-62	Ludlum 2M2/2	Bicron 44-62
0.5	3299	114902	3294	114834
2	1597	54326	1592	54258
4	706	27134	701	27066
6	373	15535	368	15467
8	243	10163	238	10095
10	162	7566	157	7498
12	129	5605	124	5537
14	89	4122	84	4054
16	71	3480	66	3412
18	63	2836	58	2768
20	54	2308	49	2240
22	41	2041	36	1973
24	31	1705	26	1637
26	28	1487	23	1419
28	27	1266	22	1198
30	25	1162	20	1094



Gambar 6. Grafik pengaruh jarak dengan sumber Cs-137

Dari uji fungsi jarak antara detektor dengan sumber, diperoleh bahwa jumlah cacah semakin tinggi seiring dengan semakin pendeknya jarak. Jumlah cacah terbanyak untuk kedua detektor pada jarak 0.5cm.

Saat mengukur menggunakan sumber Cs-137 diperoleh jumlah cacah maksimum menggunakan detektor Ludlum sebesar 329.4 cps dan jumlah cacah maksimum menggunakan Bicron 11504.4 cps. Dari nilai yang diperoleh pada jarak 0.5 cm sampai dengan 30 cm dapat dinyatakan bahwa interaksi detektor Bicron terhadap radiasi sinar gamma lebih tinggi dibandingkan detektor Ludlum. Interaksi detektor Ludlum yang rendah dikarenakan ukuran kristal NaI(Tl) yang lebih kecil yaitu berukuran 1"x0.5" sedangkan detektor Bicron memiliki ukuran 2"x2".

4.5 UJI CHI SQUARE

Untuk mengetahui pengukuran intensitas radiasi memenuhi distribusi *Gauss* maka dilakukan metode *chi square test*. Pengujian kestabilan sistem spektrometri gamma dilakukan pada 20 data dengan tingkat kepercayaan 95% sesuai IAEA Tec-Doc 602. Dari hasil pengolahan data, diperoleh hasil *chi square test* sesuai tabel berikut.

Tabel 4. Hasil chi square test

Detektor	Hasil Uji	
Bicron 2m2	Kiri	17.917
	Kanan	17.917
Ludlum 44-62	Kiri	15.587
	Kanan	14.989

Terdapat 2 hasil *chi square test*, karena pada saat pengujian menggunakan fasilitas modul renograf serta *software* Reno_XP USB yang secara otomatis menghasilkan dua data. Pada tingkat kepercayaan 95%, jangkauan nilai yang dapat diterima sebesar 10.12 sampai dengan 30.14. Sehingga dapat dinyatakan bahwa data hasil pencacahan sistem spektrometri gamma seperti yang terlihat pada tabel 9 dengan menggunakan detektor Bicron maupun detektor Ludlum memenuhi kriteria mengikuti distribusi *Gauss*. Nilai tersebut

menunjukkan bahwa alat mempunyai kestabilan unjuk kerja yang baik.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa :

1. Resolusi detektor Ludlum 44-62 sebesar 7.09% lebih tinggi dibandingkan resolusi detektor Bicron 2M2/2 sebesar 6.89%. Sehingga kemampuan detektor Bicron 2M2/2 untuk memisahkan 2 pulsa yang berdekatan lebih baik dari pada detektor Ludlum 44-62
2. Efisiensi detektor Bicron 2M2/2 lebih tinggi dibandingkan efisiensi detektor Ludlum 44-62.
3. Pada uji fungsi jarak, semakin dekat jarak sumber dengan detektor maka jumlah cacah yang diperoleh semakin tinggi. Dari data-data yang diperoleh dapat dinyatakan bahwa pada jarak 0.5cm sampai dengan 30 cm interaksi detektor Bicron terhadap radiasi sinar gamma lebih baik dibandingkan detektor Ludlum.
4. Dari hasil *chi square test* data hasil pencacahan sistem spektrometri gamma dengan menggunakan detektor Bicron 2M2/2 maupun detektor Ludlum 44-62 sesuai dengan kriteria sehingga dapat dinyatakan bahwa alat memenuhi syarat kestabilan.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Bp. Joko Sumanto dan Bp. Syahrudin Yusuf yang telah membantu dalam pengujian dan penyusunan laporan penelitian ini.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. ARYA WARDANA, WISNU. "Aplikasi Teknologi Nuklir", Andi offset: Yogyakarta (2004).
2. NOVIARTY. "Optimasi Pengukuran Keaktifan Radioisotop Cs-137 Menggunakan Spektrometer Gamma" Prosiding Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir STTN November 2009 ISSN 1978-0176
3. IAEA TECDOC 602, , "*Quality Control of Nuclear Medicine Instrumen*"t, IAEA, Vienna, Austria (1991).
4. PUSDIKLAT BATAN. Statistik Pencacahan Radiasi.
available :
http://www.batan.go.id/pusdiklat/elearning/Pengukuran_Radiasi/Statistik_05.htm
di akses 1 Agustus 2011

5. Ludlum Measurements, Inc. Ludlum 44-62 Gamma Scintillator. Serial Number PR138489. (2008)
6. Saint Groban Ceramics & Plastics INC. Scintillation Detectors with Integrally Mounted PMT. (2002)