



# Perbandingan Kinerja Detektor NaI(Tl) Dengan Detektor CsI(Tl) Pada Spektroskopi Radiasi Gamma

Syamsul Bahri

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu, Indonesia

Diterima 1 Oktober 2006, Disetujui 24 Desember 2006

**Abstrak** - Telah dilakukan pengamatan dan perbandingan kinerja detektor CsI(Tl) pada spektroskopi gamma dengan detektor NaI(Tl). Sumber radiasi gamma yang digunakan adalah sumber radiasi standar yaitu Cs-137 dan Co-60 serta Eu-152 yang memiliki jumlah puncak spektrum tenaga gamma yang banyak. Pengamatan dengan menggunakan kedua detektor dilakukan pada kondisi maksimal dari peralatan spektroskopi yang digunakan. Dari spektrum tenaga gamma hasil perhitungan yang dilakukan diperoleh bahwa resolusi detektor NaI(Tl) lebih baik dibandingkan dengan detektor CsI(Tl), namun dari segi efisiensi menunjukkan bahwa detektor CsI(Tl) lebih baik dibandingkan dengan detektor NaI(Tl). Dari aspek lainnya, detektor CsI(Tl) masih memiliki kelebihan dibandingkan dengan detektor NaI(Tl) diantaranya lebih murah, ekonomis, praktis dalam penggunaannya karena bentuknya yang kecil dan kompak dan penyedia daya listrik yang digunakan lebih hemat yaitu  $\pm 24$  Volt untuk detektor CsI(Tl) sedangkan untuk detektor NaI(Tl) penyedia daya listrik yang digunakan berkisar diantara 500 Volt sampai 1200 Volt.

**Kata Kunci:** Detektor; Spektroskopi Gamma

## 1. Pendahuluan

Proses dinamis pada perkembangan teknologi yang berkaitan dengan inti atom akan selalu mengalami kemajuan yang amat pesat. Detektor spektrometer- $\gamma$  yang lazim digunakan adalah detektor sintilasi NaI(Tl). Namun perkembangan dalam spektroskopi- $\gamma$  menunjukkan bahwa makin lama detektor NaI(Tl) makin ditinggalkan dan digantikan peranannya oleh detektor lain karena berbagai alasan yang penting.

Saat ini pengembangan teknologi detektor yang memiliki nilai kompetitif dengan detektor NaI(Tl) sedang dilakukan. Salah satu usaha adalah menggunakan photodiode CsI(Tl) sebagai detektor. Dengan detektor sistem, sistem pengukuran di lapangan akan lebih murah, kompak dan portabel karena detektor ini menggunakan komponen elektronik yang sedikit dan kompak. Beberapa kajian tentang kemungkinan penggunaan detektor berbasis photodiode telah dilakukan dan proses pembuatan detektor sinar X juga sudah dilakukan dan dapat dikatakan berhasil [2][3].

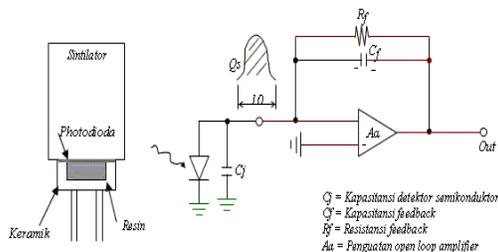
Photodiode bekerja atas dasar perubahan cahaya tampak yang mengenai katoda (fotokatoda) sehingga

dihasilkan elektron. Melalui tegangan bias yang diberikan antara katoda dan anoda, elektron tersebut akan mengalir sehingga diperoleh arus listrik. Arus listrik tersebut dapat diubah menjadi tegangan. Besarnya tegangan yang dihasilkan tergantung pada kuat cahaya yang mengenai fotokatoda. Secara umum photodiode memiliki *dark current* yang kecil (orde nA). *Dark Current* adalah arus listrik yang timbul pada photodiode untuk keadaan gelap atau tanpa dikenai cahaya sama sekali. Photodiode juga memiliki tanggap waktu yang cepat dan responsif pada wilayah panjang gelombang cahaya tampak yaitu antara 200 nm sampai 1100 nm dengan panjang gelombang efektif pada 800 nm.

CsI(Tl) adalah sintilator anorganik yang sangat cocok untuk digandengkan dengan photodiode karena memiliki *yield* cahaya yang paling tinggi, kuantum efisiensi sebesar 69% sepanjang spektrumnya dibandingkan dengan 49% pada NaI(Tl).

Sambungan optik antara sintilator dengan photodiode menggunakan *optical grease*. Luas permukaan sintilator yang lebih luas terhadap permukaan photodiode akan menghasilkan spektrum yang lebih

baik daripada menggunakan sintilator dengan permukaan yang lebih kecil.



Gambar 1. Kristal sintilator dan penguat awal peka muatan [3]

Kristal sintilator CsI(Tl) berbentuk kubus dengan dimensi  $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$  dan diletakkan pada photodioda dengan menggunakan teflon tape dan silicon oil. Kristal sintilator CsI(Tl) bersama photodioda dan penguat hibride dikemas dalam aluminium berbentuk silinder yang kecap cahaya. Hal ini dilakukan untuk menghindari kesalahan deteksi pada saat digunakan untuk mendeteksi foton.

Photodioda adalah dioda semikonduktor yang khusus dirancang untuk keperluan pembangkitan tenaga listrik oleh penyinaran. Photodioda yang dikopel dengan sintilator dibuat dari silikon dengan resistivitas tinggi, biasanya dari tipe N dengan resistivitas sekitar  $5000 \Omega\text{cm}$  sampai dengan  $10.000 \Omega\text{cm}$  untuk mendapatkan kapasitansi yang rendah pada tegangan bias yang rendah.

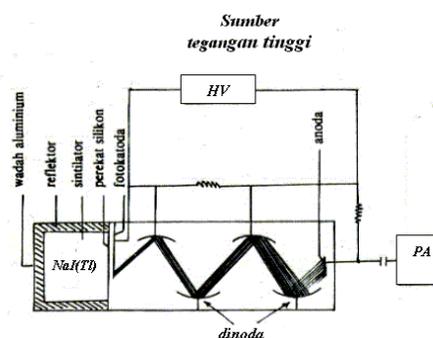
Jika sumber radiasi pengion melewati kristal maka tingkat tenaga elektron pada kristal akan meningkat sampai ke tingkat eksitasi di bawah *conduction band* sehingga pada pita valensi terbentuk hole-hole, yang menyebabkan terjadinya eksitasi, yang pada eksitasinya dipancarkan foton-foton.

Keluaran dari detektor ini berupa pulsa yang lemah dan lebarnya beberapa nano detik. Oleh karena itu pada detektor ini ditambahkan rangkaian penguat operasional dalam mode integrator dengan menggunakan kapasitor umpan balik. Penguat ini memiliki impedansi masukan tinggi dan mengintegrasikan pulsa-pulsa listrik yang lemah serta mengubahnya menjadi pulsa tegangan sehingga

dihasilkan impedansi keluaran yang rendah. Penguat ini disebut penguat awal peka muatan.

Jika radiasi gamma menumbuk detektor maka muatan Q dihasilkan dengan amplitudo yang setara dengan tenaga partikel. Sehubungan dengan muatan yang timbul, keluaran penguat peka muatan naik dan bersamaan itu, tegangan dengan polarisasi terbalik muncul pada keluarannya. Penguat ini memiliki open loop gain besar sehingga melalui rangkaian feedback seolah-olah tegangan pada ujung masukan adalah nol. Akibatnya pulsa-pulsa muatan semuanya diintegrasikan terhadap kapasitor feedback dan menimbulkan tegangan keluaran. Pada titik ini tahanan feedback untuk arus searah dihubungkan paralel dengan kapasitor feedback dan tegangan keluaran menjadi pulsa-pulsa tegangan yang meluruh secara perlahan.

**NaI(Tl)** adalah sintilator yang paling banyak digunakan untuk mendeteksi sinar  $\gamma$ . Dalam bentuk kristal tunggal berdiameter 0,75 m dan tebal 0,25 m serta memiliki tingkat kerapatan sebesar  $3,67 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ . Karena rapat massanya yang besar, nomor atom yang tinggi dan ukuran yang besar maka NaI(Tl) sangat efisien untuk mendeteksi radiasi gamma.



Gambar 2. Skema detektor sintilasi NaI(Tl) [5]

Sebagai sebuah material sintilator NaI(Tl) mempunyai banyak sifat yang merugikan seperti rapuh dan sensitif terhadap temperatur tinggi dan panas mendadak. Selain itu juga bersifat higroskopik sehingga harus terlindung setiap saat. NaI(Tl) selalu mengandung sejumlah kecil potasium yang memberikan efek tertentu karena radioaktivitas.

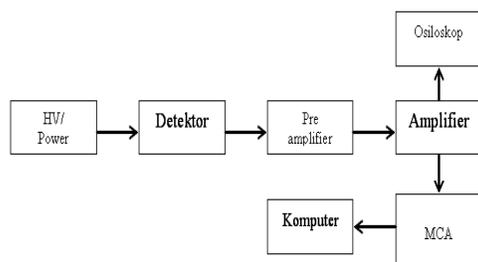
Detektor NaI(Tl) terdiri dari dua bagian. Bagian pertama adalah medium sintilasi berupa sintilator

NaI(Tl) dimana partikel yang terdeteksi akan menimbulkan pulsa cahaya. Bagian kedua adalah tabung pengubah pancaran cahaya menjadi pulsa listrik setelah proses penggandaan yaitu Photo Multiplier Tub (PMT).

**2. Metode Penelitian**

Sistem deteksi radiasi yang digunakan adalah sistem spektroskopi radiasi gamma detektor sintilasi NaI(Tl) BICRON model 212/2P (seri BT 778) berbasis penguat awal (pre-amplifier) CANBERRA model 20072 (seri 117830) dan detektor CsI(Tl) HAMAMATSU tipe S3590-08 berbasis penguat awal HAMAMATSU model H4083. Kedua sistem ini dilengkapi dengan penguat (amplifier) ORTEC 485, penganalisa kanal tunggal (*single channel analyzer, SCA*) CANBERRA model 2030, penganalisa kanal banyak (*multi channel analyzer, MCA*) EG&G ORTEC dengan program aplikasi Maestro model A65 BI Versi 3 dan pemantau sinyal osiloskop KENWOOD 20 MHz CS-1021. Tegangan untuk detektor NaI(Tl) diperoleh melalui catu daya tegangan tinggi (High Voltage Power Supply, HVPS) CANBERRA 3120 dan untuk detektor Photodioda CsI(Tl) diperoleh melalui BIN Module. Adapun susunan peralatan seperti terlihat pada gambar 3.

Sumber radiasi gamma yang digunakan adalah unsur Cs-137, Co-60 dan Eu-152. Unsur Cs-137 memiliki satu puncak spektrum yaitu pada tenaga 661,6 keV dan waktu paruh 30 tahun. Unsur Co-60 memiliki dua puncak spektrum pada tenaga 1173,1 keV dan 1334,2 keV sedangkan Eu-152 adalah unsur radiasi yang memiliki banyak puncak spektrum.



Gambar 3. Diagram blok sistem deteksi radiasi  $\gamma$  dengan *Multi Channerl Analyzer*

Analisa Parameter Kinerja Peralatan system deteksi terdiri dari :

*Spektrum tenaga*, terdiri dari latar dan suatu luasan pada puncak tenaga dengan besar tenaga tertentu yang sesuai dengan tenaga sumber radiasi yang digunakan. Setiap sumber radiasi memiliki jumlah puncak tenaga spektrum yang berbeda-beda tergantung pada banyaknya tenaga yang dimiliki sumber radiasi tersebut.

*Resolusi detektor*, dinyatakan dengan lebar setengah tinggi maksimum dimana satuan yang digunakan adalah keV atau dinyatakan dalam % terhadap tenaga dan dinyatakan dengan persamaan

$$\text{Resolusi} = \frac{FWHM}{E} \times 100\% \tag{1}$$

dengan  $E$  adalah tenagan puncak dari sumber referensi. Nilai resolusi yang semakin kecil menunjukkan resolusi yang semakin baik. Detektor yang memiliki resolusi yang tinggi adalah detektor yang mampu memisahkan dua puncak tenaga yang sangat berdekatan.

*Efisiensi detektor*, dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya cacah dengan aktivitas mutlak sumber yaitu cacah pancaran radiasi yang dihasilkan oleh sumber ke segala arah ( $4\pi$ ). Kemampuan detektor untuk menerima pancaran radiasi dapat dipengaruhi oleh jarak sumber radiasi dengan detektor, medium antara detektor dengan sumber radiasi dan besarnya volume aktif detektor (sintilatator). Makin besar volume aktifnya makin banyak jumlah cacah radiasi yang dapat diterima oleh detektor. Dengan memperhatikan faktor geometri dan faktor dari sumber, efisiensi detektor dinyatakan dengan persamaan:

$$\eta = \frac{N}{A_o t \phi F Y} \times 100\% \tag{2}$$

dengan  $N$  = cacah pulsa,  $A_o$  = aktivitas awal sumber radiasi,  $t$  = selang waktu aktivitas awal sumber radiasi sampai dengan  $t$ .  $\Phi$  = faktor geometri,  $F$  = faktor koreksi dan  $Y$  = persentase gamma yang dipancarkan sumber (*yield*).

Faktor geometri berhubungan dengan medium antara detektor dan sumber radiasi serta bentuk sumber radiasi. Untuk sumber radiasi yang berbentuk silinder

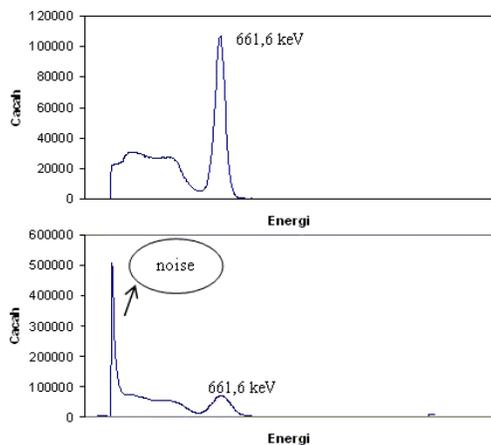
(gambar 4), faktor geometri dihitung dengan persamaan berikut [6]:

$$\phi = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{d}{(d^2 + R^2)^{1/2}} \right) \quad (3)$$

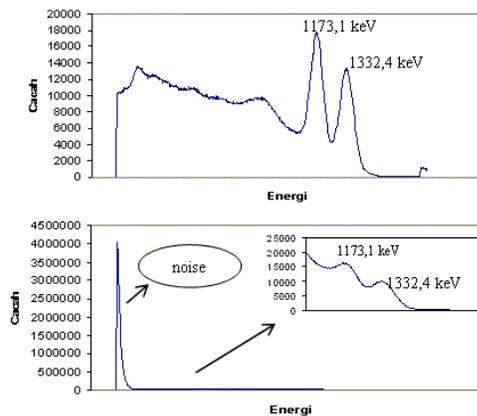
Jika  $\Phi = 1$  penyebarannya dikatakan  $4\pi$  karena detektor menerima semua radiasi dari sumber. Jika  $\Phi = 0,5$  penyebarannya dikatakan  $4\pi$  yaitu detektor hanya menerima setengah dari radiasi yang berasal dari sumber.

### 3. Hasil Dan Pembahasan

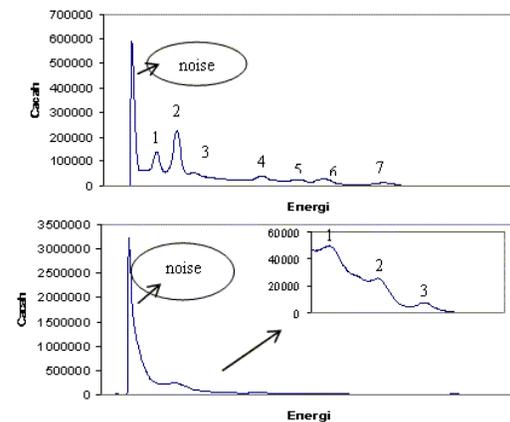
Dari spektrum sumber radiasi yang diperoleh, spektrum Cs-137 dari detektor NaI(Tl) dan CsI(Tl) memiliki satu puncak spektrum. Ini sesuai dengan banyaknya energi yang dimilikinya. Spektrum Co-60 dari detektor NaI(Tl) dan CsI(Tl) memiliki dua puncak spektrum tenaga sesuai dengan banyak energi yang dimilikinya. Namun dari hasil yang diperoleh yaitu gambar 4 terlihat bahwa detektor CsI(Tl) tidak mampu menampakkan kedua puncak dari sumber Co-60. Demikian juga halnya untuk spektrum Eu-152, dimana detektor NaI(Tl) mampu menampakkan jumlah puncak tenaga yang lebih baik dan lebih banyak dibandingkan dengan yang dihasilkan oleh detektor CsI(Tl). Ini disebabkan karena perbandingan jumlah noise terhadap jumlah cacah spektrum tenaga sangat besar.



Gambar 4. Spektrum tenaga Cs-137 dari detektor NaI(Tl) dan CsI(Tl)



Gambar 5. Spektrum tenaga Co-60 dari detektor NaI(Tl) dan CsI(Tl)



Gambar 6. Spektrum tenaga Eu-152 dari detektor NaI(Tl) dan CsI(Tl)

Spektrum tenaga yang dihasilkan oleh detektor CsI(Tl) menyebar dibandingkan dengan spektrum yang dihasilkan oleh detektor NaI(Tl). Hal ini dikarenakan intensitas tenaga puncak spektrum yang dihasilkan oleh detektor CsI(Tl) memiliki ralat yang cukup besar jika dibandingkan dengan intensitas tenaga puncak spektrum yang dihasilkan oleh detektor NaI(Tl). Dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk mendapatkan profil spektrum yang sempit (baik) jika menggunakan detektor CsI(Tl).

Resolusi kedua detektor ditentukan untuk sepektrum Cs<sub>137</sub> dengan menggunakan persamaan (1). Dari data MCA pengaktifan sistem ROI diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 1. Data pengaktifan sistem ROI MCA

Detektor	Nilai puncak (kanal)	FWHM (%)	Cacah pulsa
NaI(Tl)	661,62	67,68	10562
CsI(Tl)	661,65	72,52	4988

Dari data diatas, diperoleh resolusi untuk detektor NaI(Tl) sebesar 10,22% dan untuk detektor CsI(Tl) sebesar 10,96%. Dari hasil hitungan ini dapat dikatakan bahwa resolusi detektor NaI(Tl) lebih baik dibandingkan dengan resolusi detektor CsI(Tl). Secara fisik, resolusi detektor NaI(Tl) lebih baik dibandingkan dengan resolusi detektor CsI(Tl). Kenyataan ini dapat dilihat dari spektrum tenaga puncak yang dihasilkan oleh detektor NaI(Tl), yang lebih ramping dibandingkan dengan spektrum tenaga puncak yang dihasilkan oleh detektor CsI(Tl).

Efisiensi detektor ditentukan dari pengukuran sumber radiasi Cs-137. Dari hasil pengujian dengan detektor NaI(Tl) dan CsI(Tl) diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 2. Data pengujian detektor.

No.	Parameter	Detektor NaI(Tl)	Detektor CsI(Tl)	Satuan
1.	Cacah pulsa	10562	4988	Cacah
2.	Aktivitas padat	229345,952	229558,455	Dps
3.	Faktor geometri	0,1657	0,05279	-
4.	Faktor koreksi	0,2044	0,2044	-
5.	Yield	100	100	%

Dengan menggunakan persamaan (2) diperoleh efisiensi detektor NaI(Tl) sebesar 1,408% dan efisiensi detektor CsI(Tl) sebesar 2,014%. Dari hasil ini terlihat bahwa detektor CsI(Tl) memiliki efisiensi yang lebih besar daripada detektor NaI(Tl).

Perbedaan-perbedaan hasil yang diperoleh untuk kedua detektor di atas dapat disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut :

1. *Perbedaan pada sistem detektor*, respon detektor tergantung pada bagaimana sinyal dikonversi ke dalam sinyal elektronik dan diperkuat dengan pre-amplifier. Kedua detektor memiliki perbedaan pre-amplifier dalam memperkuat sinyal.

Konsekuensinya adalah kanal energi yang diasosiasikan dengan puncak energi akan berbeda.

2. *Perbedaan material scintillator*, sintilator CsI(Tl) memiliki warna putih sedangkan NaI(Tl) berwarna terang (clear) sehingga respon photodiode pada detektor NaI(Tl) lebih baik dan lebih efektif dari pada detektor CsI(Tl) sebagai sintilator.
3. *Perbedaan ketebalan material sintilator*, Pada prinsipnya, ketebalan yang besar akan memberikan interaksi yang lebih baik. Ketebalan material sintilasi CsI(Tl) adalah 10 mm sedangkan ketebalan material NaI(Tl) adalah 50 mm.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan bentuk spektrum dan resolusi yang diperoleh, kedua detektor memiliki sifat dan kinerja yang mendekati sama. Dari sudut efisiensi, dengan memperhitungkan faktor koreksi, ternyata detektor CsI(Tl) lebih unggul dibandingkan detektor NaI(Tl). Kedua detektor memiliki kemampuan untuk mendeteksi radiasi  $\gamma$  sebab dari bentuk spektrum yang dihasilkan keduanya dapat menampilkan puncak tenaga dari masing-masing sumber radiasi standar (Cs-137 dan Co-60) yang digunakan namun ada keterbatasan pada detektor CsI(Tl) ketika mendeteksi sumber radiasi yang memiliki puncak spektrum tenaga yang banyak seperti Eu-152.

Dari beberapa aspek detektor CsI(Tl) masih memiliki kelebihan dibandingkan dengan detektor NaI(Tl) diantaranya lebih murah, ekonomis, praktis dalam penggunaannya karena bentuknya yang kecil dan kompak dan lebih hemat penyedia daya listrik yang digunakan yaitu  $\pm 24$  Volt untuk detektor CsI(Tl) sedangkan untuk detektor NaI(Tl) penyedia daya listrik yang digunakan berkisar diantara 500 Volt sampai 1200 Volt.

#### Daftar Pustaka

- [1] Krane, K., *Fisika Modern*, 1992, UI Press, Jakarta.
- [2] Sumiardi, Y., 2003, Sistem Sensor Optik Berbasis Photodiode Siemens BPW34, 2003, Skripsi S1, Universitas Gadjah Mada.
- [3] Setyadi, W.S., Sanyoto, N.T. dan Juningram, *Perakitan Detektor Sintilasi CsI(Tl)*, 2001, Prosiding PPI

- Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, P3TM BATAN, Yogyakarta, 7-8 Agustus.
- [4] Suparta, G.B., *Focusing Computed Tomography Scanner*, **1999**, Disertasi, Monash University, Victoria, Australia.
- [5] Susetyo, W., *Spektroskopi Gamma dan Penerapannya dalam Pengaktifan Neutron*, **1988**, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- [6] Tsoulfanidis, N., *Measurement and Detection of Radiation*, **1972**, Hemisphere Publishing Corporation, New York, London.