KARAKTERISASI SPEKTRUM Au-198 DENGAN MCA EG&G ORTEC MENGGUNAKAN DETEKTOR NaI(TL)

Agatha Mahardika Anugrayuning Jiwatami

Dosen Program Studi D3 Instrumentasi Medis, Politeknik Mekatronika Sanata Dharma
Alamat korespondensi: Paingan Maguwoharjo Depok Sleman Yogyakarta 55282.
Email: *agatha@pmsd.ac.id*

ABSTRACT

Research on characterization of Au-198 radioactive source as an alternative source of radiation for spectroscopy has been carried out. Characterization is done by counting the source of Au-198 ($E\gamma$ = 411.8 keV, $T_{½}$ = 2.69 days) with EG&G ORTEC MCA coupled with NaI (Tl) detector. Au-198 obtained from the thermal neutron activation Au-197 in a nuclear reactor Kartini, BATAN Yogyakarta. The Pulse magnification variation (gain) was set to 2 volts, 3 volts and 4 volts. The counting process produces a graph of the spectrum of gamma energy with the x-axis represents the number of channels that are comparable to the energy radiation and the y-axis represents the number of the detected radiation. As a result, the spectrum of Au-198 can be well identified by the MCA EG&G ORTEC detector coupled with NaI (Tl). Isotope Au-198 can be used to support research and development of applications of radioactivity in Indonesia, as well as for commercial applications.

Keywords: *spectrometer system, spectroscopy, gamma radiation, isotope, Au-198.*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan untuk pemetaan struktur internal obyek guna keperluan analisis informasi tentang obyek semakin meningkat sejalan dengan dukungan peningkatan kemampuan teknologi nuklir di Indonesia serta makin luasnya aplikasi teknologi nuklir pada berbagai bidang. Aplikasi teknologi nuklir misalnya ditemukan pada perangkat analisis aktivasi nuklir yang diikuti dengan spektroskopi gamma seperti renograf, *thyroid uptake* dan tomografi komputer.

Sistem spektroskopi nuklir dan pencacah radiasi berfungsi untuk menyelidiki dan menganalisis suatu radioisotop atau sumber radiasi. Caranya dengan mengukur distribusi energi radiasi tersebut serta berbagai informasi lain yang mempunyai kaitan dengan sumber radiasi. Sistem itu terdiri dari dua kelompok, yakni bagian sensor radiasi dan transduser yang biasa dikenal sebagai detektor nuklir dan spektrometer untuk pengolahan dan pengukuran data. Dengan perangkat spektroskopi dapat langsung diperoleh distribusi intensitas radiasi nuklir pada nomor kanal yang bersesuaian dengan suatu lebar pita energi (*energy bandwidth*) tertentu pada suatu jangkauan energi tertentu. Dari spektrum dapat ditentukan puncak-puncak energi yang mengkarakterisasi jenis isotop atau sumber radiasi nuklir yang dideteksi.

Data spektroskopi dapat digunakan untuk menentukan unsur-unsur yang terkandung dalam suatu bahan asal unsur-unsur tersebut telah bersifat radioaktif. Sebaliknya, untuk aplikasi *thyroid uptake*, renograph atau tomografi komputer, pemilihan energi radiasi monokromatik sangat penting melalui pemilihan kanal yang tepat sehingga proses spektroskopi perlu dilakukan sebelum langkah aplikasi-aplikasi tersebut.

Isotop Cs-137 banyak digunakan sebagai sumber referensi yang memiliki energi radiasi monokromatik. Kelemahannya adalah sumber ini memiliki waktu paruh yang lama (30 tahun) dan energi radiasi yang besar (662 keV).

Sementara itu, di Daerah Istimewa Yogyakarta terdapat reaktor nuklir Kartini yang dapat melakukan aktivasi material sehingga isotop-isotop khusus dapat diperoleh. Isotop-isotop tersebut beberapa sangat bermanfaat untuk kegiatan penelitian dan pengembangan, serta aplikasi komersial. Sumber radioaktif dapat dibuat sesuai kebutuhan dengan memperhatikan waktu paruh dan energinya. Karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengeksplorasi

kemungkinan pemanfaatan reaktor nuklir memproduksi isotop yang mungkin dapat digunakan untuk mendukung penelitian dan aplikasi radioaktivitas di Indonesia. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkarakterisasi spektrum energi radioisotop Au-198 ($T_{1/2}$ = 2,69 hari; Eγ = 412 keV) hasil aktivasi di reaktor nuklir yang dihasilkan oleh sistem spektrometer gamma MCA EG&G ORTEC.

2. LANDASAN TEORI

Resolusi detektor sintilator dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain energi radiasi, efisiensi konversi, efisiensi pengumpulan sinar oleh sistem, transparansi sintilator, sensitivitas fotokatoda dan fraksi fotoelektron yang diemisikan dari fotokatoda yang dapat menjangkau anoda pertama.

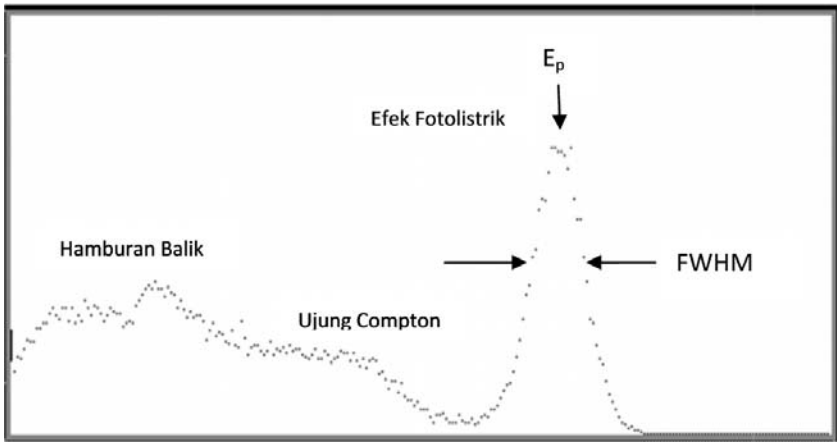
Resolusi detektor maksimum diperoleh dengan cara memfokuskan kisi dan tegangan tinggi. Cara termudah untuk memfokuskan kisi adalah dengan mengamati pulsa keluaran dari PMT (*photomutiplier tube*) dengan osiloskop atau dengan melihat puncak spektrumnya dan mengatur tegangan kisi untuk mendapatkan tinggi pulsa maksimum. Dengan energi yang lebih tinggi berarti lebih banyak elektron dari fotokatoda yang mencapai anoda pertama. Faktor yang kedua adalah mengatur tinggi tegangannya. Mengubah tegangan tinggi berarti juga mengubah amplifikasi dari tabung foto dan untuk mendapatkan resolusi maksimum harus mengkalibrasi energi pada setiap pengaturan tinggi tegangan. Hal ini akan menghabiskan banyak waktu (Sapuan, 2007).

Dalam spektrum energi gamma, pada fungsi pengukuran seperti terlihat dalam Gambar 1 terlihat efek "*blurring*" yang menunjukkan batas resolusi energi. Resolusi (daya pisah) energi dinyatakan sebagai lebar setengah maksimum (*Full Width at Half Maximum,FWHM*) dari energi puncaknya, dinyatakan dengan persamaan

$$R = \frac{FWHM}{E_p} \quad (1)$$

dengan E_p adalah energi puncak dari sumber referensi (Knoll, 1979; Gabriel, 1996)

Detektor sintilator disambung dengan tabung pelipat elektron (PMT) yang terdiri dari tabung silinder vakum dengan fotokatoda di dalamnya. Elektron-elektron yang dihasilkan saat radiasi gamma mengenai kristal sodium iodida akan mengakibatkan proses eksitasi pada atom sehingga terjadi pancaran cahaya sebagai pendaran (*scintillator*). Cahaya tersebut kemudian diarahkan ke lapisan fotokatoda, sehingga dapat terjadi pelepasan elektron. Cacah dan energi gerak elektron yang dilepaskan tergantung pada intensitas dan energi sinar gamma yang mengenai sintilator. Makin tinggi energi sinar gamma yang mengenai sintilator maka makin tinggi pendaran foton yang dihasilkan dan makin tinggi pula energi gerak elektron yang dilepaskan dari fotokatoda. Hal ini dicerminkan dalam tinggi pulsa yang dihasilkan. Sinar gamma yang mempunyai energi tinggi akan menghasilkan pulsa yang tinggi sedangkan sinar gamma yang berenergi rendah akan menghasilkan pulsa yang rendah sehingga tinggi pulsa sebanding dengan besarnya energi radiasi sinar gamma (Tsoulfanidis, 1983). Disamping itu intensitas sinar gamma yang dideteksi akan mempengaruhi cacah elektron yang dibebaskan. Makin tinggi intensitas sinar gamma makin banyak elektron yang dibebaskan dan makin banyak pula pulsa yang dihasilkan oleh detektor.



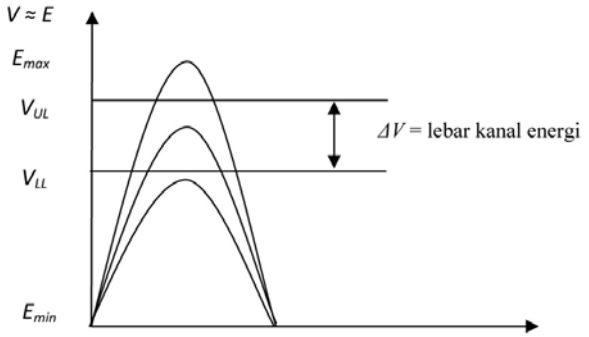
Gambar 1. Spektrum Energi Gamma

Pulsa dari PMT masih dalam orde milivolt, masih perlu diperkuat, sehinga diperkuat lagi dengan penguat awal (*pre-amplifier*) untuk memperkuat dayanya Fungsi khusus penguat ini adalah agar terjadi kesesuaian impedansi antara keluaran (*output*) detektor dan masukan (*input*) amplifier. Sinyal-sinyal yang berasal dari detektor yang berinteraksi dengan partikel berupa tegangan yang sangat lemah dan akan ditransmisikan menuju penguat utama (*main amplifier*). Tegangan yang sangat lemah ini mengalami pelemahan selama ditransmisikan melalui kabel sehingga dibutuhkan penguat awal yang harus dipasang sedekat mungkin dengan detektor. Penguat awal ini meminimalkan derau elektronik yang akan menutupi sinyal dari detektor.

Sinyal dari *pre-amplifier* diteruskan ke penguat utama linear (*linear amplifier*) untuk penguatan tinggi pulsa. Sinyal tegangan dari penguat awal besarnya masih berorde milivolt sehingga perlu diperkuat lagi supaya sistem pencacahan dapat menangkap sinyal tersebut. Setelah melewati kedua amplifier tersebut tinggi pulsa dapat menjadi orde volt positif. Pulsa yang tertinggi adalah pulsa yang diakibatkan oleh efek fotolistrik, sedang yang diakibatkan oleh efek Compton dan pembentukan pasangan lebih rendah. Hal ini disebabkan karena kebolehjadian proses fotolistrik paling besar.

Single Channel Analyzer (SCA) berfungsi menghilangkan derau elektronik atau secara umum menolak sinyal yang tidak diinginkan. Ketika sebuah pulsa diperkuat, maka derau elektronik yang akan selalu muncul dalam sirkuit juga diperkuat. Derau yang diperkuat ini akan membuat besarnya pencacahan menjadi tinggi. Jika suatu sinyal dicacah begitu saja, derau ini harus dihilangkan dulu sebelum mulai pencacahan. SCA berguna supaya hanya pulsa-pulsa dengan ketinggian tertentu (sinyal dengan energi diatas ambang energi tertentu) yang diteruskan. Pulsa yang ada di bawah ambang batas tersebut juga tidak akan diteruskan. Dengan arti lain penganalisa saluran terpisah mampu membuat pemilihan terhadap pulsa yang diinginkan.

Spektroskopi nuklir adalah proses deteksi intensitas radiasi tiap kanal energi yang berurutan dengan lebar kanal $\Delta V = V_{UL}$-V_{LL} mulai dari E_{min} (0 Volt) sampai E_{max} (5 volt atau 10 volt), seperti terlihat pada Gambar 2. Sumbu y pada gambar itu menunjukkan tinggi pulsa tegangan dan sumbu mendatar menunjukkan waktu kemunculan pulsa sebagaimana tampak pada osiloskop. Tinggi pulsa (dalam volt DC) bersesuaian dengan energi radiasi. Perubahan amplifikasi pada amplifier akan mengubah tinggi pulsa, tetapi tidak mengubah jangkauan energi E_{min}-E_{max} radiasi yang hendak dideteksi.



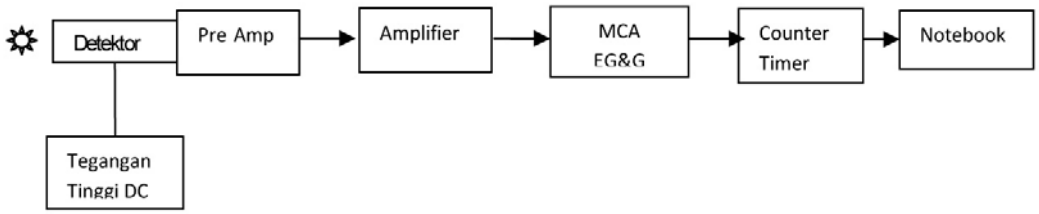
Gambar 2. Bentuk Pulsa Keluaran dan Jendela Energi

Keluaran dari sebuah penganalisa saluran terpisah berbentuk pulsa kotak dengan ketinggian tertentu. Sebuah pulsa kotak menandakan adanya sebuah partikel dengan besar energi antara E dan $E+\Delta E$. Pulsa kotak hasil keluaran penganalisa saluran terpisah akan diteruskan ke *counter*. Setiap pulsa kotak dihitung sebagai satu partikel. *Timer* berfungsi mengatur interval waktu pencacahan. *Pulser* berfungsi mengatur pulsa yang tetap (Susetyo, 1988).

3. METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sistem deteksi menggunakan detektor sintilasi NaI(Tl) BICRON model 212/2P seri BT 778 dan berbasis penguat awal (*pre-amplifier*) CANBERRA model 20072 seri 117830, penguat (*amplifier*) dan penganalisa salur banyak (*Multi Channel Analyzer*, MCA) EG&G ORTEC dengan program aplikasi Maestro model A65 BI versi 3 sebagai pembanding dan pemantau sinyal osiloskop KENWOOD 20 MHz CS-4125. Tegangan untuk detektor NaI(Tl) diperoleh melalui catu daya tegangan tinggi (*High Voltage Power Supply*) model FC-B0402. Bahan yang digunakan adalah unsur Au-197.

Desain penelitian yang digunakan untuk pencacahan disusun dengan rangkaian seperti terlihat dalam Gambar 3. Untuk proses spektroskopi, detektor NaI(Tl) menggunakan tegangan sebesar 900 volt.



Gambar 3. Blok Diagram Sistem Pencacah Nuklir

Proses aktivasi dilakukan dengan fasilitas irradiasi *Lazy Susan* Reaktor Kartini di P3TM BATAN Yogyakarta. Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah Au-197 dengan kemurnian 99,99% dan berat 0,031 g yang diperoleh dari bagian reaktor BATAN Babarsari, Yogyakarta. Au-197 hanya diaktivasi selama 5 menit untuk menghasilkan aktivitas radiasi 0,2 mRad/jam untuk pencacahan terpisah. Aktivitas itu masih tetap aman digunakan dalam penelitian. Aktivasi akan menghasilkan isotop radioaktif Au-198. Pencacahan dilakukan dengan MCA EG&G ORTEC terhadap sumber Au-198 sebanyak empat kali dengan variasi gain 1 volt, 2 volt, 3 volt dan 4 volt.

Pencacahan sumber radioaktif untuk MCA EG&G ORTEC menggunakan software Maestro model A65 BI versi 3. Hasil pencacahan yang ditampilkan berupa spektrum energi gamma. Informasi numerik hasil pencacahan dengan MCA EG&G ORTEC ditampilkan dalam format ".txt". Selanjutnya diplot lagi dengan *Microsoft Excel* untuk analisa spektrumnya.

4. HASIL PENELITIAN

4.1 Aktivasi Au-197

Sumber radiasi yang digunakan dalam penelitian ini Au-198 (E_γ = 412 keV, $T_{½}$ = 2,69 hari). Proses aktivasi bahan dilakukan dengan fasilitas irradiasi *Lazy Susan* Reaktor Kartini di P3TM BATAN Yogyakarta. Dalam proses aktivasi neutron termal terhadap Au-197 selama 5 menit untuk pencacahan terpisah dan 10 menit untuk pencacahan bersama, dan dihasilkan Au-198 dengan reaksi berikut :

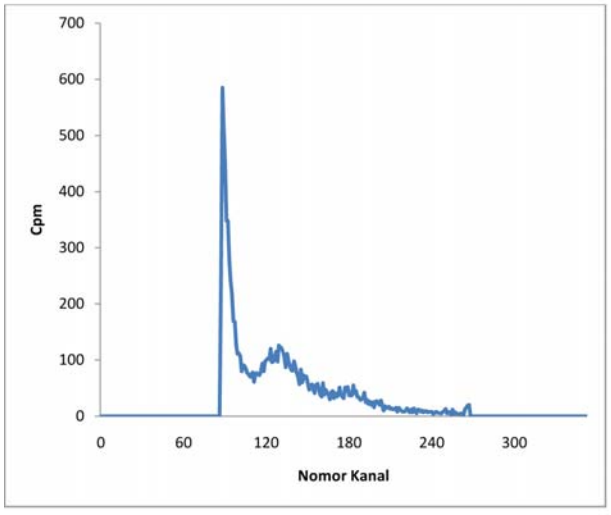
$$^{197}Au + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{198}Au + \gamma + E \qquad (4.1)$$

Waktu tunda merupakan masa transisi antara saat dikeluarkannya radionuklida dari reaktor, hingga saat dilakukan pencacahan. Pada riset ini waktu tundanya selama kurang lebih 20 jam. Radionuklida yang dihasilkan dari proses aktivasi, Au-198 mempunyai waktu paruh 2,69 hari dan merupakan pemancar sinar gamma dengan energi maksimum 412 keV.

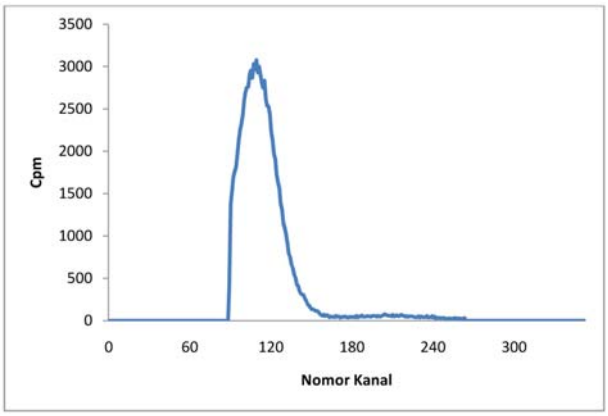
4.2 Pencacahan dengan Radioisotop Au-198

Program pengendali sistem spektrometer didesain sedemikian rupa agar sistem mampu menampilkan daerah fotoelektrik seefisien mungkin dengan *plotting* grafik dari data hasil cacahan jumlah partikel tiap satuan waktu. Pencacahan dilakukan dengan detektor NaI(Tl) dengan sumber tegangan 900 volt. Didapat hasil berupa grafik spektrum luasan tenaga gamma dengan sumbu x mewakili nomor kanal yang sebanding dengan energi radiasi dan sumbu y mewakili cacah radiasi yang terdeteksi.

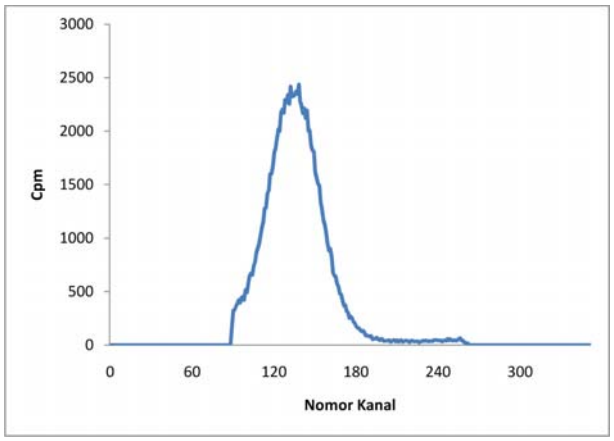
Hasil pencacahan sumber radiasi Au-198 diplot dengan *Microsoft Excel* dan didapat hasil berupa spektrum luasan tenaga gamma. Spektrum Au-198 dideteksi menggunakan MCA EG&G ORTEC bersamaan menggunakan detektor NaI(Tl) dengan variasi *gain* 1 volt, 2 volt, 3 volt dan 4 volt beturut-turut ditunjukkan dari Gambar 4 hingga Gambar 7.



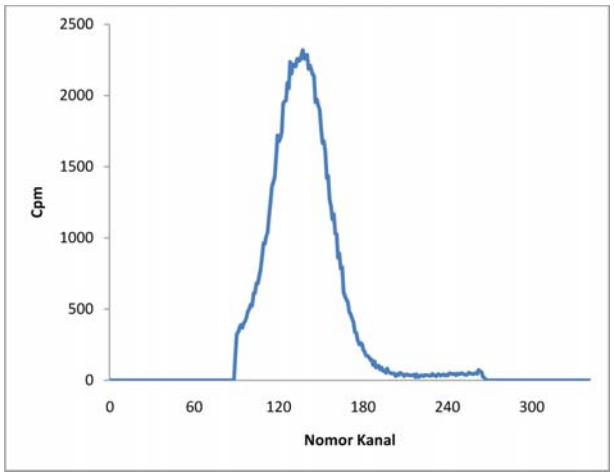
Gambar 4. Spektrum Energi Au-198 *gain* 1 volt dengan Detektor NaI(Tl) menggunakan MCA EG&G ORTEC



Gambar 5. Spektrum Energi Au-198 *gain* 2 volt dengan Detektor NaI(Tl) menggunakan MCA EG&G ORTEC



Gambar 6. Spektrum Energi Au-198 *gain* 3 volt dengan Detektor NaI(Tl) menggunakan MCA EG&G ORTEC



Gambar 7. Spektrum Energi Au-198 *gain* 4 volt dengan Detektor NaI(Tl) menggunakan MCA EG&G ORTEC

Spektrum energi Au-198 dengan spektrometer gamma MCA EG&G ORTEC menunjukkan adanya perubahan *range* kanal energi tiap perubahan *gain*. Semakin besar *gain* yang diberikan, kanal puncak energinya semakin bergeser ke kanan, *range* energinya semakin besar.

Tabel 1: Karakterisasi Spektrum Au-198 dengan MCA EG&G ORTEC

Karakterisasi	Gain			
	1 volt	2 volt	3 volt	4 volt
Kanal awal	87	88	89	89
Kanal akhir	215	263	262	267
Range energi	128	175	173	178
Kanal puncak	88	109	138	137
Cacah puncak (cps)	590	308	244	232

Informasi numeris dalam Tabel 1 diatas menunjukkan adanya pelebaran *range* kanal energi tiap perubahan *gain*. Semakin besar *gain* yang diberikan, kanal puncak energinya semakin bergeser ke kanan, *range* energinya semakin melebar. Hal ini dapat terjadi karena adanya perbedaan respon detektor. Respon detektor tergantung pada konversi sinyal elektronik dan penguatan dengan amplifier. Konsekuensinya adalah kanal energi yang diasosiasikan dengan puncak energi akan bergeser dan spektrum energinya semakin melebar. Akan tetapi, dari spektrum terlihat adanya penurunan intensitas cacah radiasi yang terdeteksi. Semakin besar penambahan *gain* amplifier, intensitas cacahannya tampak semakin lemah. Penurunan intensitas cacah ini dapat terjadi karena distribusi cacah energinya mulai menyebar, ditandai dengan melebarnya spektrum energi Au-198.

2. KESIMPULAN

Spektrum Au-198 ($T_{1/2}$ = 2,69 hari; E_{γ} = 412 keV) dapat diidentifikasi dengan baik oleh perangkat spektrometer MCA EG&G ORTEC ketika digandeng dengan detektor NaI(Tl).

Sumber radioaktif hasil aktivasi bahan dengan fasilitas irradiasi Lazy Susan Reaktor Kartini di P3TM BATAN Yogyakarta dapat digunakan sebagai sumber radiasi untuk pencacahan dengan sistem spektrometer gamma. Sumber radioaktif dapat dibuat sesuai kebutuhan dengan memperhatikan waktu paruh dan energinya.

DAFTAR PUSTAKA

Gabriel, J.F. 1996. *Fisika Kedokteran*. Cetakan Ketujuh. Jakarta: Buku Kedokteran EGC.

Knoll, G.F. 1979. *Radiation Detection and Measurement*. USA: John Wiley & Sons.

Sapuan, I., Suparta, G.B., Kusminarto. 2007. *Optimation Design of a Single Channel Analyzer for Computed Tomography System*. Surabaya: International Conference on Basic and Applied Sciences, the 5th Lustrum.

Susetyo, W. 1988. *Spektrometry Gamma*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Tsoulfanidis, N. 1983. *Measurement and Detection of Radiation*. New York: University of Missouri-Rolla.