

PENGARUH DIAMETER KATODA TERHADAP KARAKTERISTIK DETEKTOR GEIGER-MUELLER TIPE END WINDOW

Sayono, Irianto, Wiwien Andriyanti

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan-BATAN

Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 ykbb Yogyakarta 55281

E-mail: ptapb@batan.go.id

ABSTRAK

PENGARUH DIAMETER KATODA TERHADAP KARAKTERISTIK DETEKTOR GEIGER-MUELLER TIPE END WINDOW. Telah dilakukan penelitian pengaruh diameter katoda terhadap karakteristik detektor Geiger-Mueller tipe end window dengan cara bervariasi ukuran diameter katoda. Tujuan penelitian ini untuk memperoleh karakteristik optimum dari detektor Geiger-Mueller tipe end window. Karakteristik detektor Geiger-Mueller meliputi plateau, tegangan operasi, slope dan resolving time. Tabung detektor terbuat dari stainless steel dengan ukuran diameter katoda divariasi dari 11 mm, 16 mm dan 22 mm. Anoda terbuat dari kawat tungsten dengan ukuran diameter 0,5 mm, panjang 40 mm dan tutup jendela (window) terbuat dari mica sheet dengan ketebalan 0,1 mm, diameter sesuai dengan diameter tabung bagian luar. Gas isian yang digunakan adalah gas argon dan bromine dengan perbandingan tekanan 99 : 1 mmHg. Dari hasil penelitian diperoleh karakteristik optimum dengan panjang plateau 120 volt, tegangan operasi 860 volt, slope 8,5%/100 volt dan resolving time $2,5 \times 10^{-7}$ detik, kondisi ini dicapai pada detektor Geiger-Mueller tipe end window berdiameter katoda 16 mm.

Kata Kunci: detektor Geiger-Mueller tipe end window, pemadam, diameter katoda, plateau, slope, resolving time

ABSTRACT

EFFECT OF CATHODE DIAMETER ON CHARACTERISTICS OF END-WINDOW TYPE GEIGER-MUELLER DETECTOR. The research on the diameter influence on the characteristics of the cathode end-window type Geiger-Mueller detector has been constructed by way of cathode diameter variation. The research objective is to obtain optimum characteristics of end-window type Geiger-Mueller detectors. Geiger-Mueller detector characteristics include the plateau, operating voltage, slope and resolving time. Detector tube is made of stainless steel with a diameter of cathode varied from 11 mm, 16 mm and 22 mm. The anode is made of tungsten wire with a diameter of 0.5 mm, length 40 mm and the window is made of mica sheet with a thickness of 0.1 mm, the diameter according to the diameter of the outer tube. Filled gases are argon and bromine with pressure ratio 99:1 mmHg. From the results obtained that the optimum characteristics are plateau 120 volt, 860 volt of operating voltage, slope 8.5%/100 volts and 2.5×10^{-7} s of resolving time detector with 16 mm of diameter cathode, this condition was achieved for end-window Geiger-Mueller detector.

Keyword: end-window Geiger-Mueller detectors, quenching, cathode diameter, plateau, slope, resolving time

PENDAHULUAN

Radiasi merupakan cara perambatan energi dari sumber ke lingkungannya tanpa membutuhkan medium. Jika radiasi mengenai bahan maka akan terjadi interaksi baik secara ionisasi, eksitasi, efek fotolistrik, hamburan Compton maupun produksi berpasangan. Interaksi-interaksi yang terjadi tergantung pada besar energi radiasi dan nomor atom (Z) medium. Gejala radiasi tersebut oleh detektor diubah menjadi gejala listrik yang menghasilkan sinyal/pulsa listrik. Detektor radiasi nuklir terdiri dari beberapa jenis yaitu detektor isian gas, sintilasi, semikonduktor dan neutron^[1]. Detektor Geiger-Mueller (GM) merupakan satu di antara dari detektor

jenis isian gas yang memanfaatkan gas sebagai medium aktif untuk berinteraksi dengan radiasi.

Berdasarkan tempat masuknya radiasi, detektor GM terbagi menjadi dua tipe yaitu, tipe *side window* dan *end window*^[2]. Detektor GM mempunyai beberapa keunggulan diantaranya sensitifitas tinggi terhadap radiasi dan menghasilkan pulsa listrik dalam orde volt sehingga tidak membutuhkan penguat awal maupun penguat untuk memperkuat sinyal keluaran detektor. Namun demikian detektor Geiger-Mueller tidak dapat mengetahui besarnya energi radiasi, sehingga detektor ini tidak dapat digunakan untuk spektroskopi nuklir.

Oleh karena keterbatasan detektor GM di pasar dalam negeri dan semakin berkembangnya teknologi nuklir, maka perlu dikembangkan dan dikuasai teknologi pembuatan detektor GM. Permasalahan yang selalu muncul dalam proses pembuatan detektor Geiger-Mueller sebelumnya adalah tentang karakteristik yang menentukan kualitas dari detektor yaitu: panjang *plateau* (daerah tegangan operasi) pendek, *slope* besar dan tegangan operasi tinggi. Kelemahan ini merupakan permasalahan yang harus dicari solusi/ penyelesaiannya dalam penelitian selanjutnya, agar diperoleh peningkatan unjuk kerja detektor yang lebih baik. Karakteristik detektor Geiger-Mueller yang baik apabila memiliki panjang *plateau* (100 volt), *slope* kecil (10%/100 volt) dan tegangan operasi kecil (< 1000 volt) [3].

Karakteristik detektor Geiger-Mueller dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu bentuk geometri, jenis bahan, gas isian, jendela (*window*) tekanan vakum dan perbandingan tekanan gas isian [4]. Geometri merupakan salah satu faktor yang mendukung konstruksi detektor dan parameter yang sangat penting. Geometri detektor Geiger-Mueller meliputi, diameter katoda, diameter anoda dan panjang daerah aktif. Semakin besar diameter katoda dan anoda maka akan dibutuhkan energi yang besar pula, dengan kata lain semakin besar diameter katoda maka akan diperlukan tegangan operasi yang semakin tinggi [5,6].

Tujuan penelitian ini adalah melakukan pembuatan detektor Geiger-Mueller tipe *end window* dengan cara memvariasi ukuran diameter katoda yang merupakan tabung detektor agar diperoleh karakteristik yang optimum. Adapun ukuran diameter katoda masing-masing 11 mm, 16 mm dan 22 mm, sedangkan diameter anoda 0,5 mm dan panjang daerah aktifnya 40 mm bernilai konstan, serta jendela (*window*) terbuat dari *mica sheet* dengan tebal 0,1 mm dan diameter disesuaikan dengan diameter katoda/tabung detektor. Katoda dan anoda masing-masing terbuat dari *stainless steel* dan kawat tungsten. Dipilih bahan tersebut karena detektor menggunakan gas isian halogen (*bromine*) sebagai gas peredam (*quenching*) yang bersifat sangat reaktif dan korosif terhadap bahan katoda dan anoda, sedang sebagai gas utama digunakan gas argon dengan perbandingan terhadap gas *quenching* (*bromine*) sebesar 99%:1%.

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat dikuasainya teknologi dan cara pembuatan detektor Geiger-Mueller tipe jendela ujung (*end window*), yang diharapkan dapat mendukung kegiatan litbang teknologi nuklir.

DASAR TEORI

Detektor Geiger-Mueller bekerja berdasarkan prinsip ionisasi. Radiasi yang masuk dalam tabung

detektor bertumbukan dengan gas dan terjadi ionisasi yang menghasilkan pasangan elektron-ion. Pasangan elektron-ion tersebut mendapatkan tambahan energi kinetik dari medan listrik yang ditimbulkan oleh perbedaan tegangan antara anoda dan katoda sehingga elektron dan ion akan bergerak ke elektroda masing-masing. Untuk detektor yang berbentuk silinder dengan pusat muatan adalah poros 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) [6]

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

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

dengan, W = kecepatan gerak ion (cm/second), V = tegangan antara anoda dengan katoda (volt), b = jari-jari katoda (cm), a = jari-jari anoda (cm), r = jari-jari tabung (cm), μ = mobilitas (cm/second)(volt/cm)⁻¹(cmHg) dan P = tekanan gas isian.

Ketika elektron bergerak ke anoda, elektron menumbuk gas lain sehingga menghasilkan pasangan elektron ion lagi dan seterusnya hingga energi cukup untuk melakukan ionisasi tersier. Karena ionisasi yang terjadi terus menerus sehingga menghasilkan pasangan elektron-ion yang sangat banyak yang sering disebut dengan *avalanche* (banjir elektron). Pengumpulan elektron di sepanjang anoda dikeluarkan melewati tahanan sehingga timbul denyut listrik. Setelah terjadinya *avalanche* ion bergerak ke katoda dengan menyerahkan energi kinetiknya untuk mengeluarkan elektron dari permukaan katoda. Elektron tersebut dapat memicu terjadinya *avalanche* tak terkendali. Oleh karena itu, dibutuhkan peredam untuk mengendalikan terjadinya *avalanche*. Salah satu cara untuk mengendalikannya dengan menambahkan gas peredam (*quenching*) dalam tabung seperti gas poliatom dan halogen [7].

Karakteristik Detektor

Untuk mengetahui kualitas suatu detektor dapat diketahui dari spesifikasi teknik (Spektek) yang diperoleh melalui uji karakteristik dari detektor tersebut. Karakteristik detektor Geiger-Mueller meliputi panjang *plateau*, tegangan operasi, *slope*, *resolving time*, efisiensi dan umur detektor.

Plateau merupakan daerah tegangan kerja detektor Geiger-Mueller yang besarnya dapat ditentukan dari V_2 - tegangan ambang mulai lucutan dikurangi V_1 = tegangan ambangnya seperti pada persamaan:

$$Plateau(P) = V_2 - V_1 \quad (3)$$

Tegangan operasi adalah tegangan yang digunakan untuk mengoperasikan detektor Geiger-Mueller. Besar tegangan operasi dapat diperoleh dari atau $\frac{1}{2}$ panjang *plateau*, seperti ditunjukkan pada persamaan:

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (4)$$

Slope merupakan kemiringan *plateau* (daerah mendatar) dan besarnya diformulasikan sebagai^[8]:

$$\text{Slope} = \frac{100(N_2 - N_1)/N_1}{(V_2 - V_1)} \times 100\% \quad (5)$$

Resolving time merupakan waktu minimum yang dibutuhkan detektor untuk dapat mencacah radiasi yang datang berikutnya karena sedang melakukan pencacahan pada radiasi yang datang sebelumnya. Besar *resolving time* dirumuskan^[9]:

$$\tau = \frac{N_1 + N_2 - N_{12} - N_{bcg}}{N_{12} - N_1 - N_2} \quad (6)$$

dengan N_1 = jumlah cacah sumber 1, N_2 = jumlah cacah sumber 2, N_{12} = jumlah cacah sumber 1 dan 2, N_b = jumlah cacah latar.

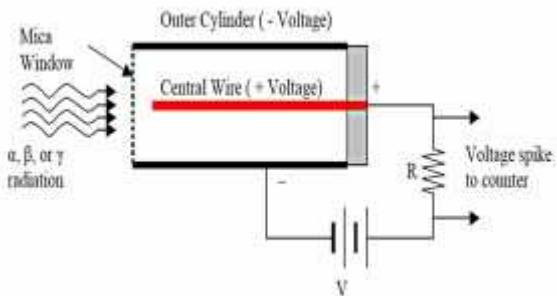
METODE PENELITIAN

Dalam penelitian pengaruh diameter katoda terhadap karakteristik detektor Geiger-Mueller (GM) tipe *end window* ini, diharapkan detektor yang dibuat mempunyai karakteristik yang optimum yakni panjang *plateau* di atas 100 volt, *slope* kurang dari 10% per 100 volt, tegangan operasi kurang dari 1000 volt, *resolving time* dalam orde puluhan mikrodetik dan sensitif terhadap radiasi. Agar diperoleh karakteristik yang optimum, maka perlu dilakukan perancangan, pemilihan bahan dan jenis gas isian dengan perbandingan yang tepat serta tabung detektor mempunyai tingkat kevakuman tinggi sebelum gas isian dimasukkan. Pada penelitian ini dilaksanakan dengan beberapa tahapan yakni tahap persiapan dan perancangan, pelaksanaan, pengolahan data dan analisis hasil.

Tahap persiapan meliputi studi pustaka, perancangan dengan pembuatan skema detektor Geiger-Mueller tipe *end window* seperti ditunjukkan pada Gambar 1, kemudian pembuatan gambar detail disain dari komponen detektor Geiger-Mueller tipe *end window* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, kemudian dilanjutkan pemilihan bahan dan persiapan alat.

Dalam pemilihan bahan dan gas isian detektor agar terpenuhi karakteristik yang diinginkan, maka digunakan gas isian detektor yang terdiri dari gas halogen (*bromine*) sebagai peredam (*quenching*) dan argon sebagai gas utama, pemilihan kedua gas tersebut didasarkan pada rendahnya potensial ionisasi

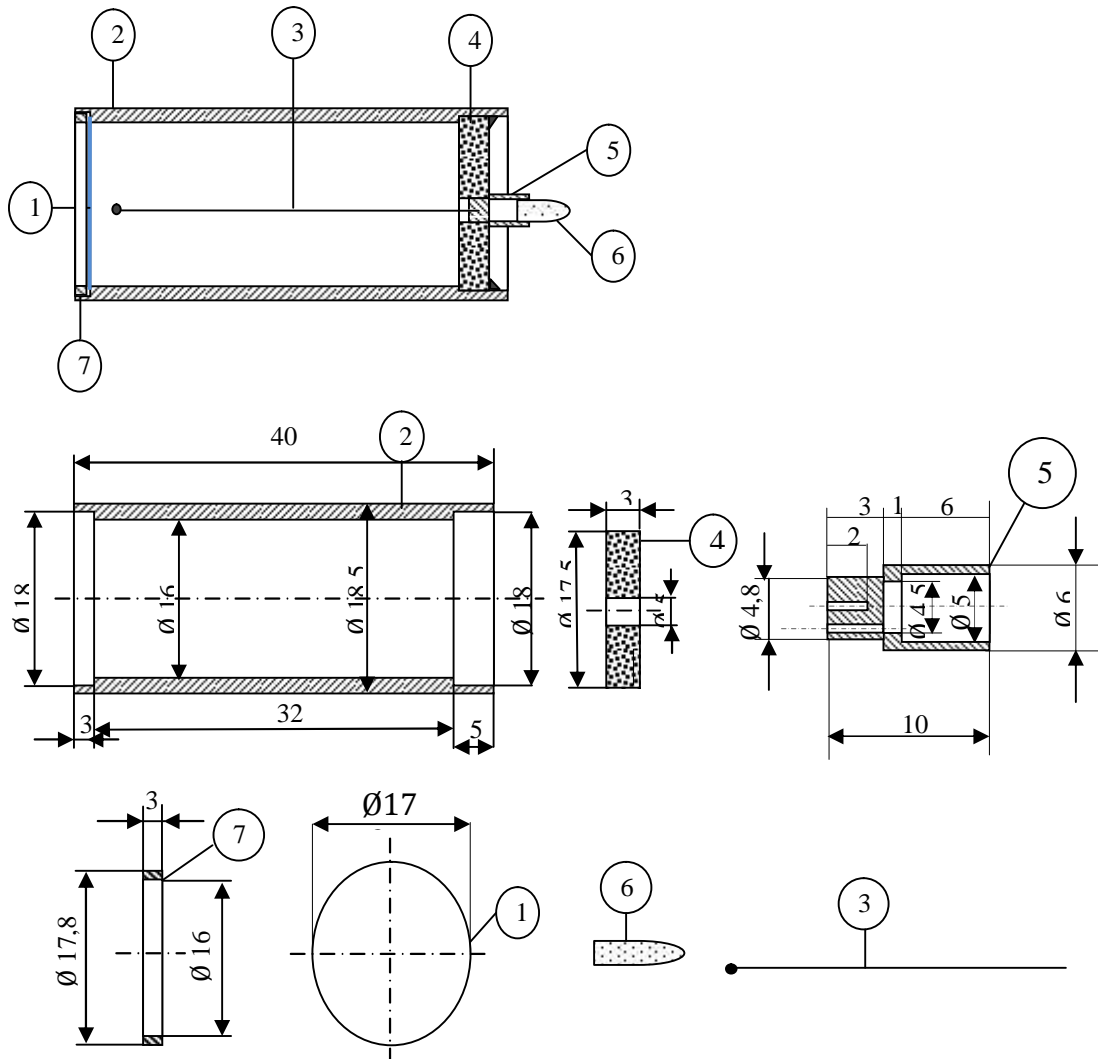
yakni 12,7 eV untuk *bromine* dan 15,7 eV untuk argon.^[5,7] Namun gas *bromine* memiliki sifat sangat reaktif dan korosif terhadap komponen detektor, sehingga untuk komponen detektor dipilih bahan selain tahan vakum tinggi juga harus tahan terhadap korosi. Seperti katoda, terminal untuk tempat anoda dan saluran gas dipilih *stainless steel* (SS), anoda dari tungsten dan tutup belakang detektor dari bahan kaca atau keramik, kemudian agar detektor memiliki sensitifitas yang tinggi terhadap radiasi maka digunakan jendela/*window* dari mika dengan tebal 0,1 mm.



Gambar 1. Skema Detektor Geiger-Mueller tipe *end window*^[10]

Tahap pelaksanaan meliputi pembuatan komponen detektor, preparasi/pencucian, perakitan komponen, pemvakuman dan pengisian gas pada detektor, pengujian awal dan pengujian akhir. Pembuatan komponen detektor terdiri tabung detektor sebagai katoda, anoda, terminal dudukan anoda dan saluran gas, *window* dan tutup belakang detektor dan untuk diameter katoda 16 mm ukurannya mengacu pada Gambar 2, sedangkan untuk detektor dengan diameter katoda 11 mm dan 22 mm, gambar detailnya terlihat seperti Gambar 2, tetapi ukurannya menyesuaikan. Komponen detektor yang telah dibuat kemudian dilakukan preparasi/dicuci memakai ultrasonik sehingga kotoran dan lemak yang melekat pada komponen akan digetarkan hingga bersih. Selanjutnya komponen detektor dirakit menggunakan *Epoxy Mix type super strength epoxy adhesive* hingga diperoleh tabung detektor Geiger-Mueller tipe *end window* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabung detektor hasil rakitan kemudian disambungkan pada sistem unit vakum dan pengisian gas dengan menggunakan pompa rotary dan difusi untuk dilakukan uji kebocoran tabung. Bila terjadi kebocoran maka dilakukan perbaikan hingga diperoleh kevakuman yang tinggi (10^{-5} s/d 10^{-6} Torr), kemudian dilakukan pengisian gas pada tabung detektor menggunakan gas argon dan *bromine* dengan perbandingan 99%:1%



Keterangan :

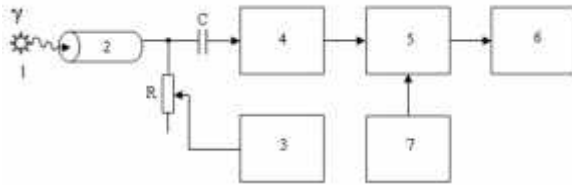
- | | |
|-----------------------|------------------------------|
| 1. Window/ mika | 5. Tempat anoda/ SS |
| 2. Tabung/ Katoda/ SS | 6. Saluran vakum/ pipa gelas |
| 3. Anoda/ tungsten | 7. Ring tabung/ SS |
| 4. Tutup tabung/ kaca | |

Gambar 2. Detail disain komponen detektor Geiger-Mueller tipe *end window*



Gambar 3. Tabung detektor Geiger-Mueller tipe *end window* dengan diameter 11 mm, 16 mm dan 22 mm

Terhadap detektor yang telah terisi gas dilakukan uji fungsi awal untuk mengetahui ada dan tidaknya respon detektor terhadap radiasi yang datang. Untuk melakukan uji fungsi tersebut diperlukan peralatan/instrumentasi nuklir yang diinstal sesuai blok digram seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Keterangan :

1. Sumber radiasi
2. Detektor Geiger-Mueller tipe *end window*
3. Sumber tegangan tinggi
4. Pembalik pulsa (*inverter*)
5. Pencacah (*counter*)
6. Osiloskop
7. Pengala (*timer*)

Gambar 4. Skema blok sistem uji detektor Geiger-Mueller

Berdasarkan data hasil uji fungsi awal, jika hasil baik (detektor dapat membedakan ada atau tidaknya sumber radiasi), maka dilanjutkan uji fungsi akhir untuk mengetahui karakteristik detektor meliputi panjang *plateau*, *slope*, tegangan operasi dan *resolving time* detektor. Ini dilakukan dengan cara pencacahan terhadap variasi tegangan detektor dari tegangan ambang batas bawah mulai terjadinya cacah sampai dengan tegangan ambang batas atas sebelum terjadi *avalanche*.

Hasil data dari pengujian akhir, kemudian diolah menggunakan Microsoft Excel 2010 dan dibuat grafik variasi tegangan terhadap jumlah cacah per menit menggunakan Origin 6.0. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui panjang *plateau*, tegangan operasi dan *slope* dari masing-masing detektor. Selanjutnya dari tegangan operasi yang diperoleh dari masing-masing detektor hasil variasi diameter katoda digunakan sebagai tegangan acuan dalam mengoperasikan detektor untuk menentukan *resolving time*. Untuk menentukan *resolving time* detektor dilakukan dengan metode pencacahan dua sumber yang sama, kemudian dilakukan secara bergantian dan bersama (sumber 1 menghasilkan cacah N_1 , sumber 1 dan 2 dicacah bersama-sama menghasilkan cacah N_{12} dan sumber2 menghasilkan cacah N_2 dalam satuan cacah per menit (cpm), kemudian nilai *resolving time*, dihitung menggunakan persamaan (6). Dengan diketahuinya karakteristik masing-masing detektor hasil dari variasi diameter katoda, maka dapat dipilih detektor Geiger-Mueller tipe *end window* yang memiliki karakteristik optimum.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengaruh tegangan terhadap jumlah cacah detektor Geiger-Mueller tipe *end window* untuk variasi diameter katoda 11 mm, 16 mm dan 22 mm ditunjukkan pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3. Dalam bentuk grafik data pencacahan sebagai fungsi tegangan dari ketiga detektor Geiger-Mueller tipe *end window* dari variasi diameter katoda disajikan pada Gambar 5.

Tabel 1. Pengaruh tegangan terhadap jumlah cacah pada detektor Geiger-Mueller tipe *end window* berdiameter katoda 11 mm

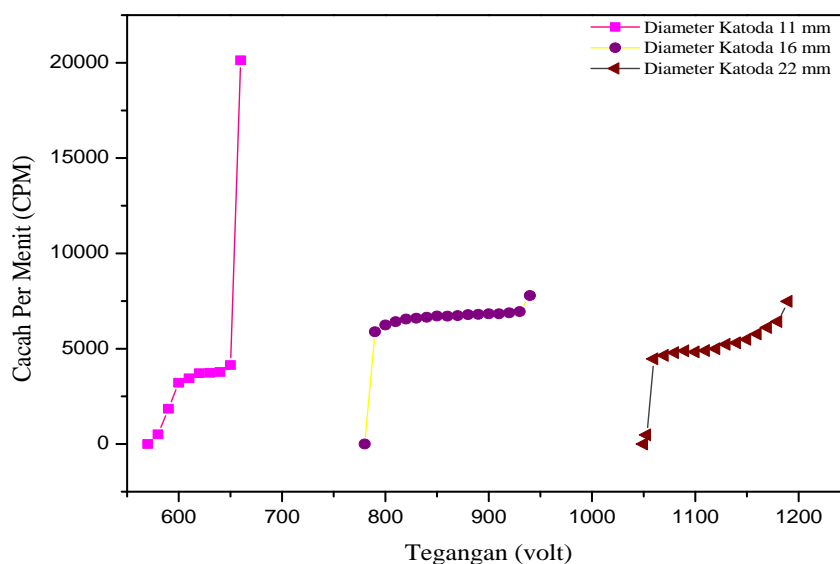
Tegangan (volt)	Hasil cacah dengan sumber Cesium-137 (cpm)				Hasil cacah tanpa sumber (cpm)			
	N_1	N_2	N_3	N_{12}	N_1	N_2	N_3	N_{12}
570	0	0	0	0	0	0	0	0
580	508	512	510	510	38	47	50	45
590	1856	1846	1851	1851	96	102	99	99
600	3207	3223	3218	3216	96	94	98	96
610	3442	3450	3446	3446	95	99	97	97
620	3707	3720	3724	3717	68	65	62	65
630	3746	3738	3730	3738	56	60	55	57
640	3775	3784	3778	3779	89	87	85	87
650	4100	4177	4143	4140	96	99	93	96
660	20103	20125	20156	20128	144	159	171	158

Tabel 2. Pengaruh tegangan terhadap jumlah cacah pada detektor Geiger-Mueller tipe *end window* berdiameter katoda 16 mm

Tegangan (volt)	Hasil cacah dengan sumber Cesium-137 (cpm)				Hasil cacah tanpa sumber (cpm)			
	N ₁	N ₂	N ₃		N ₁	N ₂	N ₃	
780	0	0	0	0	0	0	0	0
790	5879	5886	5896	5887	2	1	3	2
800	6245	6236	6254	6245	2	6	4	4
810	6415	6445	6394	6418	40	43	46	43
820	6543	6556	6560	6553	47	42	46	45
830	6603	6601	6605	6603	56	54	52	54
840	6640	6648	6656	6648	52	50	48	50
850	6654	6736	6755	6715	50	53	56	53
860	6705	6703	6710	6706	56	58	63	59
870	6734	6738	6742	6738	62	60	58	60
880	6782	6785	6788	6785	59	57	61	59
890	6805	6803	6801	6803	62	59	56	59
900	6828	6830	6832	6830	59	60	61	60
910	6830	6830	6836	6832	63	61	60	61
920	6883	6885	6887	6885	62	62	65	63
930	6949	6948	6950	6949	66	64	68	66
940	7755	7816	7816	7787	69	69	72	70

Tabel 3. Pengaruh tegangan terhadap jumlah cacah pada detektor Geiger-Mueller tipe *end window* berdiameter katoda 22 mm

Tegangan (volt)	Hasil cacah dengan sumber Cesium-137 (cpm)				Hasil cacah tanpa sumber (cpm)			
	N ₁	N ₂	N ₃		N ₁	N ₂	N ₃	
1050	0	0	0	0	0	0	0	0
1053	478	482	486	482	0	0	0	0
1060	4464	4470	4467	4467	0	0	0	0
1070	4655	4651	4650	4652	1	3	2	2
1080	4796	4786	4803	4795	24	29	28	27
1090	4875	4885	4898	4886	25	24	23	24
1100	4862	4830	4804	4832	30	33	27	30
1110	4888	4902	4916	4902	24	21	33	26
1120	4994	4986	5008	4996	30	28	32	30
1130	5226	5230	5240	5232	30	32	34	32
1140	5307	5300	5320	5309	28	30	26	28
1150	5470	5492	5517	5493	29	28	33	30
1160	5760	5772	5784	5772	30	32	34	32
1170	6104	6116	6128	6116	32	30	28	30
1180	6414	6424	6428	6422	29	30	28	29
1190	7446	7486	7520	7484	36	38	40	38



Gambar 5. Karakteristik detektor Geiger-Mueller tipe *end window* dengan diameter katoda 11 mm, 16 mm dan 22 mm

Berdasarkan grafik hubungan tegangan terhadap hasil cacah yang ditunjukkan pada Gambar 5 diperoleh data karakteristik detektor meliputi panjang *plateau*, tegangan operasi dan *slope*. Untuk menentukan panjang *plateau* dihitung menggunakan persamaan (3), tegangan operasi dihitung dengan persamaan (4) dan *slope* dihitung menggunakan persamaan (5). Hasil perhitungan panjang *plateau*, tegangan operasi dan *slope* dari variasi diameter katoda detektor Geiger-Mueller tipe *end window* tersebut disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan panjang *plateau*, tegangan operasi dan *slope* untuk variasi diameter katoda 11 mm, 16 mm dan 22 mm.

Diameter katoda (mm)	Panjang <i>plateau</i> (volt)	Tegangan operasi (volt)	<i>Slope</i> (%/100 volt)
11	40	620	43,7
16	120	860	8,5
22	100	1110	29,2

Dari hasil pengukuran karakteristik detektor Geiger-Mueller tipe *end window* seperti ditunjukkan pada Tabel 4 diperoleh bahwa detektor Geiger-Mueller yang dibuat dengan diameter katoda berukuran 11 mm mempunyai tegangan operasi yang lebih rendah (620 volt) dibandingkan dengan diameter yang lebih besar yakni diameter tabung 16 mm dengan tegangan operasi 860 volt dan untuk diameter 22 mm mempunyai tegangan operasi 1110 volt. Hasil ini menunjukkan bahwa tegangan operasi dipengaruhi oleh faktor geometri detektor dalam hal ini khususnya diameter katoda (tabung detektor). Diameter katoda yang semakin besar berarti akan menambah jarak antara anoda dengan katoda (r) juga

semakin besar, akibatnya untuk mendorong gerak pasang elektron-ion hasil proses ionisasi dapat mencapai ke elektrodanya yaitu elektron menuju anoda dan ion menuju katoda, maka diperlukan tambahan energi kinetik dari luar yakni dengan menaikkan tegangan yang semakin besar. Sebaliknya diameter katoda yang semakin kecil, maka jarak antara anoda dan katoda juga semakin kecil sehingga energi yang dibutuhkan untuk mendorong gerak pasang elektron-ion menuju ke elektroda masing-masing juga semakin kecil pula, hal ini sesuai dengan pendapat Tsoulfanidis dan Nicholas serta Price, William J.^[6,7], yang menyatakan bahwa untuk detektor yang berbentuk silinder dengan pusat muatan adalah poros 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 pada persamaan (1).

Tegangan operasi detektor selain dipengaruhi oleh faktor geometri (diameter katoda dan anoda) juga dipengaruhi oleh jenis gas isian, kemurnian gas dan ketepatan perbandingan tekanan gas isian detektor. Dalam pembuatan detektor ini digunakan gas halogen (*bromine*) sebagai gas peredamnya sehingga diperoleh tegangan operasi yang lebih rendah (860 volt atau < 1000 volt), hal ini terjadi karena gas halogen mempunyai sifat reaktif dan potensial ionisasi yang rendah 12,7 eV sehingga dengan energi/catu daya yang rendah telah mampu membangkitkan pulsa listrik yang berasal dari hasil proses ionisasi, ini sesuai dengan pendapat Harshaw^[8] yang menyatakan bahwa detektor Geiger-Mueller yang menggunakan gas halogen (Br, klor) sebagai gas pemadam dapat menghasilkan tegangan operasi sekitar 600–850 volt.

Keuntungan lain pemakaian gas *bromine* (Br) adalah dapat memperpanjang umur detektor karena atom Br setelah menyerap energi foton sinar ultraviolet untuk berasosiasi menjadi Br^+ dan Br^- . Jika keduanya bertemu akan mengalami rekombinasi atau bergabung kembali membentuk atom Br, kembali ke asalnya sehingga volume gas Br di dalam tabung detektor akan tetap dan berfungsi sebagai pengendali muatan agar tidak terjadi *avalanche* yang berkepanjangan dalam tabung detektor. Menurut Wisnu Arya Wardhana^[9], detektor Geiger-Mueller yang menggunakan gas halogen mempunyai umur yang tidak dibatasi jumlah cacah yang dihasilkan oleh detektor, tetapi umur dipengaruhi apakah keadaan katoda dan anodanya sudah rusak termakan oleh gas halogen atau belum. Namun demikian pemakaian gas halogen juga mempunyai kelemahan karena selain beracun juga sangat reaktif sehingga dalam pembuatan komponen detektor Geiger-Mueller perlu dipilih bahan yang tahan terhadap sifat tersebut dan sulitnya untuk memasukkan gas tersebut ke dalam tabung detektor karena jumlahnya sedikit hanya 1% sehingga perlu ketelitian dan mengalami sesak nafas bila gas *bromine* terhirup.

Plateau dan Slope

Plateau detektor merupakan parameter penting yang menentukan karakteristik detektor Geiger-Mueller. Detektor yang memiliki *plateau* lebih panjang maka menunjukkan bahwa detektor tersebut memiliki karakteristik yang lebih baik pula, hal ini sesuai dengan pendapat Harshaw^[8] yang menyatakan bahwa kualitas detektor Geiger-Mueller dikatakan baik jika mempunyai panjang *plateau* ≥ 100 V dengan *slope* ≤ 10 % per 100 volt. Dari hasil penelitian variasi diameter katoda diperoleh panjang *plateau* optimum sebesar 120 volt, ini dicapai pada detektor dengan diameter 16 mm, sebaliknya diperoleh hasil *plateau* terpendek sebesar 40 volt pada detektor dengan diameter 11 mm.

Plateau pendek disebabkan oleh beberapa faktor antara lain tingkat kevakuman yang rendah akibatnya masih ada atom lain di dalam tabung dan akan tercampur dengan gas isian sehingga gas isian detektor menjadi tidak murni lagi. Kevakuman rendah juga disebabkan adanya kebocoran hal ini menyebabkan tekanan gas dalam tabung cepat berubah, dua kejadian ini sangat tidak diharapkan dalam pembuatan detektor karena sangat berpengaruh terhadap jumlah cacah per satuan waktu. Dengan demikian kenaikan jumlah cacah tidak stabil terhadap kenaikan tegangan sehingga daerah tegangan kerja atau panjang *plateau* menjadi lebih pendek, hal ini merupakan kelemahan karena detektor dengan *plateau* pendek biasanya detektor akan cepat mati. *Plateau* pendek juga dapat diakibatkan oleh ketidaktepatan perbandingan tekanan dalam pengisian gas ke dalam tabung. Hal

ini terjadi karena sistem pengisian gas masih manual dan kecilnya tekanan gas *bromine* yakni 1 mmHg (1%) dari tekanan total sehingga menyebabkan pembacaan tekanan pada manometer Hg tidak tepat, akibatnya terjadi kesalahan pembacaan (*human error*), pada hal bila terjadi kelebihan atau kekurangan gas peredam sangat berpengaruh terhadap karakteristik detektor.

Slope merupakan salah satu parameter karakteristik detektor yang menyatakan kemiringan daerah tegangan kerja (*plateau*). Nilai *slope* detektor sangat tergantung dari perubahan jumlah cacah per satuan waktu terhadap kenaikan tegangan yang dicatukan pada detektor tersebut, *slope* dapat dihitung menggunakan persamaan (5). Pada daerah tegangan ambang (daerah antara proporsional dengan daerah Geiger Mueller), jika tegangan dinaikkan maka jumlah cacah yang dihasilkan akan semakin banyak, hal ini karena jumlah elektron sekunder masih sebanding dengan ion primer yang besarnya sebanding dengan energi radiasi yang datang. Namun setelah memasuki daerah Geiger-Mueller walaupun tegangan dinaikkan jumlah cacah yang dihasilkan stabil (terjadi kenaikan kecil). Hal ini terjadi karena pada daerah tersebut telah didominasi oleh elektron tertier yang jumlahnya sudah tidak sebanding lagi dengan energi radiasi yang datang tetapi elektron tersebut masih mampu dikendalikan oleh gas peredam sehingga tidak terjadi *avalanche*, namun demikian bila tegangan terus dinaikkan akan terjadi kenaikan jumlah cacah yang besar secara tiba-tiba, hal ini karena detektor telah mengalami *discharge*.

Slope detektor mempunyai keterkaitan atau saling berpengaruh dan berbanding terbalik terhadap *plateau* detektor, semakin panjang *plateau* detektor maka akan diperoleh nilai *slope* yang semakin kecil dan sebaliknya bila detektor memiliki *plateau* pendek maka akan diperoleh *slope* yang besar, ini menunjukkan bahwa walaupun telah terjadi kenaikan tegangan tetapi jumlah cacah yang dihasilkan tetap sama atau stabil. Dalam penelitian ini diperoleh nilai *slope* optimum sebesar 8,5 % per 100 volt, kondisi ini dicapai oleh detektor dengan diameter 16 mm.

Resolving Time

Resolving time adalah jumlah waktu minimum yang diperlukan oleh detektor untuk memproses radiasi dan waktu pemulihan terbentuknya pulsa hingga detektor dapat memproses kembali terhadap radiasi yang datang berikutnya.^[9]

Dengan diperoleh data panjang *plateau*, *slope* dan tegangan operasi detektor untuk berbagai variasi katoda, maka dilakukan pengukuran *resolving time* (). Data hasil pencacahan per menit (cpm) untuk menentukan *resolving time* () detektor dan perhitungan *resolving time* menggunakan persamaan (6) dari variasi diameter katoda: 11 mm, 16 mm dan 22 mm ditunjukkan pada Tabel 5.

Diameter (mm)	Tegangan (volt)	Jumlah cacah per menit				Resolving time () (detik)
		N_1 (cpm)	N_{I2} (cpm)	N_2 (cpm)	N_{bcg} (cpm)	
11	620	3771	7546	4120	65	10×10^{-6}
		3839	7490	3975	68	
		3799	7372	3924	70	
	Rerata	3803	7469	4006	68	
16	850	6815	19557	12720	14	$2,5 \times 10^{-7}$
		6810	19607	12814	17	
		6885	19521	12817	14	
	Rerata	6837	19562	12784	15	
22	1100	4501	8458	4171	29	$4,13 \times 10^{-6}$
		4532	8519	4144	27	
		4600	8587	4129	26	
	Rerata	4544	8521	4148	27	

Tabel 5. Data pencacahan untuk menentukan resolving time() beserta perhitungannya untuk katoda dengan ukuran 11 mm, 16 mm dan 22 mm

Berdasarkan hasil perhitungan *resolving time* () dari variasi diameter katoda detektor masing-masing 11 mm, 16 mm dan 22 mm seperti ditunjukkan pada Tabel 5, maka diperoleh *resolving time* () yang optimum sebesar $2,5 \times 10^{-7}$ detik dan ini dicapai pada diameter katoda 16 mm, karena nilai *resolving time* tersebut merupakan nilai paling kecil bila dibandingkan dengan nilai *resolving time* () yang lain (diameter katoda 11 mm = 10×10^{-6} detik dan diameter 22 mm = $4,13 \times 10^{-6}$ detik), ini menunjukkan bahwa detektor yang dibuat dengan diameter katoda 16 mm memiliki waktu mati yang paling kecil atau mempunyai respon terbaik terhadap radiasi yang datang sebab jumlah radiasi yang datang akan tercacah semakin banyak oleh detektor. Menurut pendapat Wisnu Arya Wardhana^[9] yang menyatakan bahwa detektor Geiger-Mueller yang memiliki *resolving time* () yang semakin kecil maka kualitas detektor akan semakin baik.

Detektor yang mempunyai *resolving time* kecil merupakan suatu kelebihan karena waktu mati atau detektor tidak respon terhadap radiasi juga kecil dan ini akan berpengaruh pula terhadap nilai faktor koreksi dari detektor, sehingga apabila detektor digunakan untuk mencacah radiasi maka hasilnya akan lebih teliti karena jumlah cacah radiasi yang datang akan mendekati jumlah cacah sebenarnya yang terukur oleh detektor (jumlah cacah yang hilang atau tidak terdeteksi sedikit), dengan demikian detektor yang mempunyai *resolving time* kecil, lebih cocok untuk mendeteksi radiasi dengan aktivitas tinggi sebaliknya detektor dengan *resolving time* besar hanya sesuai bila digunakan pada pengukuran radiasi aktivitas rendah.

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan untuk penentuan karakteristik detektor

yang meliputi daerah tegangan kerja/panjang *plateau*, tegangan operasi, *slope* dan *resolving time* seperti ditunjukkan pada Tabel 4 dan Tabel 5, maka diperoleh karakteristik optimum pada detektor Geiger-Mueller tipe *end window* dengan diameter katoda 16 mm dengan panjang *plateau* 120 volt, *slope* 8,5 % per 100 volt, *resolving time* sebesar $2,5 \times 10^{-7}$ detik pada tegangan operasi 860 volt.

KESIMPULAN

Telah dilakukan pembuatan detektor Geiger-Mueller tipe *end window* yang divariasi diameter katodanya, masing-masing dengan ukuran 11 mm, 16 mm dan 22 mm sedang diameter anoda sebesar 0,5 mm dan panjang daerah aktif 32 mm. Katoda terbuat dari *stainless steel*, anoda dari kawat tungsten dan window dari plastik mika dengan tebal 0,1 mm.

Karakteristik detektor selain ditentukan oleh faktor geometri juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti tingkat kevakuman tabung, jenis gas isian yang digunakan, kemurnian gas isian dan ketepatan perbandingan tekanan gas utama dan gas peredam.

Semakin besar ukuran diameter katoda atau tabung detektor maka semakin besar pula tegangan operasi yang diperlukan. Untuk katoda \emptyset 11 mm, \emptyset 16 mm dan \emptyset 22 mm masing-masing diperlukan tegangan operasi sebesar 620 volt, 860 volt dan 1110 volt,

Detektor Geiger-Mueller tipe *end window* yang optimum dari hasil penelitian ini adalah detektor dengan katoda yang berdiameter 16 mm yang menghasilkan karakteristik *plateau* (daerah tegangan kerja) 120 volt, tegangan operasi 860 volt, *slope* 8,5 %/100 volt dan *resolving time* $2,5 \times 10^{-7}$ detik.

UCAPAN TERIMA KASIH

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

DAFTAR PUSTAKA

1. TRISYANTO, NUGROHO DAN SUNARDI., (2008), *Rancang Bangun Simulasi Sistem Pencacahan Radiasi*, Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir IV, Yogyakarta: STTN-BATAN.
2. KNOLL, GLENN F., (2000), *Radiation Detection and Measurement*, John Wiley & Sons, Inc, New York, p.41-42.
3. E. FEYVES AND O. HAIMAN, (1969), *The Physical Principles of Nuclear Radiation Measurement*, Academisi Kiado, Budapest, p.219-235.
4. SAYONO, SUPRAPTO DAN IRIANTO, 2009, *Pembuatan Detektor Geiger-Mueller Tipe Jendela Samping Dengan Gas Isian Argon, Alkohol dan Bromine*, Yogyakarta, PTAPB-BATAN.
5. ZOLTAN FODOR, (2009), *Experimental Methods and Measurements*, The Physics Colloquium Series, University of Wuppertal, Eotvos University of Budapest, John von Neumann Institute for Computing, DESY-Zeuthen, and Forschungszentrum-Juelich.
6. TSOULFANIDIS, NICHOLAS, (1983), *Measurement and Detection of Radiation*, 2nd edition, Washington : Taylor & Fancis, p. 1,81,191,192.
7. PRICE, WILLIAM J., (1958), *Nuclear Radiation Detector*, New York : Mc. Graw-Hill Book Company, p.1-28, 41-49, 73, 177.
8. HARSHAW, (1998), *Nuclear Detectors and Systems Halogen Quenched Geiger-Mueller Tubes*, Catalog. Crystal & Elektronik Departement, Solon, Ohio, USA., p.2-3.

9. WISNU ARYA WARDHANA, (2007), *Teknologi Nuklir, Proteksi Radiasi dan Aplikasinya*, Yogyakarta: Andi offset, hal. 22,156-167.
10. *Operating Characteristics of The Geiger Counter*, www.physics.ryerson.co/sites/default/files/u11/exppcs352/TheGeigerCounter.pdf, diakses 17 April 2013.

TANYA JAWAB

Rany Saptaaji

- Dari penelitian ini dicapai karakteristik optimum pada detektor dengan katoda berdiameter 16 mm apa alasannya?

Sayono

- Berdasarkan karakteristik detektor GM dikatakan baik bila mempunyai panjang plateau 100 V dan mempunyai slope 10%/100V serta tegangan operasi < 1000 Volt dan resolving time dalam orde puluhan mikro detik. Hal ini dipenuhi oleh detektor dengan katoda 16 mm yaitu plateau = 120 Volt. Slope = 8,5 %/100 Volt, tegangan operasi 860 V serta resolving time = $2,5 \times 10^{-7}$ detik.

Jumari

- Faktor apa saja yang mempengaruhi stabilitas tegangan kerja detektor GM end windows?

Sayono

- Faktor yang berpengaruh terhadap stabilitas tegangan detektor GM tipe end window adalah :
 1. Tekanan vakum tabung detektor sebelum di isi gas isian harus tinggi dalam orde 10^{-6} Torr.
 2. Perbandingan tekanan gas isian antara gas utama dengan gas quenching harus tepat.
 3. Kemurnian gas isian harus tinggi (99,99%).