

PENGEMBANGAN DETEKTOR SAWAR MUKA UNTUK MENDETEKSI NEUTRON

Agus Baskoro, Suratman, Eko Priyono

Pusat Penelitian Nuklir Yogyakarta - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

PENGEMBANGAN DETEKTOR SAWAR MUKA UNTUK MENDETEKSI NEUTRON. Dibuat dua jenis detektor α sawar muka dengan cara sambungan logam-semikonduktor Al-Si dan Au-Si. Detektor ini digunakan untuk mendeteksi radiasi neutron, dengan cara menutup jendela detektor sawar muka dengan lapisan boron sehingga bila radiasi neutron mengenai jendela sawar muka akan terjadi reaksi $B(n,\alpha)Li$. Zarah α yang timbul dari reaksi tersebut mempunyai cukup tenaga untuk mencapai daerah deplesi sawar muka hingga menghasilkan pasangan elektron-lowongan, yang selanjutnya akan disapu oleh medan prasikap balik menjadi pulsa muatan. Boron diambil dari senyawa H_3BO_3 (asam borat). Dalam pengujian digunakan sumber Pu-Be yang mempunyai kuat sumber $5,16 \times 10^6$ n/s. Hasil pengujian menunjukkan bahwa untuk kedua detektor ketebalan optimum asam borat yang ditempel pada jendela detektor adalah $0,2 \text{ g/cm}^2$. Untuk ketebalan ini detektor sawar muka yang dibuat dengan jendela emas mempunyai efisiensi deteksi radiasi neutron rerata 0,1 %, dan untuk detektor yang berjendela aluminium mempunyai efisiensi deteksi rerata 0,1 %.

ABSTRACT

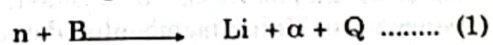
DEVELOPMENTS OF SURFACE BARRIER DETECTOR FOR NEUTRON DETECTION. Two kinds of surface barrier detector Au-Si and Al-Si has been made, using method of diode junction metal-semiconductor contacts. The surface barrier detectors were capable to detect neutron radiation, if the detector window's are covered with boron element contained in boric acid (H_3BO_3), neutron radiation can be detected through $B(n,\alpha)Li$ reaction. Results of measurement 5.16×10^6 n/s Pu-Be neutron source gives conclusions that optimum boric acid thickness is 0.2 g/cm^2 and both detection efficiency of the Au-Si and Al-Si surface barrier detectors is 0.1%.

PENDAHULUAN

Menurut Hansen [1] dan Cappelani [2] pada dasarnya detektor sawar muka (surface barrier) yang biasa digunakan untuk mendeteksi radiasi α adalah diode yang dioperasikan pada tegangan prasikap balik, yang berarti lapisan kosong diode akan menjadi daerah aktif detektor. Pada pendeteksian, tenaga zarah radiasi digunakan untuk membebaskan pasangan elektron-lowongan di sepanjang lintasannya pada daerah kosong. Jumlah pasangan elektron-lowongan yang terbentuk sebanding dengan besar tenaga zarah radiasi. Medan listrik yang ditimbulkan tegangan prasikap balik akan menyapu elektron ke terminal positif dan lowongan menuju terminal negatif. Selanjutnya pulsa muatan akan diintegrasikan oleh penguat awal peka muatan untuk diubah menjadi pulsa tegangan.

Pada penelitian ini dibuat dua jenis detektor sawar muka logam-semikonduktor. Detektor sawar muka, yang pada umumnya hanya digunakan untuk mendeteksi zarah α , dicoba

untuk mendeteksi radiasi neutron, dengan cara terlebih dahulu mengkonversikan radiasi neutron dengan zat perantara menjadi radiasi α . Dalam hal ini unsur boron bisa diambil sebagai zat perantara, karena reaksi neutron dengan boron akan menghasilkan zarah α , [3,4].



Dengan menyelubungi detektor sawar muka dengan boron, memungkinkan radiasi neutron yang mengenai detektor dapat menimbulkan radiasi α yang bertenaga cukup tinggi, yaitu 1,5 MeV. Radiasi α ini dapat menembus jendela detektor dan sampai pada daerah deplesi.

Untuk melapisi jendela detektor sawar muka yang dibuat, digunakan boron dalam senyawa asam borat (H_3BO_3). Tebal lapisan asam borat yang bisa menghasilkan efisiensi pendeteksian paling besar ditentukan secara empiris, dengan cara memvariasi ketebalan asam borat yang masih berupa serbuk.

Selanjutnya pada ketebalan optimum asam borat dipadatkan ditekan sampai 10 ton/cm². Semuanya diuji menggunakan sumber neutron Pu-Be dengan kuat sumber 5,16 x 10⁶ n/s.

TATAKERJA

Pembuatan dan pengujian detektor sawar muka

Silikon sebagai bahan dasar pembuatan detektor dibeli dari ESPI dalam bentuk monokristal tipe P dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Silikon sebagai bahan dasar pembuatan detektor

Nama	Tebal	Resistivitas
Epitaksi	35 μm	4 Ω - cm
Substrat P ⁺	0,3 mm	0,02 Ω - cm

Menurut Baskoro dan Sudjatmoko [4] pembuatan detektor sawar muka bisa dilakukan dengan cara kontak logam semikonduktor dengan melapiskan logam pada bagian epitaksi dari semikonduktor, bagian yang miskin atom pengotor, sehingga akan terjadi sambungan dioda yang selanjutnya menjadi daerah aktif detektor. Bagian substrat dari semikonduktor yang kaya atom pengotor dilapis logam sehingga hanya terjadi sambungan ohmig yang selanjutnya menjadi kontak belakang detektor. Adapun langkah pembuatan melalui diagram alur dapat dilihat pada Gambar 2.

Dengan cara sebagai tersebut dalam diagram alur (Gambar 2) dibuat dua jenis detektor:

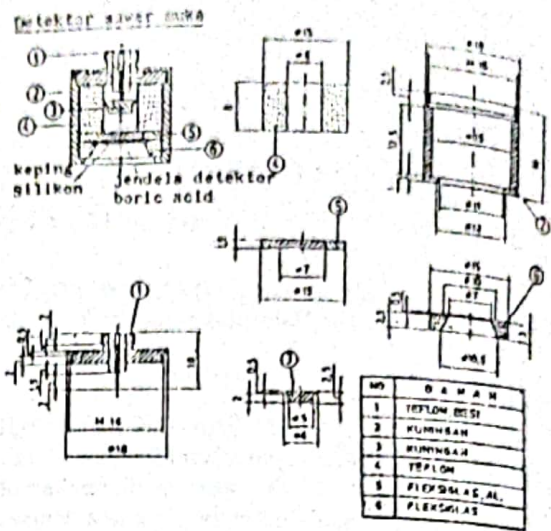
1. Au-Si-Al

Sebagai bahan dasar semikonduktor (Tabel 1) untuk membentuk kontak belakang, segera setelah proses etsa bagian muka lapisan substrat dilapisi logam Al tipis dengan cara penguapan. Untuk membentuk daerah aktif detektor (depletion layer), segera setelah keping Si ditempatkan dalam kapsulnya (Gambar 1) padanya dilapiskan emas tipis 40 μg/cm².

2. Al-Si-Al

Cara membuat detektor jenis Al-Si-Al dilakukan seperti pada pembuatan detektor jenis Au-Si-Al tersebut di atas. Namun hanya untuk membuat daerah aktif dan jendela terobosan radiasi detektor, digunakan logam aluminium.

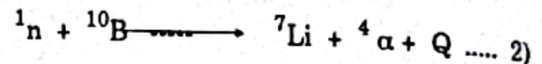
Uji detektor dilakukan untuk mengukur radiasi α dari sumber ²⁴¹Am yang beraktivitas 0,1 μCi menggunakan rangkaian spektrometer α (Gambar 3).



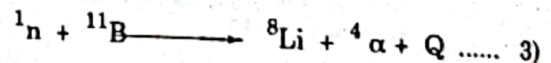
Gambar 1. Kapsul detektor sawar muka

Pelapisan jendela detektor dengan asam borat

Boron yang mempunyai isotop stabil ¹⁰B kelimpahan 20% dan ¹¹B kelimpahan 80% bila ditembak neutron akan menghasilkan radiasi α dengan kebolehjadian reaksi yang cukup besar [6].



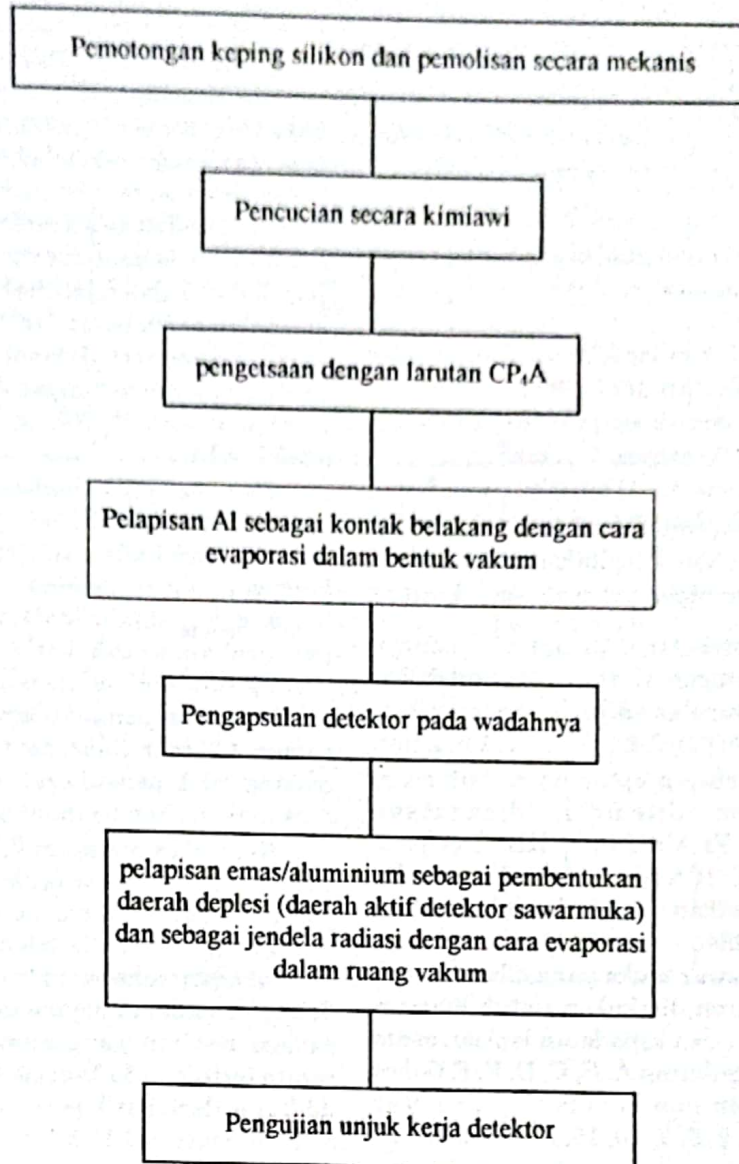
Di mana σ = 3840 barn, nilai Q dari reaksi ini sebesar 2,31 MeV yang berupa E_α = 1,47 MeV dan E_{Li} = 0,84 MeV. Atom lithium tereksitasi akan kembali ke tingkat dasar dengan memancarkan radiasi γ yang berwaktu paruh T_{1/2} = 10⁻¹³s.



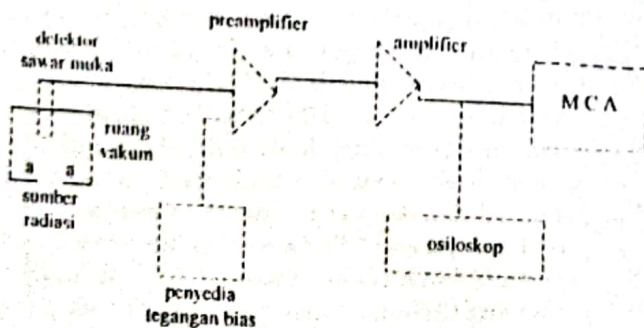
σ = 72 barn, nilai Q dari reaksi ini sebesar 2,8 MeV yang berupa E_α = 1,88 MeV dan E_{Li} = 0,92 MeV. Atom lithium tereksitasi akan kembali ke tingkat dasar dengan memancarkan radiasi γ yang berwaktu paruh T_{1/2} = 890 ms.

Menurut Verhaege [7] boron dalam senyawa asam borat sangat efektif untuk menghasilkan reaksi (n,α), sehingga detektor sintilasi yang dibuatnya mempunyai efisiensi mendeteksi neutron cukup tinggi. Dengan alasan ini dan karena senyawa asam borat sudah tersedia maka dicoba asam borat sebagai zat perantara pengubah n,α dari detektor sawar muka yang dibuat untuk mendeteksi neutron. Skema detektor sawar muka untuk mendeteksi neutron dapat dilihat pada Gambar 4.

Detektor sawar muka (Gambar 4) dirangkaikan pada spektroskop α (Gambar 3) dengan menggunakan sumber neutron PuBe berkekuatan 5,16 x 10⁶ n/s. Di dalam penelitian yang dilakukan dicoba mencari berapa ketebalan asam borat yang paling optimum untuk bisa menghasilkan efisiensi pendeteksian neutron



Gambar 2. Diagram alur pembuatan detektor sawar muka dengan cara sambungan logam-semikonduktor



Gambar 3. Skema rangkaian spektrometer radiasi α

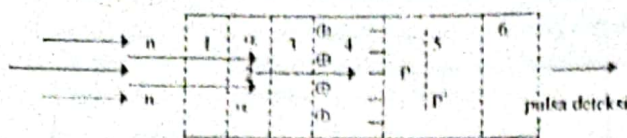
paling besar untuk berbagai jarak sumber neutron ke detektor.

Efisiensi pendeteksian (ϵ_{sw}) diberi batasan sebagai perbandingan antara jumlah cacah neutron yang terdeteksi per cm^2/detik (C_n) dengan besar fluks neutron di titik pengukuran (Φ_n). Dalam hal ini fluks neutron di titik pengukuran ditentukan dengan analisis pengaktifan neutron keping indium. Jadi,

$$\epsilon_{sw} = C_n / \Phi_n \times 100\% \quad (4)$$

Pelapisan asam borat ke jendela detektor dilakukan dengan dua cara :

1. Asam borat berupa serbuk langsung ditempel ke jendela detektor, dan dijepit



Gambar 4. Skema detektor sawar muka untuk mendeteksi neutron

Keterangan:

- 1= lapisan tipis milar 0,15 mm (untuk asam borat yang dipadatkan tidak perlu milar)
- 2= lapisan serbuk asam borat; ketebalan divariasi dari 0,05 sampai 2 gr/cm²
- 3= lapisan tipis Au/Al tebal 40 µg/cm²
- 4= lapisan deplesi (daerah aktif detektor)
- 5= keping silikon: P (epitaksi), P⁺ (substrat)
- 6= lapisan tipis Al sebagai kontak

dengan milar (ketebalan 0,15 mm) di depannya supaya tidak tumpah (Gambar 4), ketebalan serbuk yang ditempelkan divariasi sebesar 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,4; 0,5; 0,7; 1; 1,5; g/cm².

2. Pada ketebalan optimum serbuk asam borat, sebelum ditempel, dipadatkan menggunakan Perkin Elmer KBr Die pada tekanan: 1; 2; 4; 6; 10 ton/cm². Asam borat padat langsung ditempelkan di muka jendela detektor tanpa penjepit milar.

Pengujian sawar muka yang dibuat untuk mendeteksi neutron dilakukan untuk masing-masing ketebalan dan kepadatan lapisan asam borat di titik pengukuran A, B, C, D, E, F, G dan H yang berurutan dan berjarak dari sumber neutron Pu-Be 1, 2, 5, 7, 10, 15, 20 dan 30 cm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian spektroskopi α didapatkan hasil:

1. Detektor sawar muka jenis Au-Si-Al yang dibuat mempunyai resolusi tenaga 24% untuk radiasi α dari sumber ²⁴¹Am, dan efisiensi deteksi zarah α yang masuk daerah aktif detektor adalah 94%.

2. Detektor sawar muka jenis Al-Si-Al yang dibuat mempunyai resolusi tenaga 26% untuk radiasi α dari sumber ²⁴¹Am, dan mempunyai efisiensi deteksi 91%.

Fluks neutron Pu-Be di titik pengukuran A, B, C, D, E, F, G dan H diukur dengan aktivasi keping indium 0,18 gram. Hasil pengukuran tercantum pada Tabel 2.

Hasil pencacahan neutron dari sumber Pu-Be di titik pengukuran A, B, C, D, E, F, G, dan H menggunakan dua jenis detektor sawar

muka Au-Si-Al dan Al-Si-Al dengan berbagai harga ketebalan serbuk asam borat sebagai jendela detektor. Hasil pengujian dua jenis detektor sawar muka untuk mendeteksi neutron dengan ketebalan asam borat 0,2 g/cm² berupa serbuk, tertera pada Tabel 3 dan 4, dan efisiensi pendeteksian radiasi neutron yang masuk ke jendela detektor dihitung dari rumus 4. Dari Tabel 5 dan 6 terlihat bahwa untuk harga ketebalan asam borat dari 0,05 g/cm² sampai 2 g/cm², dengan serbuk asam borat tidak dipadatkan, detektor mempunyai efisiensi deteksi yang terkecil adalah 0,09%, sedang yang terbesar adalah 0,1 %.

Hasil pengujian berbagai ketebalan serbuk asam borat sebagai lapisan jendela sawar muka sebagai fungsi efisiensi deteksi rata-rata dari berbagai titik pengukuran disajikan pada Tabel 3. ϵ_{rerata} dihitung dari rata-rata efisiensi pencacahan untuk berbagai jarak sumber, sedang efisiensi pencacahan untuk masing-masing titik pengukuran dihitung dengan rumus 4, besar fluks neutron untuk masing-masing titik pengukuran dikalibrasi dengan cara aktivasi keping indium (Tabel 1).

Ketebalan optimum 0,2 g/cm² menghasilkan efisiensi terbesar 0,1%, selanjutnya asam borat seberat 0,2 gram ini dipadatkan dengan Perkin Elmer KBr Die dalam luasan 1 cm² silindris dengan tekanan pemadatan bervariasi. Setiap pemadatan digunakan untuk mengukur radiasi neutron yang menghasilkan efisiensi rerata tertera pada Tabel 6. Pada Tabel 5, ϵ_{rerata} dihitung dari hasil pencacahan neutron dari sumber neutron 5,16 x 10⁶ n/s.

Proses radiasi neutron adalah random, yang mempunyai nilai cacah rata-rata N dan secara statistik mempunyai penyimpangan dari harga reratanya sebesar akar N. Hasil perhitungan efisiensi rerata dari data Tabel 3 dan 4 untuk kedua jenis detektor sawar muka hanya kebetulan saja harganya sama yaitu 0,100%. Harga penyimpangan dari efisiensi deteksi rerata tidak lebih dari 0,013%. Perbedaan hasil cacah neutron dari kedua detektor bukan karena disebabkan oleh jenis jendela, karena logam Al dan Au yang digunakan hanya tipis yaitu 40 µg/cm². Pada ketebalan tersebut lapisan Al dan Au belum mampu menyerap radiasi α yang timbul, α melainkan hanya mengurangi tenaganya saja, tenaga α yang tersisa masih mampu sampai ke daerah deplesi untuk menghasilkan pulsa deteksi.

Tabel 2. Hasil aktivasi keping indium

Titik pengukuran	Jarak keping waktu variasi (cm)	Waktu tunda (menit)	Banyak cacah (cpm)	Fluks neutron (n/cm ² s)
A	1	30	290856	410154
B	2	28	69141	103261
C	5	26	10129	16092
D	7	24	4926	8375
E	10	22	2241	4106
F	15	20	915	1823
G	20	18	471	1029
H	30	16	188	459

Tabel 3. Detektor sawar muka jenis Au-Si-Al berjendela serbuk asam borat 0,2 gr/cm²

Titik pengukuran	Jarak (cm)	ϕ_n - indium (n/cm ² s)	Laju cacah n sawar muka (cpm)	ϵ_{sw} (%)
A	1	410154	27072	0,110
B	2	103261	6815	0,109
C	5	16092	965	0,102
D	7	8375	502	0,103
E	10	4106	246	0,100
F	15	1823	109	0,100
G	20	1029	55	0,089
H	30	459	24	0,087

Keterangan:

$$\epsilon_{sw-rerata} = \frac{\sum_{n=8} \epsilon_{sw}}{8} = 0,100\%$$

Tabel 3. Detektor sawar muka jenis Al-Si-Al berjendela serbuk asam borat 0,2 gr/cm²

Titik pengukuran	Jarak (cm)	ϕ_n - indium (n/cm ² s)	Laju cacah n sawar muka (cpm)	ϵ_{sw} (%)
A	1	410154	27072	0,110
B	2	103261	6815	0,110
C	5	16092	965	0,100
D	7	8375	502	0,100
E	10	4106	246	0,100
F	15	1823	109	0,100
G	20	1029	55	0,090
H	30	459	25	0,090

Keterangan:

$$\epsilon_{sw-rerata} = \frac{\sum_{n=8} \epsilon_{sw}}{8} = 0,100\%$$

Tabel 5. Ketebalan serbuk asam borat sebagai fungsi efisiensi rerata dari titik pengukuran A sampai H.

Ketebalan asam borat (g/cm ²)	$\epsilon_{sw-rerata}$ (%) sawar muka (%) Au-Si-Al	$\epsilon_{sw-rerata}$ (%) sawar muka Al-Si-Al
0,05	0,090	0,091
0,10	0,093	0,093
0,15	0,095	0,095
0,20	0,100	0,100
0,25	0,097	0,098
0,30	0,097	0,098
0,40	0,095	0,095
0,50	0,094	0,095
0,70	0,093	0,093
1,00	0,093	0,093
1,50	0,091	0,091
2,00	0,090	0,090

Tabel 6. Efisiensi pendeteksian rerata fungsi kepadatan asam borat seberat 0,2 g/cm²

asam borat dipadatkan, tekanan (ton/cm ²)	$\epsilon_{sw-rerata}$ (%) sawar muka Au-Si-Al	$\epsilon_{sw-rerata}$ (%) sawar muka Al-Si-Al
0	0,100	0,100
1	0,097	0,098
2	0,095	0,097
4	0,092	0,093
6	0,090	0,090
10	0,090	0,090

Dari Tabel 3 terlihat bahwa efisiensi pendeteksian rata-rata untuk kedua jenis detektor berkisar antara 0,1 % hingga 0,09 %. Selisih nilai efisiensi tidak lebih dari 0,09 %, sehingga fluktuasi cacahan terhadap cacahan radiasi neutron tidak lebih dari 0,01 % : 0,1 % = 10 %. Demikian juga untuk tebal asam borat 0,2 g/cm² padat dengan ditekan dari harga 1 ton/cm² sampai 10 ton/cm² fluktuasi harga cacah terhadap berbagai harga fluks neutron yang masuk jendela detektor tidak lebih dari 10 %.

KESIMPULAN

Detektor sawar muka yang dibuat dengan cara sambungan logam-semikonduktor jenis

Au-Si-Al dan Al-Si-Al dapat juga digunakan untuk mendeteksi radiasi neutron dengan cara melapisi jendela detektor dengan boron dalam senyawa asam borat. Hasil penelitian menunjukkan pada ketebalan serbuk asam borat 0,2 g/cm² menghasilkan efisiensi detektor optimum sebesar 0,1%.

Dari harga ketebalan serbuk asam borat 0,05 g/cm² sampai dengan 2 gram, dan pada ketebalan asam borat 0,2 g/cm² dengan dipadatkan sampai tekanan 10 ton /cm², menunjukkan bahwa jumlah cacah yang dihasilkan detektor sebanding dengan 0,1% kali harga fluks neutron yang tertangkap jendela detektor dengan fluktuasi tidak lebih dari 10%.

DAFTAR PUSTAKA

1. Hansen N.J. and Scott, R.G., Surface barrier particle detector, NIM 104 (1972) 333.
2. Cappelani F. and Restelli G., Fabrication surface barrier detector, NIM 25 (1964) 230.
3. Glenn, F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, John Wiley and Sons Inc. (1979).

4. Nargowalla, S.S., Prxybylowicz, E.P., Activation Analysis with Neutron Generators, volume 39, John Wiley & Sons (1973)
5. Agus Baskoro, Sudjatmoko, Mekanisme kontak logam Al dan Au dengan semikonduktor pada pembuatan detektor sawar muka, PPI-PPTN-BATAN Bandung, (Pebruari 1993).
6. Anderson, I.O. and Malmskog, S., Investigation of the pulse hight distribution of boron tri-fluoride proportional counters, Atomic Energy - 84 (1962).
7. Verhaege, J.L., Thielens G., Creten, W.L., Preparation and properties of boric acid containing ZnS(Ag) scintillator for the detection neutron radiation, App. Sci. Res., The Hague B10, 3-4 (1963) 247-56.

DISKUSI

Ilham:

1. Mengapa efisiensi detektor bervariasi terhadap ketebalan boron?
2. Apakah memang secara teoritis akan ada perbedaan karakteristik antara detektor sawar muka yang memakai logam Au dengan Al?

Agus Baskoro:

1. Ketebalan boron dalam senyawa H_3BO_3 yang tipis (ketebalan di bawah $0,2 \text{ g/cm}^2$) akan menghasilkan cacahan α menjadi tidak optimum, maka akan menghasilkan efisiensi yang lebih kecil. Sedang untuk ketebalan asam borat di atas $0,2 \text{ g/cm}^2$ neutron termal atau neutron energi yang lain bisa ditangkap dalam asam borat. Tidak akan menghasilkan cacah deteksi, karena α yang terbentuk akan diserap dalam asam borat sesudahnya.
2. Secara teoritis detektor sawar muka mempunyai efisiensi deteksi intrinsik 100% dan tidak bergantung dari apakah jendela radiasi yang digunakan dibuat dari Au atau Al. Beda pencacahan disebabkan hanya karena proses random saja.

Arlinah K:

1. Bagaimana jika sumber diganti dengan Am Be?
2. Apakah arti sawar muka?

Agus Baskoro:

1. Karena harga efisiensi dari detektor yang dibuat bergantung dari tampang lintang (τ) unsur boron yang digunakan, di mana harga τ bergantung dari tenaga radiasi neutron, padahal intensitas neutron sebagai fungsi tenaganya dari sumber Pu-Be dan Am-Be adalah berlainan. Maka, jika sumber yang digunakan dari Pu-Be diganti dengan Am-Be akan menimbulkan efisiensi deteksi yang berlainan.
2. Istilah sawar muka merupakan terjemahan dari *surface barrier* atau penghalang pada permukaan yang akan menimbulkan efek penyearahan (diode).

Faruq:

1. Detektor yang dikembangkan untuk tingkat energi kelompok mana; termal, epitermal, fast.
2. Efisiensi detektor tersebut apakah sudah sebanding dengan pencacah neutron lain?. Bagaimana perbandingannya?.
1. Dalam penelitian ini detektor yang dikembangkan bisa untuk mendeteksi semua tenaga neutron dari termal, epitermal, dan fast, karena unsur boron yang digunakan bisa mengkonversi semua tingkat energi neutron menjadi radiasi α .
2. Dalam perhitungan efisiensi memang dibandingkan dengan pencacah lain, yaitu detektor keping indium dengan analisis aktivasi.