

EFEK MATERIAL KATODE TERHADAP KARAKTERISTIK DETEKTOR GEIGER MUELLER TIPE JENDELA SAMPING

Irianto, Sayono, Wiwien Andriyanti

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, Badan Tenaga Nuklir Nasional, irianto57@yahoo.co.id

ABSTRAK

EFEK MATERIAL KATODE TERHADAP KARAKTERISTIK DETEKTOR GEIGER MUELLER TIPE JENDELA SAMPING. Telah dilakukan penelitian efek material katode terhadap karakteristik detektor Geiger Mueller tipe jendela samping bertujuan untuk menentukan jenis material katode dalam pembuatan tabung detektor Geiger Mueller bekerja berdasarkan interaksi radiasi nuklir dengan medium detektor. Tata kerja penelitian melakukan penentuan koefisien serapan linier dan pembuatan tabung detektor GM tipe jendela samping dengan variasi material katode dari kuningan, monel dan stainless steel serta menggunakan gas isian 90 % argon dan 10 % uap ethanol. Selanjutnya diamati parameter yang berpengaruh terhadap karakteristik detektor Geiger Mueller yang meliputi tegangan ambang, panjang tegangan plateau, slope % per 100 Volt. Koefisien serapan linier secara perhitungan untuk material katode kuningan diperoleh $(0,15275 \pm 0,01099) \text{ mm}^{-1}$, monel $(0,36566 \pm 0,02295) \text{ mm}^{-1}$, stainless steel $(0,04057 \pm 0,0027) \text{ mm}^{-1}$. Untuk karakteristik detektor Geiger Mueller untuk material katode kuningan, monel, stainless steel masing-masing mempunyai tegangan ambang 1030 Volt, 970 Volt, 1140 Volt, panjang tegangan plateau 130 Volt, 140 Volt, 200 Volt, slope 22, 1912323 %/100 Volt, 21,89968314 %/100 Volt, 14,73835 %/100 Volt. Dari hasil penelitian untuk pembuatan dan peningkatan kinerja spesifikasi detektor Geiger Mueller dipilih dari material katode dari stainless steel mempunyai karakteristik yaitu panjang daerah tegangan plateau 200 Volt. dengan koefisien serapan linier stainless steel $(0,04057 \pm 0,0027) \text{ mm}^{-1}$.

Kata kunci : detektor GM, material katode, tegangan ambang, plateau, slope % per 100 Volt.

ABSTRACT

CATHODE MATERIAL EFFECTS ON THE CHARACTERISTICS OF GEIGER MUELLER DETECTORS SIDE WINDOWS TYPE. Research on the cathode material effect on the characteristics of Geiger Mueller detector side window with type aims to determine the cathode material in the manufacture of Geiger Mueller tube detector based on interaction with the nuclear radiation detector medium has been done. The procedures of the research was to determine the linier absorption coefficient and the manufacture of window type GM tube detector side with the variation of cathode such as material of brass, monel, and stainless steel as well as using 90 % argon gas filling and 10 % ethanol vapor. Furthermore, it was observed parameters that influence the characteristics Geiger Mueller detector includes the threshold Voltage, the length of plateau Voltage, slope% per 100 Volt. Linear absorption coefficient is calculated for a brass cathode material is $(0,15275 \pm 0,01099) \text{ mm}^{-1}$, monel $(0,36566 \pm 0,02295)$, stainless steel $(0,04057 \pm 0,0027) \text{ mm}^{-1}$. Geiger Mueller detector characteristic for cathode materials of brass, monel, and stainless steel are respectively threshold Voltage of 1030 Volt, 970 Volt and 1140 Volt, the length of plateau Voltage 130 Volt, 140 Volt and 200 Volt, slope 22, 1912323 %/100 Volt, 21,89968314 %/100 Volt and 14,73835 %/100 Volt. From the results of research as well as to manufacture and improved performance specifications of Geiger Mueller detector is selected from the cathode material of stainless steel which has a characteristic plateau voltage region 200 Volt with a linier absorption coefficient of stainless steel is $(0,04057 \pm 0,0027) \text{ mm}^{-1}$.

Keywords : GM detector, cathode material, threshold Voltage, plateau, slope % per 100 Volt.

PENDAHULUAN

Detektor radiasi nuklir adalah alat yang penting dalam bidang teknologi nuklir. Untuk rancang bangun detektor nuklir dibutuhkan pengetahuan tentang sifat dan jenis radiasi nuklir serta interaksinya dengan materi. Secara definisi radiasi

nuklir adalah zarah yang dipancarkan inti atom yang tidak stabil sebagai sumber radiasi. Pancaran zarah radiasi mempunyai energi kinetik tertentu. Zarah radiasi tersebut jika melalui medium energinya sebagian atau seluruhnya akan diserahkan pada medium yang dilaluinya. Perpindahan energi dari zarah radiasi kepada medium yang dilalui disebut

energi serap radiasi oleh materi. Mekanisme tentang penyerapan energi disebut interaksi radiasi dengan materi. Interaksi radiasi dengan materi bergantung pada jenis radiasi, energi, besarnya intensitas radiasi serta jenis materi penyerapnya. Adapun detektor radiasi nuklir bekerja berdasarkan interaksi radiasi nuklir dengan medium detektor. Hasil interaksinya akan menimbulkan gejala fisis yang mudah untuk diamati dan diteliti.

Dalam upaya meningkatkan kemampuan penguasaan teknologi mengenai detektor nuklir khususnya detektor Geiger Mueller telah dilakukan beberapa dekade lalu namun kinerjanya masih perlu ditingkatkan. Permasalahan yang selalu muncul dalam teknik membuat detektor Geiger Mueller selama ini adalah bahwa mempunyai umur relatif pendek, panjang plato pendek (daerah tegangan operasi), *slope* besar, tegangan operasi rendah. Kelemahan tentunya merupakan tantangan yang harus dicari solusinya. Umur pendek tersebut dimungkinkan karena adanya kebocoran sistem sambungan antara katode dan anode, tegangan operasi tinggi dimungkinkan karena tepatnya pemilihan jenis gas isian ataupun perbandingan tekanan total gas isian.

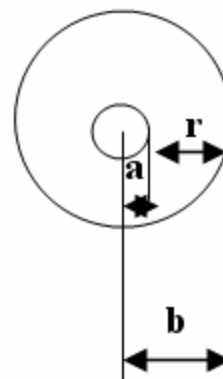
Berdasarkan masalah tersebut dalam upaya peningkatan spesifikasi kinerja detektor Geiger Muller dipandang perlu dilakukan penelitian untuk penentuan jenis material katode untuk tabung detektor Geiger Mueller yang terbaik berdasarkan koefisien serapan linier. Dalam kegiatan penelitian ini telah dilakukan pembuatan detektor Geiger Mueller tipe jendela samping dengan variasi material katode yaitu kuningan monel dan *stainless steel* serta gas isian menggunakan perbandingan 90 % Argon dan 10 % uap ethanol. Selanjutnya dilakukan penelitian efek material katode terhadap karakteristik detektor Geiger Mueller meliputi penentuan koefisiensi serapan linier material katode, tegangan ambang, panjang daerah tegangan plato, *slope* per 100 % dan *resolving time*. Diharapkan dari hasil penelitian ini dapat mendukung kegiatan penelitian peningkatan kinerja spesifikasi kinerja detektor Geiger Mueller yang akan digunakan untuk komponen sistem pencacah radiasi nuklir.

TEORI

Medan Listrik Dalam Tabung Detektor

Tabung detektor yang digunakan berbentuk silinder yang berporos konsentris. Jari-jari tabung bagian luarnya (katode) adalah b dan jari-jari kawat yang terbentang di bagian dalam (anode) adalah a . Dengan r adalah jari-jari tabung antara a dan b atau

$a < r < b$. Untuk lebih jelasnya dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Jari-jari tabung (r) antara a dan b .

Untuk detektor yang berbentuk silinder dengan pusat muatan adalah poros silinder dan jari-jari r serta beda potensial sebesar V pada jarak r , maka garis gaya yang menembus seluruh selimut silinder akan berbanding lurus dengan kuat medan listriknya $E_{(r)}$ dinyatakan dalam persamaan (1)^[1,4]

$$E_{(r)} = \frac{V_{(r)}}{r \ln \frac{b}{a}} \quad (1)$$

Dengan adanya beda potensial antara anoda dan katoda, maka timbul medan listrik yang dapat memisahkan pasangan ion dan elektron yang terbentuk. Ion positif bergerak ke arah katoda dan elektron bergerak ke arah anoda. Kecepatan gerak (w) ion dan elektron dinyatakan sebagai fungsi linier^[5,6]. Hubungan dengan tekanan total gas isian, maka persamaan (1) untuk bentuk silinder diformulasikan pada persamaan (2)^[5]:

$$W = \frac{\mu}{P} \frac{V}{r \cdot \ln \frac{b}{a}} \quad (2)$$

dengan W adalah kecepatan gerak ion, V tegangan antara anoda dengan katoda, b jari-jari katoda (cm), a jari-jari anoda (cm), r jari-jari tabung (cm), μ mobilitas ($\text{cm}/\text{secon})(\text{Volt}/\text{cm})^{-1}(\text{cmHg})$, dan P tekanan gas isian.

Koefisiensi Serapan Linier Bahan

Apabila foton γ menembus suatu materi, maka akan mengalami penurunan intensitas. Penurunan intensitas tersebut bersifat eksponensial dan mengikuti persamaan (3)^[1,3,4,5].

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (3)$$

dengan I adalah intensitas foton γ setelah menembus materi tabung detektor sebagai katode, I_0 intensitas foton γ sebelum menembus materi tabung detektor sebagai katode, μ koefisien serapan linier total, dan x tebal materi tabung detektor sebagai katode. Untuk menentukan koefisien serapan linier^[5,8], maka persamaan (3) menjadi

$$\frac{I_x}{I_0} = e^{-\mu x}$$

$$\ln \frac{I_x}{I_0} = -\mu x \text{ atau}$$

$$\ln \frac{I_0}{I_x} = \mu x \quad (4)$$

Hubungan antara $\ln \frac{I_x}{I_0}$ terhadap tebal bahan katode merupakan persamaan linier regresi $Y = A + B \cdot X$, maka koefisien serapan linier adalah $\mu = B$.

Karakteristik detektor Geiger Mueller

Detektor Geiger Mueller yang berfungsi sebagai alat deteksi zarah radiasi mempunyai beberapa karakteristik yaitu *plateau*, *slope*, *resolving time*, efisiensi dan umur detektor.

Plateau dan Slope detektor Geiger Mueller

Daerah tegangan operasi detektor Geiger Mueller disebut daerah *plateau*. Pada daerah *plateau* ini kenaikan tegangan antara anode dan

katode pada tabung detektor hampir tak mempengaruhi jumlah cacah yang dihasilkan. Panjang daerah *plateau* detektor Geiger Mueller mulai dari tegangan ambang sampai pada batas permulaan tegangan menyebabkan terjadinya lucutan yang terkendali. Panjang daerah *plateau* detektor Geiger Mueller adalah antara 50 sampai 300 Volt^[1].

Kurva daerah tegangan kerja (*plateau*) dari detektor Geiger Muller ditunjukkan pada Gambar 2.

Berdasarkan kurva hubungan tegangan operasi terhadap jumlah cacah, maka panjang daerah tegangan kerja (*plateau*) dapat dihitung dengan persamaan :

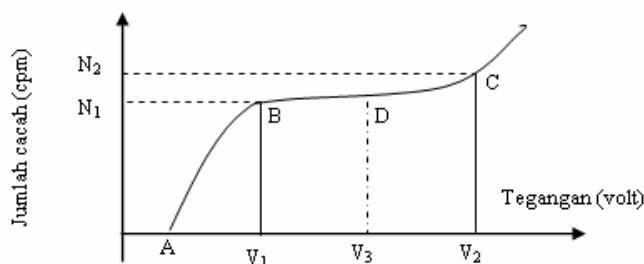
$$\text{Panjang plateau} = (V_2 - V_1) \quad (5)$$

dengan V_1 adalah tegangan ambang (*threshold Voltage*), V_2 tegangan ambang mulai lucutan (*break down discharge*).

Dalam pengoperasian detektor Geiger Mueller diberi tegangan pada tengah daerah *plateau*. Kemiringan daerah *plateau* juga perlu diketahui untuk melihat keandalan detektor Geiger Mueller disebut *slope*. Detektor Geiger Mueller dikatakan baik bila mempunyai daerah *plateau* yang panjang dan *slope* yang kecil. Besarnya *slope* dinyatakan dalam % per 100 Volt yang dapat ditentukan dengan persamaan^[4],

$$\text{slope} = \frac{100(N_2 - N_1)/N_1}{(V_2 - V_1)} \times 100\% \quad (6)$$

dengan N_1 adalah jumlah cacah per satuan waktu pada tegangan V_1 , N_2 jumlah cacah per satuan waktu pada tegangan V_2 , V_1 besar tegangan 1, V_2 besar tegangan 2.



Keterangan :

- A = tegangan awal (*starting Voltage*),
- B = tegangan ambang (*threshold Voltage*),
- C = tegangan batas, dimana mulai timbul lucutan yang tak terkendali.
- B-C = daerah tegangan kerja (*plateau*)
- D = seting tegangan operasi detektor Geiger Muller

Gambar 2. Kurva daerah tegangan kerja detektor GM.

TATA KERJA PENELITIAN

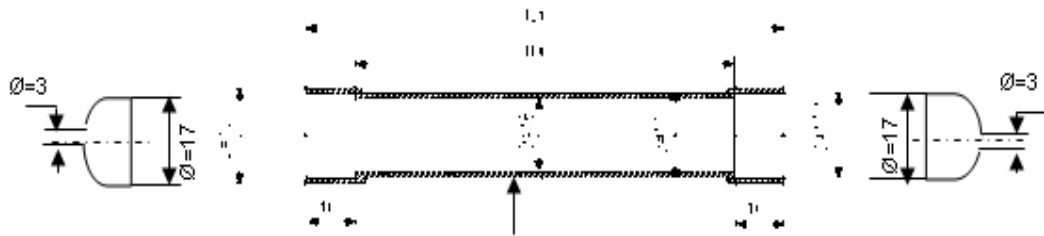
Pelaksanaan eksperimen diawali dengan menentukan koefisien serapan linier dari material katode yang akan digunakan untuk tabung detektor Geiger Mueller terhadap radiasi γ dengan cara menempatkan plat bahan tabung (katode) detektor dengan ketebalan tertentu dan melakukan pencacahan radiasi. Hasil dari penentuan koefisien serapan bahan katode untuk menghitung radiasi yang bisa lolos masuk ke tabung detektor. Dalam hal ini berkaitan faktor jendela yang berpengaruh terhadap sensitifitas detektor sehingga dapat diketahui material katode yang akan digunakan untuk tabung detektor Geiger Mueller.

Detektor yang dibuat direncanakan untuk mendeteksi radiasi γ , dengan tipe jendela samping isian gas 90 % argon dan 10 % uap ethanol. Sebagai bahan katode digunakan bahan kuningan, monel dan stainless steel dengan panjang 10 cm, diameter 16 mm dan tebal 0,05 mm, sedangkan anode digunakan kawat tunsten dengan diameter 0,25 mm. Bahan penutup samping digunakan pipa gelas dengan di lem menggunakan lem *expoxi* dan sebagai terminal anode digunakan kawat *fernico*.

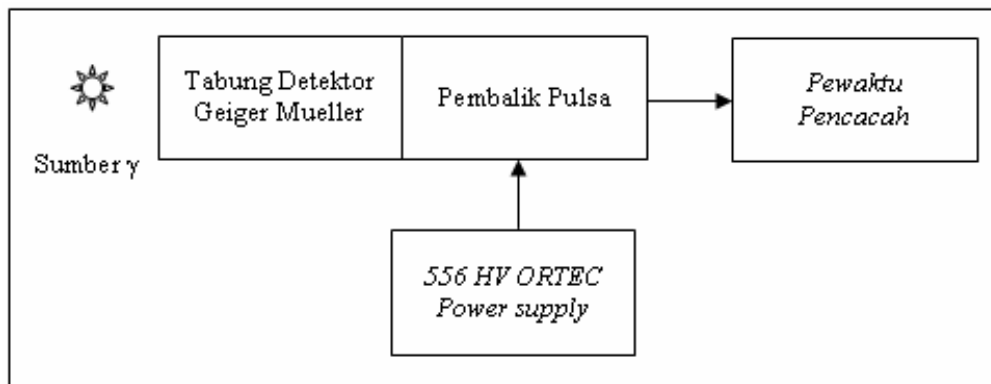
Pada Gambar 3. tampak tampak lintang detektor yang dibuat. Proses perakitan tabung detektor, bahan harus dicuci sampai bersih. Perakitan tabung detektor Geiger Mueller setelah dilakukan, selanjutnya tabung tersebut disambung pada sistem pengisian gas untuk proses pemvakuman dengan tingkat kevakuman sampai orde 10^{-6} torr. Tujuan pemvakuman tinggi untuk menjaga kebersihan tabung dan untuk mengetahui kemampuan tabung detektor cukup baik jika diisi dengan gas isian.

Jika proses pemvakuman dicapai pada 10^{-6} torr maka dilakukan proses pengisian gas isian dengan perbandingan tekanan 90 % argon dan 10 % uap ethanol. Setelah dipastikan kondisi gas isian homogen maka dilakukan pengujian awal digunakan untuk mendeteksi sumber γ . Perangkat uji detektor Geiger Mueller seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

Apabila detektor Geiger Mueller yang diuji telah memberikan respon yang baik ditinjau mulai dari tegangan awal dan diperkirakan panjang *plateau* dinyatakan baik. Selanjutnya tabung detektor Geiger Mueller dipotong dan dilakukan karakterisasi yang meliputi tegangan ambang, panjang daerah tegangan *plateau*, *slope* % per 100 Volt.



Gambar 3. Tampang lintang tabung detektor Geiger Mueller.



Gambar 4. Diagram kotak alat uji detektor Geiger Mueller.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan koefisien serapan linier dari masing-masing bahan katode tabung detektor berdasarkan persamaan (4) disajikan dalam bentuk Tabel 1.

Tabel 1. Koefisien serapan linier bahan katode tabung detektor GM.

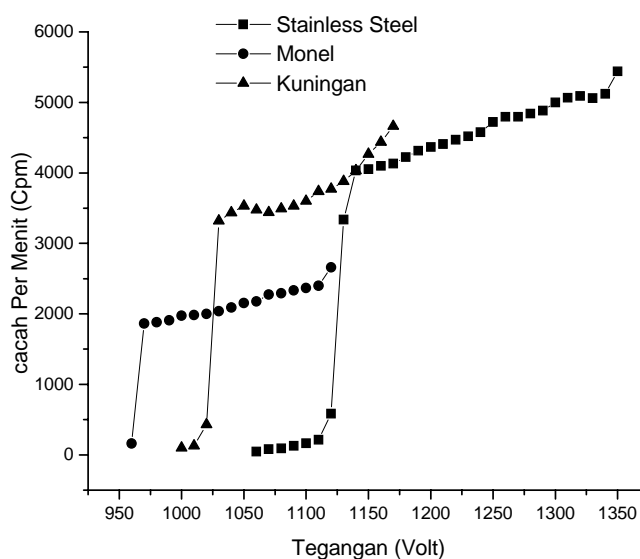
No.	Bahan katode	Koefisien serapan linier
1.	Monel	$(0,36566 \pm 0,02295) \text{ mm}^{-1}$
2.	Kuningan	$(0,15275 \pm 0,01009) \text{ mm}^{-1}$
3.	<i>Stainless steel</i>	$(0,04057 \pm 0,00277) \text{ mm}^{-1}$

Berdasarkan persamaan (4) nilai koefisien serapan linier terhadap intensitas radiasi γ yang menembus bahan katode adalah berbanding terbalik. Untuk koefisien serapan linier (μ) dari material katode *stainless steel* terkecil dibanding dengan material monel dan kuningan $(0,04057 \pm 0,00277) \text{ mm}^{-1}$, sehingga intensitas radiasi γ yang lolos masuk ke tabung detektor semakin besar. Semakin besar intensitas radiasi γ yang masuk ke tabung detektor maka akan menghasilkan cacah yang tinggi. Dengan mengasumsikan dari ketiga bahan katode tersebut mempunyai tebal dinding yang sama maka tabung dari bahan stainless steel akan mempunyai efisiensi dan sensitifitas yang lebih baik dibandingkan dengan material monel dan kuningan.

Dalam eksperimen pembuatan tabung detektor Geiger Mueller dari bahan pipa monel,

kuningan dan stainless steel sebagai katode dengan ukuran diameter 16 mm dan panjang daerah aktif 100 mm serta tunsten ukuran diameter 0,08 mm dengan gas isian 90% argon dan 10 % uap ethanol. Dari hasil pengujian detektor Geiger Mueller yang dibuat disajikan dalam bentuk kurva daerah tegangan kerja ditunjukkan pada Gambar 5.

Pada Gambar 5. terlihat bahwa perubahan tegangan awal untuk ketiga materi katode yaitu *stainless steel* mempunyai tegangan awal 1060 Volt, monel mempunyai tegangan awal 960 Volt dan kuningan mempunyai 1000 Volt. Jika ditinjau koefisien serapan linier dari material katode bahwa *stainless steel* mempunyai koefisien serapan linier yang paling kecil yaitu $(0,04057 \pm 0,00277) \text{ mm}^{-1}$. Koefisiensi serapan linier kecil, menyebabkan intensitas radiasi γ yang masuk ketabung detektor yang merupakan energi kinetik semakin besar, sehingga menyebabkan peningkatan kecepatan gerak-gerak atom gas isian. Fenomena ini terkait dengan gerak *Brown*, yaitu gerak acak partikel gas ke segala arah. Semakin besar ukuran partikel, semakin lambat gerak *Brown* yang terjadi dan sebaliknya, semakin kecil ukuran partikel, maka akan semakin cepat gerak *Brown* yang terjadi. Energi kinetik juga dapat mempengaruhi gerak *Brown*, jadi semakin tinggi intensitas radiasi γ , maka semakin besar energi kinetik yang dimiliki partikel untuk bergerak. Akibatnya, gerak *Brown* dari partikel-partikel semakin cepat, dan sebaliknya, semakin rendah intensitas radiasi γ , maka gerak *Brown* semakin lambat.



Gambar 5. Kurva daerah tegangan kerja detektor Geiger Mueller dengan variasi bahan katode dari monel, kuningan dan *stainless steel*.

Tegangan ambang merupakan tegangan minimal yang dibutuhkan oleh detektor untuk memulai proses ionisasi dimana ion-ion dan elektron sampai ke elektrode masing-masing sehingga terjadi pembentuk pulsa^[3]. Energi kinetik akibat intensitas radiasi γ yang besar menyebabkan pengumpulan elektron yang banyak sekali pada anoda. Akibat anoda diselubungi oleh muatan negatif menyebabkan peristiwa ionisasi berhenti karena gerak ion positif ke katoda atau dinding tabung menjadi lambat sehingga ion-ion ini dapat membentuk semacam lapisan positif pada permukaan tabung, keadaan yang demikian disebut efek muatan ruang^[7]. Untuk mengatasi efek muatan ruang agar terjadi suatu lucutan atau *avalanche* diperlukan tegangan yang besar.

Pada tegangan tertentu peristiwa terjadinya *avalanche* tidak tergantung lagi oleh jenis dan energi radiasi yang datang, namun masih sebanding dengan intensitas radiasi yang datang. Sehingga pulsa-pulsa listrik yang terjadi amplitudonya tidak tergantung oleh energi radiasi, tinggi amplitudo pulsa sama besar, hanya kuantitasnya yang sebanding dengan intensitas radiasi yang datang.

Karakteristik detektor Geiger Mueller yang disajikan pada Gambar 5. terlihat bahwa bahan katode kuningan untuk tabung detektor Geiger Mueller mempunyai daerah tegangan *plateau* 130 Volt dan *slope* 22, 1912223 % per 100 Volt dan bahan katode monel mempunyai daerah tegangan *plateau* 200 Volt dan *slope* 14,73835 % per 100 Volt serta bahan katode monel mempunyai daerah tegangan *plateau* 140 Volt dan *slope* 21,8968314 % per 100 Volt. Jika ditinjau dari daerah tegangan *plateau* dan pencacahan yang dihasilkan untuk ketiga bahan katode maka bahan katode *stainless steel* mempunyai karakteristik yang lebih baik dengan daerah tegangan daerah *plateau* yang panjang yaitu 200 Volt dan pencacahan rata-rata 4000 cacah per menit. Panjang *plateau* dimungkinkan umur detektor semakin panjang, hal ini penambahan cacah kumulatif akan mengakibatkan perubahan panjang *plateau* semakin lama. Hasil cacah yang dihasilkan merupakan faktor jendela dari detektor yang berhubungan erat dengan faktor koefisiensi serapan linier dari bahan katode yang digunakan, maka dengan hasil cacah yang besar dikaitkan detektor tersebut mempunyai efisiensi dan sensitifitas yang cukup baik.

Dalam upaya peningkatan spesifikasi kinerja detektor Geiger Mueller dipilih jenis gas isian halogen, diharapkan akan menurunkan daerah tegangan kerja detektor. Berkaitan dengan material katode yang digunakan untuk detektor Geiger Mueller yaitu kuningan, monel dan *stainless steel*.

Gas halogen mempunyai sifat sangat korosif maka material katode untuk tabung detektor Geiger Mueller dipilih *stainless steel* dengan pertimbangan tahan korosif terhadap gas halogen, disamping mempunyai koefisiensi serapan linier yang paling kecil sehingga besar intensitas radiasi γ yang lolos masuk ke dalam tabung detektor. Besar intensitas radiasi γ yang lolos menyebabkan cacah dihasilkan menjadi besar sehingga detektor mempunyai sensitifitas yang lebih baik.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian efek material katode terhadap karakteristik detektor Geiger Mueller dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Koefisiensi serapan linier terkecil ($0,04057 \pm 0,00277$) mm^{-1} terjadi pada material katode *stainless steel*, sehingga besar intensitas radiasi γ masuk kedalam tabung detektor Geiger Mueller mengakibatkan cacah yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan material katode monel dan kuningan.
2. Untuk tabung detektor Geiger Mueller dengan material katode *stainless steel* mempunyai tegangan ambang yang besar dibandingkan dengan material katode monel dan kuningan yaitu 1060 Volt, hal ini disebabkan oleh intensitas radiasi γ masuk kedalam tabung detektor Geiger Mueller yang berkaitan energi kinetik besar mengakibatkan efek muatan ruang sehingga untuk terjadinya *avalanche* diperlukan tegangan lebih besar.
3. Dari ketiga material katode untuk tabung detektor Geiger Mueller mempunyai karakteristik yang paling baik adalah tabung detektor dengan material katode *stainless steel* dengan daerah panjang tegangan *plateau* 200 Volt, tegangan ambang 1060 Volt dan *slope* 14 % per 100 Volt sehingga dengan mempertimbangkan sifat-sifat bahan tahan korosif maka tabung detektor Geiger Mueller dapat ditingkatkan dengan mengganti jenis gas isian dengan gas halogen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya penelitian ini kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Drs. Tjipto Sujitno, MT., Bapak Sumarmo dan seluruh staf kelompok Pengembangan Aplikasi Akselerator atas segala bantuan yang telah diberikan

DAFTAR PUSTAKA

1. E. FEYVES AND O. HAIMAN, *The Physical Principles of Nuclear Radiation Measurement*, Academisi Kiado, Budapest, (1969) 219-235.
2. PETER SOEDOJO, *Azas-Azas Ilmu Fisika Jilid 4 Fisika Modern*, FMIPA-UGM, Gajah Mada Press Yogyakarta, Edisi 1 (2001) 226-232.
3. KNOLL, GLENN F., *Radiation Detection and Measurement*, John Wiley & Sons, Inc, New York, (2000) 41-42.
4. NICHOLAS TSOULFANIDIS, *Measurement and Detection of Radiation*, University of Missouri-Rolla, New York USA, (1983) 169-177.
5. PRICE, W.J., *Nuclear Radiation Detection*, second Edition, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1964, Hal. 1-28, 41-49,73
6. ROLF MICHEL, *Radiation Measurement Method – A part of Nuclear Analytical Techniques*, ZSR, Leibniz Univitet, Hanover
7. WISNU ARYA W., *Teknologi Nuklir, Proteksi Radiasi dan Aplikasinya*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2007, Hal. 209-121

8. DWI PRIYANTORO, *Petunjuk Praktikum Alat Deteksi dan Pengukuran Radiasi : Penahan Radiasi Nuklir*, STTN,BATAN,1999

TANYA JAWAB**Syarip**

- Apakah sudah diuji (*endurance test*), sampai berapa lama bisa stabil keluarannya?
- Berapa kira-kira harga jual dari detektor GM ini?
- Apakah untuk produksi masal sudah dikaji (misal 100 detektor sekaligus).

Irianto

- Sudah diuji (*endurance test*), sampai 6 bulan hingga sekarang masih hidup.
- Harga jual detektor GM sekitar Rp. 2,5 juta.
- Belum dilakukan, bila diijinkan dan dibiayai penelitian akan dilanjutkan.