

Pembuatan Detektor Neutron Termal Gas Isian BF_3

Gunarwan Prayitno
Pusat Rakayasa perangkat Nuklir BATAN

Abstrak

Detektor proporsional neutron termal dengan tekanan gas isian BF_3 54 cmHg telah dibuat dilaboratorium instrumentasi dan Elektronika reaktor Atom Yogyakarta (BATAN). Sebagai katoda terbuat dari bahan aluminium dan anoda dari bahan kawat tungsten, masing-masing berdiameter 3 cm dan 0,3 mm. Pendeteksian neutron termal melalui reaksi sekunder yaitu reaksi neutron dengan inti atom Boron akan menghasilkan partikel α partikel ini kemudian akan mengionisasi gas BF_3 . Dengan adanya medan listrik yang sangat tinggi antara katoda dan anoda, maka pasangan ion yang terbentuk akan terlarik menuju elektroda yang bersesuaian. Penumpukan pasangan ion pada elektroda akan menghasilkan pulsa keluaran detektor yang sebanding dengan energi neutron yang datang. Dari pengujian karakteristik detektor neutron didapatkan efisiensi detektor sebesar 15,54 %, dengan cacahan $6,41 \times 10^{10}$ panjang Plateau 120 volt, dengan tegangan operasi terbaik 1285 volt.

Abstract

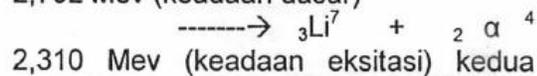
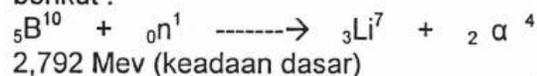
A thermal neutron proportional detector containing BF_3 gas with pressure of 54 cm Hg has been made in the electronics and instrumentation laboratory at Yogyakarta nuclear research center (BATAN). The cathode and anode of the detector are made of aluminum and tungsten with 3 cm and 0,3 mm of diameter respectively. The thermal neutron detection is made through secondary reactions of neutron with boron nucleus that produce alpha particle for ionization of BF_3 gas. The high electric field between the cathode and the anode will attract those pairs of ions to their respective electrodes. The collected ion pairs at the cathode will produce output pulse detector which is equivalent to the incoming neutron energy. The neutron detector characteristics test shows that the detector efficiency is 15.54 % which counts 6.41×10^{10} . Plateau length to 120 volt, with optimal voltage operational is 1285 volt.

1. Pendahuluan.

Detektor neutron termal BF_3 proporsional telah banyak dipergunakan, Pada detektor ini Gas BF_3 sebagai target untuk mengkonversi neutron termal kedalam partikel sekunder. Partikel alpha yang dihasilkan dari reaksi $^{10}B(n,\alpha)$ akan mengionisasi gas isian detektor, sehingga terbentuk pasangan ion, electron dan hole. Jumlah atom boron dalam gas dapat ditentukan. Gas BF_3 yang diperkaya oleh atom boron merupakan pilihan yang tepat untuk membuat detektor proporsional neutron termal, saat ini telah menjadi detektor yang komersial. Detektor BF_3 proporsional akan sangat buruk karakteristiknya bila dioperasikan pada tekanan lebih tinggi, sebaiknya tekanan gas yang baik adalah sekitar 0,5 – 1,0 atm.

2. Teori Detektor Neutron BF_3 .

Reaksi yang sangat populer untuk pendeteksian neutron termal adalah, $^{10}B(n,\alpha)$, dapat ditulis dalam bentuk sebagai berikut :



reaksi tersebut kemungkinan dapat terjadi, salah satu dalam keadaan dasar atau keadaan tereksitasi. Apabila neutron termal (0,025 ev) dipakai untuk terjadi reaksi di atas maka akan ada 94 % kondisi tereksitasi dan 6 % kondisi dasar.

Pada kondisi tereksitasi atom Li^7 dihasilkan bersamaan dengan pancaran sinar gamma 0,48 Mev, dan pada kondisi dasar atom Li^7 dihasilkan. Untuk tangkapan neutron energi E, maka energi kinetik E_{ke} dari salah satu $E + 2,310$ Mev atau $E + 2,792$ Mev akan diberikan oleh partikel alpha dan inti pantalan Li. Jika energi tangkapan

pentalan Li. Jika energi tangkapan neutron mendekati nol, maka energi yang dominant ialah alpha dan Li, ditulis dalam bentuk persamaan :

$$E_{Li} = \frac{E_{K\alpha} M_{\alpha}}{M_{\alpha} + M_{Li}} \dots\dots(1)$$

$$= \frac{(2,310)(4,00)}{4,00 + 7,02} = 0,88$$

$$E_{\alpha} = \frac{E_{K\alpha} M_{Li}}{M_{\alpha} + M_{Li}} = 1,47 \text{ Mev}$$

Ketergantungan energi terhadap penampang lintang σ untuk $B^{10}(n,\alpha)$ diperlihatkan pada gambar 1. Penampang lintang ini terlihat pada gambar mempunyai hubungan $1/v$ sampai dengan 30 keV, dapat diekspresikan dalam bentuk persamaan :

$$\sigma = \frac{\sigma_0 v_0}{v} \dots\dots(1)$$

dimana : $v_0 = 2,2 \times 10^5 \text{ cm} / \text{det}$ dan $\sigma_0 = 3840 \text{ barn}$ untuk energi kurang dari 30 keV.

Kecepatan reaksi dalam detektor berisi gas BF_3 dapat dicari dengan generalisasi persamaan 2, (kecepatan reaksi per cm^3 , R),

$$R = \frac{n.v}{\lambda} = n.v.\Sigma = \phi.\Sigma \dots\dots(2)$$

Dimana n = jumlah neutron per cm^3 kubik
 v = kecepatan neutron
 v/λ = kemungkinan neutron bereaksi selama perjalanannya.
 $n v$ = fluks neutron dengan simbol Φ
 Σ = penampang lintang neutron

Untuk supaya detektor gas isian bermanfaat, atom B^{10} harus dimasukkan kedalam ruang detektor, sehingga partikel bermuatan yang dibebaskan dapat bereaksi didalamnya dan menghasilkan ionisasi. Partikel tersebut mempunyai jangkauan yang pendek karena dibatasi oleh lapisan tipis boron dan komposisi gas boron. Molekul-molekul gas BF_3 dalam tabung detektor akan terionisir sepanjang jejak partikel

alpha, dinyatakan sebagai besar spesifik ionisasi rerata yaitu :

$$S = \frac{E_{\alpha}/R}{W} \dots\dots(3)$$

dimana : E_{α} = tenaga partikel alpha
 R = jarak tembus partikel alpha dengan medium detektor

W = Energi yang diperlukan untuk membentuk satu pasang ion (36 eV, untuk BF_3). Pencacah BF_3 gas isian telah dibuat dengan berbagai macam bentuk, biasanya dibuat dari silinder Aluminium. Variasi diameter tabung, kawat tungsten, dan tekanan gas isian yang dipergunakan. Pada umumnya dipakai untuk katode dan kawat tungsten adalah berdiameter 0,87 dan 0,002 in. Panjang daerah aktif detektor 6 in dan tekanan gas 12 cmHg dengan BF_3 yang diperkaya 98 %. Bila dipakai untuk operasi pulsa dengan sensitivitas penguat pulsa 4 mV, dengan tegangan operasi 1400 volt.

Kecepatan cacah detektor dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Cacah} / \text{det} = N.\sigma.v \int_0^{\infty} p(E).n(E).dE \dots\dots(4)$$

Gambar 2. menunjukkan daerah tegangan kerja detektor proposional BF_3 (plateau), daerah datar dari kurva menunjukkan bahwa semua reaksi dalam tabung detektor dapat dicacah dengan baik,

Sensitivitas detektor didefinisikan sebagai cacah per detik per satuan fluks neutron, ditulis dalam bentuk persamaan :

$$\text{Sensivitas} = N.V.\sigma_0 \cdot \frac{V_0}{v} \dots\dots(5)$$

dimana N = jumlah atom B^{10} per cm^3 dan V volume sensitive detector.

Effisiensi detektor neutron termal didefinisikan sebagai fraksi neutron yang masuk ke detektor dan dapat dicacah. Bila probabilitas neutron terserap pada saat menempuh jarak d

melalui B^{10} adalah $1 - e^{-\Sigma_{ad}}$. Selanjutnya efisiensi tergantung pada ukuran dan bentuk detektor dan arah neutron datang, masih ada sifat-sifat lain detektor yang berpengaruh dalam pencacahan. Dalam bentuk persamaan efisiensi :

$$\text{Effisiensi} = 1 - e^{-\Sigma_{a.d}} \dots\dots(6)$$

Dimana d adalah panjang volume sensitive detektor diukur sepanjang sumbu tabung detektor. Dimana E adalah energi neutron dalam electron volt. Untuk $E = 0,025$ ev, efisiensi adalah 22 %.

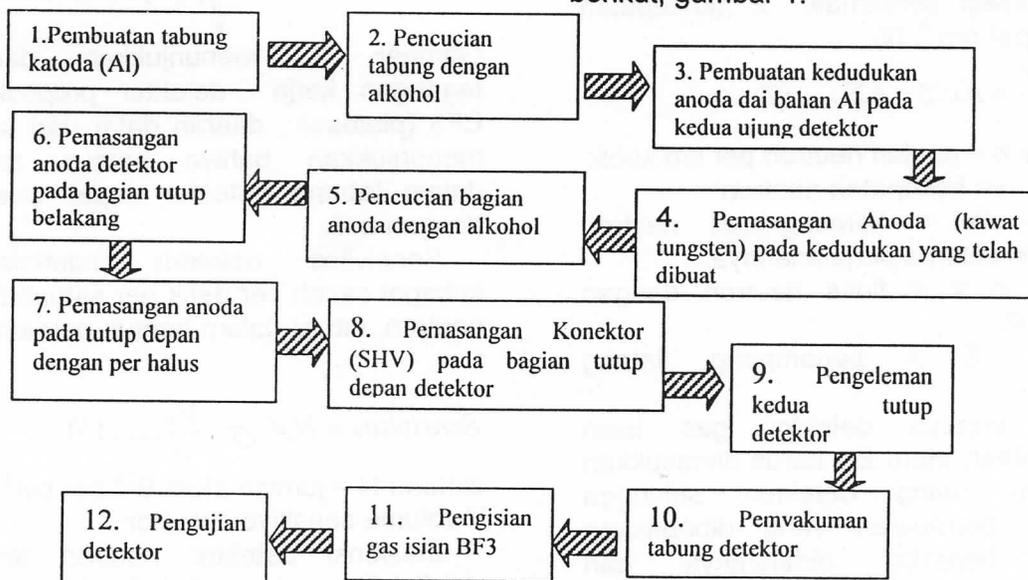
Umur detektor didefinisikan sebagai banyaknya cacah yang dapat dicapai detektor sebelum detektor tersebut mati. Faktor yang mempengaruhi umur detektor adalah tekanan vakum dan tekanan gas. Salah satu metode untuk mengetahui umur detektor dengan menghitung banyaknya molekul gas isian dan banyaknya molekul yang terdisosiasi. Dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$U = \frac{N}{n.A} \dots\dots\dots(7)$$

Hasil kali n dan A menunjukkan banyaknya molekul gas yang berdisosiasi untuk setiap pencacahan per satuan waktu, dan N adalah banyaknya molekul gas isian

3. Pembuatan Detektor BF₃

Sebagai bahan katoda digunakan pipa Aluminium dengan ketebalan 0,06 cm, dan anoda berupa kawat tungsten ditempatkan konsentris terhadap tabung katoda. Diameter dalam detektor 1,35, dan diameter kawat tungsten 0,006 cm. Panjang ruang cacah efektif detektor 12,54 cm. Semua material pembentuk detector, seperti katoda, anoda, perekat, tungsten, dan penyekat harus tahan terhadap terhadap sifat merusak dari BF₃. Setelah siap perakitan detector, dilanjutkan dengan pemvakuman tinggi. Pembuatan detektor neutron termal gas isian BF₃, dibuat melalui beberapa tahapan, mengikuti aliran kerja sebagai berikut, gambar 1.



Gambar 1. Aliran kerja pembuatan detektor neutron termal gas isian BF₃

Tahap 1.

Pipa aluminium dengan diameter 1,5 cm dipotong sepanjang 14,5 cm, pada kedua ujung pipa yang telah dipotong dibuatkan kedudukan tutup, pada bagian tutup dibuatkan kedudukan per sepiral tempat anoda. Per sepiral berfungsi untuk supaya kawat anoda tidak lentur. Bila kawat anoda tidak tegang akan mempengaruhi homogenitas medan listrik tabung. Kontruksi pemasangan kawat per sepiral dan anoda dapat dilihat pada gambar 2b, sedangkan gambar 2a memperlihatkan tabung detector BF₃ secara tiga dimensi.

Tahap 2.

Tahap dua melakukan pencucian tabung Al, bertujuan membersihkan kotoran sewaktu pemotongan dan minyak bekas sentuhan jari. Sebaiknya material yang akan dipasang pada bagian dalam tabung detector dicuci dengan bak Ultrasonic, setelah itu dikeringkan dengan nitrogen cair. Setelah proses tahap 2 hendaknya semua elemen detector yang di assembling tidak lagi tersentuh oleh tangan, lakukan dengan pemegang terbuat dari polyethelene atau gunakan sarung tangan. Disimpan dalam tabung vakum dengan kevakuman 10⁻³ torr, diamkan selama 2-3 hari.

Tahap 3. Pemasangan Anoda pada bagian tutup tabung detector harus benar benar lurus dan pada kedua ujung

anoda dipasang per sepiral, supaya kawat anoda tebetang dengan tegang (lihat gambar 2b). Antara kawat anoda dengan

Tahap 4.

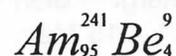
Setelah penyimpanan dalam tabung vakum selama 3 hari, dilanjutkan dengan pemvakuman tinggi. Tabung detector dipasang pada instalasi pemvakuman, divakum dengan tekanan 10⁻⁶ Torr. Didiamkan beberapa hari terpasang pada Instalasi vakum, kemudian dicek kebocoran. Bila terjadi kebocoran maka tabung detector, dilepas dan diperbaiki. Bila tidak dilanjutkan dengan pengisian gas isian BF₃, dengan tekanan 52 cm Hg, dan kemurnian 99,8 %

Tahap 5.

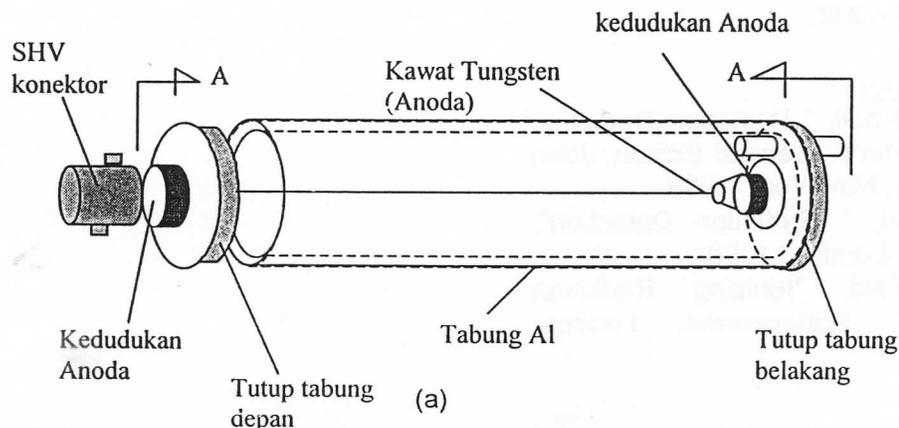
Setelah didisi dengan gas isian dan didiamkan beberapa hari, maksudnya supaya gas BF₃ benar-benar homogen berada dalam tabung. Tabung dilepas dari instalasi pemvakuman kemudian dilakukan pengujian detector.

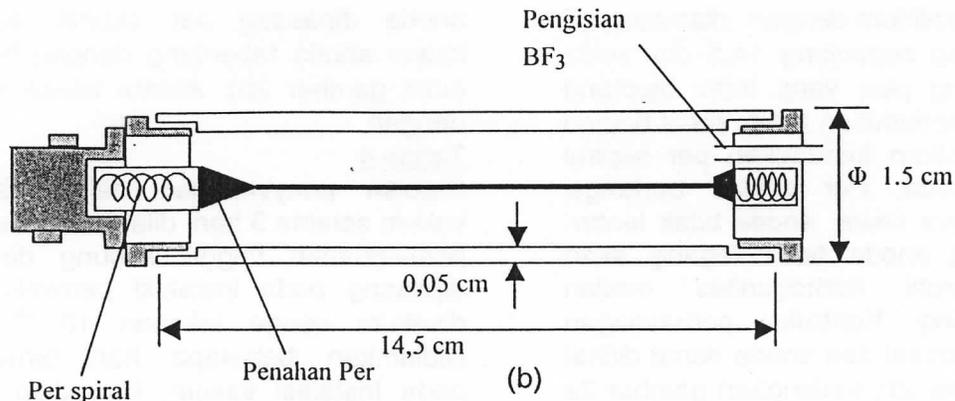
Tahap 6.

Detector neutron termal diuji dengan sumber neutron dengan aktivitas sebesar 1 mCi, intensitas 4 x 10⁴ neutron / det, sumber neutron adalah :



Gambar 3. menunjukkan panjang plateau (daerah cacah terbaik), sepanjang 120 volt, dimulai dari tegangan 1240 volt sampai 1360 volt, dari range plateau





Gambar 2. (a). Elemen detektor neutron BF₃, (b). Tampak lintang tabung detektor

dapat dihitung daerah tegangan operasi detektor yang baik adalah $(1240+1360)/2 = 1300$ volt. Gambar 4. memperlihatkan umur detektor, dengan sumbu vertical adalah plateau dan horizontal cacah, diperoleh diperkirakan umur detektor $4,6 \times 10^{12}$ cacah. Respon detektor terhadap energi neutron dapat dilihat melalui MCA, gambar 5. gambar 6 menampilkan detektor Neutron BF₃ sebenarnya.

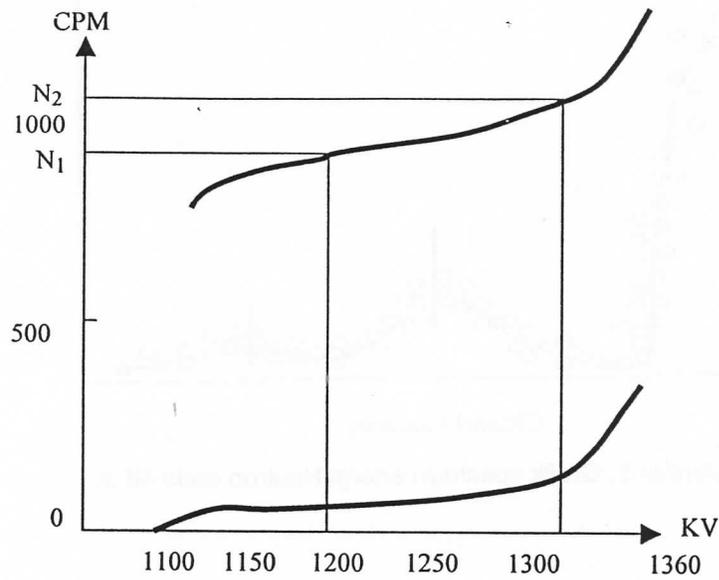
Kesimpulan

Pengukuran range energi oleh detector neutron berkisar $10^8 - 15$ Mev. Respon energi konsisten pada 1 cm dose equivalent yang direkomendasikan oleh ICRP. Deviasi kurang dari $\pm 34\%$ dalam range energi neutron $0,025 - 10$ Mev. Detektor neutron dipakai untuk monitor daerah neutron dan dosimeter personal pada fasilitas nuklir.

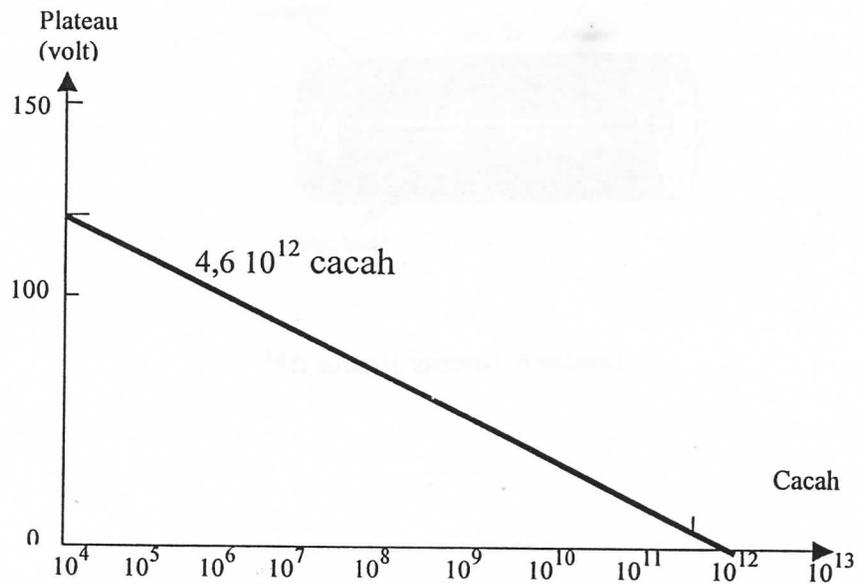
Daftar Pustaka

1. Glenn F. Knoll, "Radiation Detection And Measurement", Second Edition, John Wiley & Sons, New York, 1989.
2. W.T. Taid, "Radiation Detection", Butterworths, London, 1980,
3. W.T. Taid, "Ionizing Radiation Measurement", Butterworths, London, 1981.

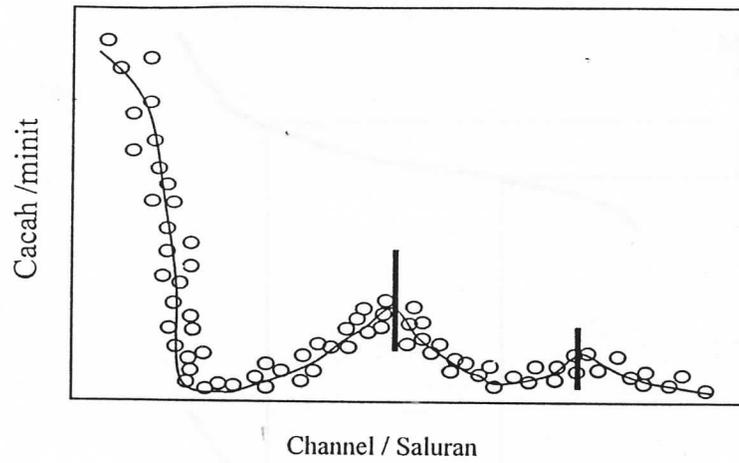
4. William J. Price, "Nuclear Radiation Detection", Second Edition, McGraw-Hill Book Company, New York 1968.
5. Glenn F. Knoll, "Nuclear Counters", Second Edition, John Wiley & Sons, New York, 1989.



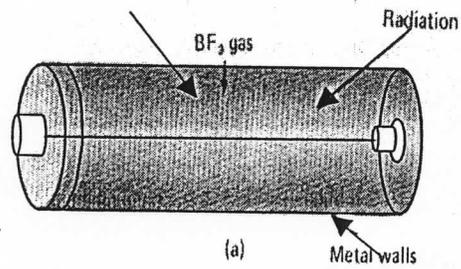
Gambar 3. Panjang daerah plateau detector



Gambar 4. Grafik umur detektor



Gambar 5. Grafik spectrum energi Neutron pada MCA



Gambar 6. Detektor Neutron BF_3