

**ANALISIS PENGUKURAN FLUKS NEUTRON TERMAL
DI FASILITAS SILIKON DOPING RSG G.A. SIWABESSY**
Jaka Iman¹, Elisabeth Ratnawati², Sutrisno³, Azriani⁴
PRSG-BATAN, Gd.31 Lt.2, Kawasan Puspipstek, Serpong, Tangerang,
Banten, 15310, Telp.(021) 7560908, Faks. (021) 7560573
E-mail : jakaiman@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS PENGUKURAN FLUKS NEUTRON TERMAL DI FASILITAS SILIKON DOPING RSG G.A. SIWABESSY. Telah dilakukan analisis pengukuran fluks neutron termal di fasilitas silikon doping RSG-GAS dengan metode aktivasi keping. Pengukuran fluks neutron termal dilakukan dengan menggunakan keping emas (Au) sebanyak 5 buah untuk masing-masing piringan (*layer*) yang diletakkan di atas piringan (*layer*) dengan jarak yang sama. Pengukuran fluks neutron termal dilakukan pada daya reaktor 15 MW dan diiradiasi selama 15 menit. Hasil dari pengukuran fluks neutron termal arah aksial menunjukkan bahwa dari piringan (*layer*) 1 sampai dengan piringan (*layer*) 4 mempunyai harga fluks neutron termal merata homogen di setiap piringan (*layer*) sebesar $1.19E12 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ dengan harga penyimpangan $\pm 10\%$.

Kata kunci : silikon doping, aktivasi, fluks neutron, keping, termal

ABSTRACT

ANALYSIS OF THERMAL NEUTRON FLUX MEASUREMENT AT SILICON DOPING FACILITY OF RSG GA SIWABESSY. It has been done the analysis of thermal neutron flux measurements at the silicon doping facility of RSG-GAS by activating foil method. Thermal neutron flux measurement is done by using 5 pieces of gold (Au) foils for each disc (*layer*) which is placed on the disc (*layer*) with the same distance. Thermal neutron flux measurements performed at 15 MW power reactors and irradiated for 15 minutes. The results of the thermal neutron flux measurements show that the axial direction of the disc (*layer*) 1 up to disk (*layer*) 4 having the average value of thermal neutron flux homogeneous in each dish (*layer*) of $1.19E12 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ at a standard deviation $\pm 10\%$.

Keywords: silicon doping, activation, neutron flux, thermal, pieces

1. PENDAHULUAN

Dalam penelitian “penyisipan” (*doping*) kristal silikon oleh pengotor inti fosfor dari hasil dari transmudasi inti silikon yang menangkap sebuah neutron termal, diperlukan data fluks neutron termal untuk seluruh energi neutron di fasilitas tempat proses silikon *doping* tersebut terjadi. Untuk memperoleh hasil penelitian yang baik diperlukan data fluks neutron yang akurat. Cukup banyak metode pengukuran fluks neutron yang telah dikembangkan, salah satunya adalah metode aktivasi keping. Prinsip dari metode tersebut cukup sederhana yaitu dengan mengaktifkan suatu material (keping) yang telah diketahui kadar dan karakteristiknya bila berinteraksi dengan neutron, kemudian material (keping) tersebut diukur aktivitasnya dengan sistem peralatan spektrometri gamma. Pada makalah ini dibahas secara garis besar proses pengaktifan keping, pengukuran aktivitas keping serta penentuan fluks neutron di fasilitas silikon *doping* RSG-GAS.

Tujuan dari pengukuran fluks neutron termal di fasilitas silikon doping RSG-GAS adalah

untuk mengetahui besar fluks neutron termal di fasilitas tersebut.

Fluks neutron termal ditentukan dari hasil pengukuran aktivitas jenuh per inti dari keping yang telah diiradiasi. Untuk memperoleh hasil penentuan fluks neutron yang akurat hendaknya digunakan spektrum awal yang berasal dari perhitungan teoritis yang mendekati kondisi teras yang sebenarnya.

2. TEORI

Berdasarkan metode aktivasi keping, pengukuran fluks neutron ditentukan dari hasil pengukuran aktivitas keping yang telah diiradiasi selama waktu tertentu. Besarnya aktivitas keping sebanding besarnya fluks neutron dan lamanya iradiasi. Semakin besar fluks neutron dan semakin lama keping aktivasi diiradiasi maka semakin besar aktivitas keping tersebut. Karena besarnya aktivitas keping dapat diukur dengan suatu peralatan sistem spektrometri gamma, maka besarnya fluks neutron dapat ditentukan berdasarkan hasil pengukuran aktivitas keping.

Bila suatu keping aktivasi diiradiasi di dalam medan fluks neutron yang berenergi beraneka ragam dari neutron termal, maka aktivitas yang timbul pada keping disebabkan oleh semua jenis neutron tersebut. Dalam hal ini penentuan fluks neutron menjadi agak sulit. Maka untuk mengukur fluks neutron termal digunakan keping emas (Au).

Berdasarkan hasil pengukuran aktivitas keping emas (Au) yang digunakan, besarnya fluks neutron termal ditentukan dengan persamaan :

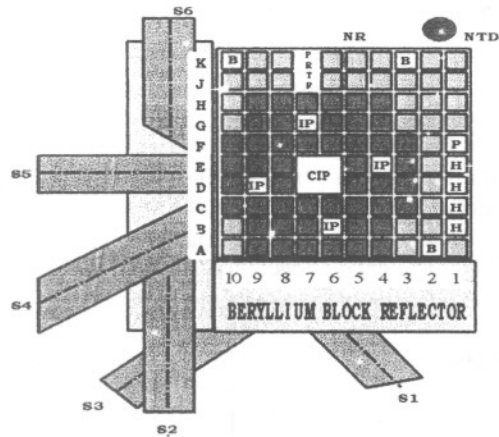
$$\varphi = \frac{BA.A(t) \cdot e^{\lambda \cdot t_d} \cdot t_m}{m \cdot N_o \cdot \sigma_{th} (1 - e^{-\lambda \cdot t_i}) \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t_m})} \quad (1)$$

dengan

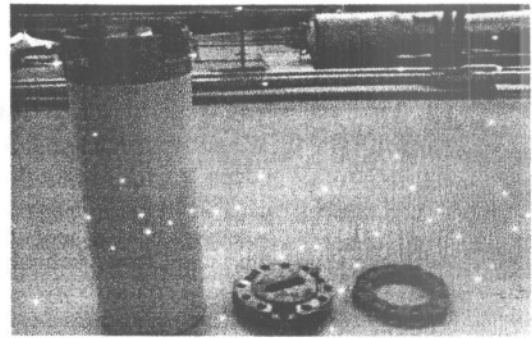
- BA = berat atom detektor keping
- A(t) = aktivitas terukur keping
- λ = tetapan peluruhan isotop yang timbul (s^{-1}).
- t_d = waktu peluruhan
- t_m = waktu pengukuran
- t_i = waktu iradiasi
- m = massa keping
- N_o = bilangan Avogadro
- σ_{th} = tampang lintang inti keping terhadap neutron termal.

3. TATA KERJA

Pengukuran fluks neutron dilakukan di dalam fasilitas silikon *doping* RSG-GAS. Konfigurasi teras RSG-GAS dengan fasilitas pendukung diperlihatkan pada Gambar 1 dan kapsul silikon *doping* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Konfigurasi teras RSG-GAS dengan fasilitas pendukung.

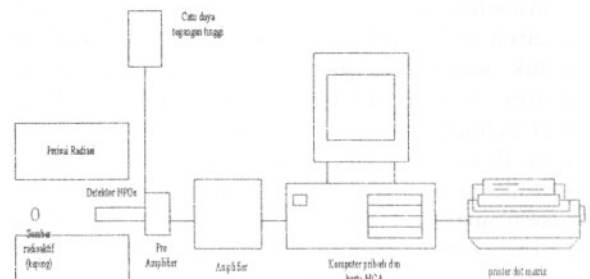


Gambar 2. Kapsul silikon *doping*

Pengukuran fluks neutron termal menggunakan keping emas (Au) dengan data geometri dan massa yang tertera pada Tabel 1. Keping emas (Au) tersebut diletakkan di atas piringan (*layer*) dengan jarak yang sama sebanyak 5 (lima) buah keping dimana kristal silikon akan di-dop. Karena fasilitas tersebut dilengkapi dengan alat pemutar kapsul, maka untuk posisi bagian tengah dapat dianggap paparan fluks neutronnya merata.

Langkah-langkah dalam proses iradiasi keping dimulai dari mengidentifikasi keping-keping dan meletakkannya di atas piringan (*layer*) dengan jarak yang sama hingga 6 piringan (*layer*) disusun ke dalam kapsul silikon *doping* dan dimasukkan ke dalam fasilitas iradiasi silikon *doping*. Setelah kapsul pada posisi iradiasi, reaktor dioperasikan pada daya 15 MW dan diiradiasi selama 15 menit. Kapsul dikeluarkan dari fasilitas iradiasi silikon *doping* setelah pendinginan beberapa hari (sesuai ketentuan). Keping-keping emas (Au) yang telah diiradiasi dikeluarkan dari kapsul kemudian diukur paparannya (20 mR) untuk dicacah.

Peralatan yang digunakan dalam pengukuran aktivitas keping-keping tersebut adalah detektor germanium yang berkemurnian tinggi (HPGe) dan sistem DSA-1000 (sistem MCA), dengan perangkat lunak Genie 2000. Rangkaian peralatan sistem spektrometri gamma dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian peralatan sistem spektrometri gamma.

Karena metoda pengukuran aktivitas keping ini dengan metode relatif, maka digunakan beberapa isotop sumber standar (Ba-133, Cs-137, Co-60) untuk mengkalibrasi sistem peralatan pencacahan radiasi gamma. Setelah sistem peralatan pencacahan

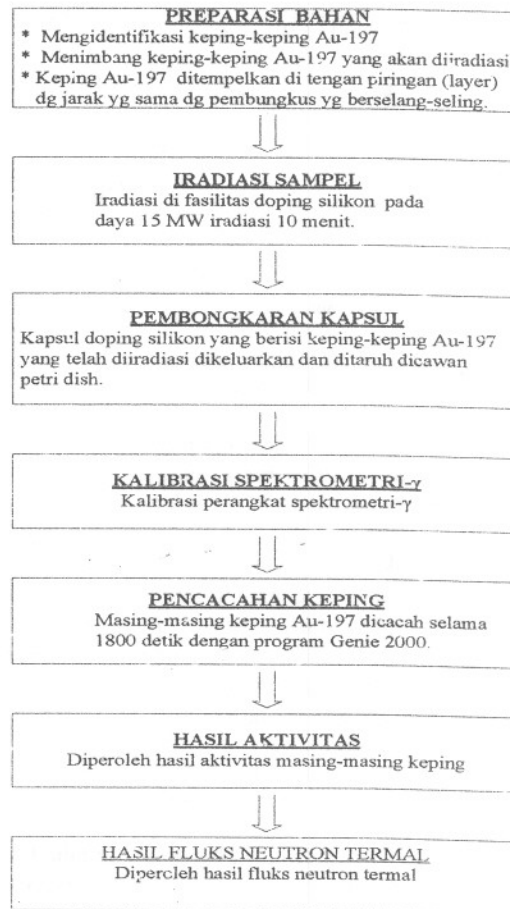
tersebut dikalibrasi, maka pencacahan keping yang telah diiradiasi dilakukan satu per satu dan ditentukan aktivitas jenuh per intinya.

Tabel 1. Data geometri dan massa keping

No.	Jenis Keping	Tebal (mm)	Dia. (mm)	Massa (gram)	Kemurnian (%)
1	Au-197	0,127	12,7	0,2893	99,99
2	Au-197	0,127	12,7	0,2867	99,99
3	Au-197	0,127	12,7	0,2917	99,99
4	Au-197	0,127	12,7	0,2959	99,99
5	Au-197	0,127	12,7	0,2921	99,99
6	Au-197	0,127	12,7	0,3041	99,99
7	Au-197	0,127	12,7	0,3043	99,99
8	Au-197	0,127	12,7	0,3062	99,99
9	Au-197	0,127	12,7	0,3105	99,99
10	Au-197	0,127	12,7	0,3123	99,99
11	Au-197	0,127	12,7	0,3135	99,99
12	Au-197	0,127	12,7	0,3212	99,99
13	Au-197	0,127	12,7	0,3179	99,99
14	Au-197	0,127	12,7	0,3196	99,99
15	Au-197	0,127	12,7	0,2919	99,99
16	Au-197	0,127	12,7	0,3122	99,99
17	Au-197	0,127	12,7	0,2653	99,99
18	Au-197	0,127	12,7	0,2631	99,99
19	Au-197	0,127	12,7	0,2964	99,99
20	Au-197	0,127	12,7	0,3178	99,99
21	Au-197	0,127	12,7	0,3100	99,99
22	Au-197	0,127	12,7	0,2966	99,99
23	Au-197	0,127	12,7	0,2823	99,99
24	Au-197	0,127	12,7	0,2938	99,99
25	Au-197	0,127	12,7	0,2984	99,99
26	Au-197	0,127	12,7	0,2865	99,99
27	Au-197	0,127	12,7	0,3332	99,99
28	Au-197	0,127	12,7	0,3087	99,99
29	Au-197	0,127	12,7	0,3093	99,99

30	Au-197	0,127	12,7	0,3370	99,99
----	--------	-------	------	--------	-------

Besarnya fluks neutron termal dapat ditentukan secara langsung dengan menggunakan rumusan pers. (1) Tahapan-tahapan pengukuran fluks neutron termal dapat dilihat pada diagram alir Gambar 4.



Gambar 4. Skema diagram alir pengukuran fluks neutron termal.

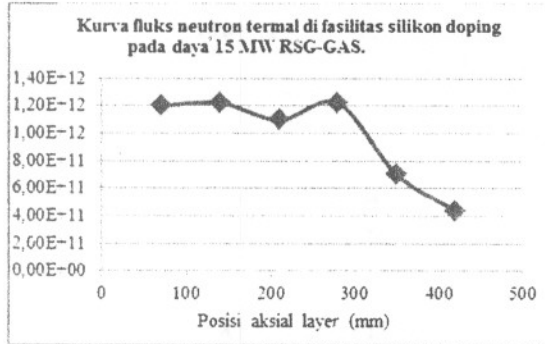
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran distribusi fluks neutron termal dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3 dan kurva fluks neutron di fasilitas silikon doping RSG G.A. Siwabessy digambarkan pada Gambar 5.

Tabel 2. Hasil pengukuran Fluks neutron termal di fasilitas silikon doping RSG-GAS.

	Posisi aksial layer (mm)	Fluks Neutron Termal (n/cm ² .s)	Penyimpangan (%)
1	70 (bawah)	1,20E+12	22,52
2	140	1,22E+12	24,67

3	210	1,10E+12	11,92
4	280	1,22E+12	24,65
5	350	7,03E+11	28,38
6	420 (atas)	4,40E+11	55,19
Rata-rata		9,81E+11	27,89



Gambar 5. Kurva fluks neutron termal di fasilitas silikon doping RSG-GAS.

Dari Gambar 5, terlihat bahwa harga fluks neutron termal dari layer 1 (70 mm) sampai layer 4 (280 mm) mempunyai harga fluks relatif sama karena interaksi neutronnya cukup besar dan layer 5 dan layer 6 berikutnya mengalami penurunan yang cukup signifikan dikarenakan pada layer 5 (350 mm) dan layer 6 (420 mm) terletak pada posisi atas sehingga sedikit sekali berinteraksi dengan neutron. Dari data tersebut dapat dihitung harga kehomogenan dengan formulasi sbb:

$$Kehomogenan = \frac{(Fluks tertinggi - Fluks terendah)}{Fluks rata-rata}$$

Kehomogenan = 79,51 %, harga ini terlalu besar yaitu melebihi persyaratan harga kehomogenan maksimum ± 10%. Sehingga dari data tersebut Fasilitas silikon doping tidak layak digunakan untuk iradiasi target silikon dari layer paling bawah hingga layer tertinggi. Akan tetapi dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa tren fluks neutron termal dari layer 1 hingga layer 4 mendekati sama pada orde 10¹².

Tabel 3. Hasil pengukuran fluks neutron termal di fasilitas silikon doping RSG-GAS yang homogen.

Posisi aksial layer (mm)	Fluks Neutron Termal (n/cm ² .s)	Penyimpangan (%)
1 70 (bawah)	1,20E+12	1,35
2 140	1,22E+12	3,19
3 210	1,10E+12	7,42
4 280	1,22E+12	2,95

Rata-rata	1,19 E+12	3,73
-----------	-----------	------

Maka harga kehomogenan dapat dihitung dengan

$$Kehomogenan = \frac{(Fluks tertinggi - Fluks terendah)}{Fluks rata-rata}$$

Kemohogenan = 10,08 %, harga ini mendekati harga persyaratan kehomogenan maksimum ± 10%. Sehingga fasilitas silikon doping dapat digunakan atau layak untuk iradiasi target silikon ingot dari dasar kapsul hingga ketinggian 280 mm.

5. KESIMPULAN

Dari analisis pengukuran fluks neutron di fasilitas silikon doping di RSG-GAS dapat disimpulkan, bahwa fasilitas tersebut layak digunakan untuk mengiradiasi silikon ingot sepanjang maksimum 280 mm dan diletakkan dari dasar kapsul silikon. Dan diperlukan pengukuran fluks neutron termal di fasilitas silikon doping berikutnya untuk pembandingan.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak baik langsung maupun tidak langsung atas terselesaikannya makalah ini. Ucapan terima kasih tersebut terutama disampaikan kepada Ka.Sub.Bid. Akuntansi Bahan Nuklir dan staf, staf Sub.Bid. Pelaksanan Operasi, staf Sub.Bid. Perencanaan operasi dan staf Sub.Bid. Keselamatan Operasi dalam pengukuran fluks neutron termal di fasilitas silikon doping ini.

7. DAFTAR PUSTAKA

- JAKA IMAN, SALEH HARTAMAN, EDISON SIHOMBING, "Evaluasi Fluks Neutron Termal di Fasilitas PRTF RSG-GAS," Prosiding Seminar Nasional XI SDM Teknologi Nuklir STTN, 2015, pp. 292-296.
- JAKA IMAN, ASNUL S., KAWKAB M., ROYADI, "Distribusi Fluks Neutron Termal Daya 2 MW Pada Posisi Iradiasi B-6, D-9 dan G-7 Reaktor RSG-GAS," Prosiding Seminar Nasional IX SDM Teknologi Nuklir STTN, 2013, pp. 221-225.
- SUWOTO, "Evaluasi Fluks Neutron Termal dan Epitermal di Fasilitas Iradiasi Rabbit Sistem," Prosiding Hasil Penelitian Pusat Pengembangan Teknologi Reaktor Riset-BATAN, 2005.
- AMIR HAMZAH "Pengukuran Fluks Neutron," Diklat Selingkung (in House Training) Manajemen Teras RSG-GAS, Tahun 1999-2000.