

---

---

## PENGUJIAN FASILITAS IRADIASI SYSTEM RABBIT NORMAL RSG-GAS DENGAN BAHAN ACUAN STANDAR

**Th. Rina Mulyaningsih, Elizabeth R, Rochidi**  
**Pusat Pengembangan Teknologi Reaktor Riset - BATAN**

### ABSTRAK

**PENGUJIAN FASILITAS IRADIASI *SYSTEM RABBIT* NORMAL RSG-GAS DENGAN BAHAN ACUAN STANDAR.** Telah dilakukan pengujian kinerja sistem *rabbit* dengan pengujian sampel bahan acuan standar SRM 2702 Inorganics in marine sediment. Aktivasi dilakukan pada *rabbit system* (RS1, RS2, RS3, dan RS4). Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kinerja sistem tersebut. Pengujian dilakukan dua kali pengulangan tiap sampel. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kinerja RS1, RS2, RS3 cukup baik, sedangkan RS4 memberikan hasil dimana unsur-unsur yang dapat dianalisis memiliki tingkat presisi dan akurasi yang tidak memenuhi syarat (ditolak). Sebaiknya pengujian ini perlu dilakukan lagi (diteruskan), karena dalam penelitian ini kesimpulan tentang kinerja sistem *rabbit* masih meragukan (kurang valid).

### ABSTRACT

**HYDROLIC RABBIT SYSTEM OF RSG-GAS IRRADIATION FACILITY TESTING USING STANDARD REFERENCE MATERIAL** The performance testing of system rabbit was done by analysis of SRM 2702 Inorganics in marine sediment samples. The activation was done in the rabbit system (RS1, RS2, RS3 and RS4). The purpose of this testing is to know the performance of this system. The testing has been done twice. The result of the testing showed that the performance of RS1, RS2 and RS3 is good, but the RS 4 showed that the elements can be analyzed had failed (rejected) precision and accuracy. The retesting shall be done, because the conclusion for the performance of rabbit system is invalid.

### PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna GA Siwabessy dilengkapi dengan fasilitas iradiasi 5 sistem rabbit, yaitu 4 sistem rabbit dengan kecepatan normal (sistem hidrolis) dan 1 sistem rabbit dengan kecepatan tinggi (sistem pneumatik). Fasilitas ini berguna untuk iradiasi bahan di dalam reaktor. Selama reaktor beroperasi, sistem rabbit memungkinkan pemindahan sampel yang akan diiradiasi ke dalam daerah inti/*core* reaktor untuk diiradiasi dan pengeluaran sampel yang telah diiradiasi untuk dievaluasi.

Pada analisis/pengujian bahan dengan aktivasi neutron yang mana aktivasi ini dilakukan di fasilitas sistem rabbit reaktor, maka kinerja sistem ini sangat menentukan. Untuk mendapatkan hasil pengujian yang akurat dan memiliki reproduktibilitas tinggi, maka pengujian kinerja fasilitas iradiasi sistem rabbit perlu dilakukan. Karena itu pada penelitian ini telah dilakukan pengujian kinerja sistem rabbit hidrolis RSG-GAS yang saat ini biasa digunakan pada proses iradiasi bahan, yaitu Sistem Rabbit (RS) 1, RS2,

---

RS3 dan RS4. Sebelumnya sistem rabbit yang sering digunakan adalah RS1 dan RS2. Pengujian dilakukan bukan terhadap kinerja mekanik sistem rabbit tersebut, tetapi didasarkan pada hasil yang diperoleh terhadap pengujian dengan aktivasi neutron terhadap bahan standar bersertifikat. Pada pengujian ini dibatasi yaitu hanya digunakan radionuklida dengan waktu paruh panjang, sehingga proses iradiasi dilakukan dalam waktu yang cukup lama, yaitu 2 jam. Dengan kriteria seberapa jauh hasil pengujian tersebut dapat masuk kedalam kriteria penerimaan terhadap tingkat presisi dan akurasi bila dibandingkan terhadap nilai sebenarnya dalam sertifikat. Dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui pada posisi mana proses aktivasi bahan dapat berlangsung paling optimal.

## **DASAR TEORI**

### **Fasilitas iradiasi**

Fasilitas-fasilitas iradiasi yang ada di RSG-GAS<sup>[1]</sup> ditinjau dari posisinya dapat dibagi menjadi tiga yaitu: fasilitas yang terletak di teras reaktor, fasilitas yang terletak di berilium dan fasilitas yang terletak di samping teras reaktor. Fasilitas yang terletak di teras reaktor digunakan untuk produksi radioisotop, dan penelitian elemen bakar reaktor daya yang memerlukan fluks neutron tinggi. Fasilitas iradiasi yang terletak di berilium digunakan untuk produksi radioisotop dan penelitian aktivasi neutron. Fasilitas yang terletak di samping teras reaktor digunakan untuk silikon doping, neutron radiografi dan penyediaan tabung berkas neutron.

### **RABBIT SYATEM (RS)**

RS adalah fasilitas iradiasi untuk melakukan penelitian aktivasi neutron dan produksi radioisotop. Ada dua jenis sistem rabbit yaitu hidrolis dan pneumatik. Media pengangkut kapsul iradiasi pada sistem rabbit hidrolis adalah air sedangkan media pengangkut pada sistem rabbit pneumatik adalah gas nitrogen. Disamping sebagai media pengangkut, air dan gas ini berfungsi sebagai pendingin kapsul selama iradiasi berlangsung

Sistem rabbit pada dasarnya terdiri atas:

- stasiun iradiasi
- tabung/pipa
- stasiun pengiriman dan penerimaan

- sistem proses
- elektroteknikal dan instrumentasi
- dan sistem control

**Tabel 1. Rancangan dasar sistem rabbit<sup>[1]</sup>**

Deskripsi	Sistem rabbit hidrolik	Sistem rabbit pneumatik
Jumlah	4	1
Ukuran pipa transfer	Diameter dalam 36 mm	Diameter dalam 20 mm
Media pengangkut dan pendingin	air	Gas nitrogen
Material pipa transfer	Dalam kolam AlMg <sub>3</sub> , luar kolam stainless steel	Dalam kolam AlMg <sub>3</sub> , luar kolam stainless steel
Tekanan operasi	Tekanan sekeliling	1,5 bar
Kecepatan transfer	0,6 m/dt	10 m/dt
Material rabbit	Plastik, aluminium	plastik
Lama iradiasi minimum	0,2 dt	0,2 dt
Kecepatan pendingin sekeliling kapsul	Minimum 0,6 m/dt	Minimum 35 m/dt
Bahan diiradiasi	- kimia anorganik (KCl, KBr, dll) - kimia organic (glikogen, polystyrene, dll) - Eksperimen physic (Gd+Eu, dll) - Biofisik (tiroid, Iodin, dll) - Kelautan (Mn, kerang, dll) - Teknologi semikonduktor (Ge, Si, dll) - material fisik (Co, Ni, Cd, dll) - Makanan	Aluminium Tembaga Perak Vanadium Chromium Samarium Gadolinium Cobalt Tallium
Ukuran sampel	Diameter 25 mm Panjang 96 mm	Bola s.d diameter 2 mm
Berat sampel	Maksimum 70 g	0,01 – 0,05 g
Ukuran kapsul	Diameter luar 33 mm Panjang 96 mm	Diameter luar 18 mm Panjang 46 mm
Berat sampel dan kapsul	Maksimum 100 g	Maksimum 10 g
Panas spesifik	15 W/g	5 W/g

**Tabel 2. Flux Neutron thermal pada fasilitas iradiasi sistem rabbit\***

No	Posisi	Flux neutron (n cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
1.	RS -1	4,86 x 10 <sup>13</sup>
2.	RS-2	5,10 x 10 <sup>13</sup>
3.	RS-3	5,45 x 10 <sup>13</sup>
4.	RS-4	5,45 x 10 <sup>13</sup>

\*) Hasil pengukuran oleh Suwoto pada saat reaktor beroperasi 15 MW.

## Neutron dan Reaksi Nuklir

Ada beberapa jenis sumber neutron (reaktor, akselator dan radioisotop pemancar neutron), tetapi yang paling baik digunakan untuk keperluan analisis aktivasi neutron adalah reaktor nuklir, karena memiliki fluks neutron yang tinggi dari hasil reaksi fisi  $^{235}\text{U}$ . Neutron yang dihasilkan dari reaksi fisi memiliki kisaran energi hingga 15 MeV dan energi rata-rata sekitar 2 MeV. Melalui tumbukan elastik dengan inti moderator, dengan cepat neutron hasil fisi tertermalisasi menjadi neutron thermal, epitermal dan neutron cepat. Neutron thermal memiliki energi rendah dibawah 0,5 eV. Pengukuran fluks neutron termal pada umumnya dilakukan dengan fluks monitor cobalt dengan reaksi  $^{59}\text{Co}(n\gamma)^{60}\text{Co}$ , yang memiliki tampang lintang 37,1 barn (1 barn =  $10^{-24}$  cm<sup>2</sup>).

## Aktivasi dan Persamaan Peluruhan

Dalam AAN, kecepatan cacah A dari peluruhan sinar gamma yang dipancarkan oleh radionuklida pada saat pengukuran tergantung pada kecepatan disintegrasi, D, pada akhir iradiasi, yang proposional dengan jumlah unsur target dalam cuplikan. Rumus dasar dalam AAN untuk aktivasi dan peluruhan radionuklida dengan waktu paruh  $t_{1/2}$  adalah sebagai berikut: <sup>[2]</sup>

$$D = (NWF / M)R[1 - \exp(-\lambda T_i)] \dots\dots\dots (1)$$

$$A = \varepsilon TD \exp(-\lambda T_d) \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

- N = bilangan Avogadro,  $6,023 \times 10^{23}$  atom/mol
- W = berat unsur diiradiasi dalam gram
- F = *abundance* dari isotop target
- M = berat atom unsur
- R = kecepatan reaksi nuklir per inti isotop target
- $\lambda$  = konstanta peluruhan ( $\ln 2/t_{1/2}$ ) radionuklida
- T = *branching ratio* dari gamma ray yang teridentifikasi
- $\varepsilon$  = efisiensi detektor
- Ti = lama iradiasi
- Td = lama peluruhan

Pada reaksi dengan neutron, pembentukan produk tergantung pada besar fluks neutron.<sup>[3]</sup> Semakin besar fluks neutron, maka semakin besar kecepatan aktivasi, yang

---

juga sebanding dengan jumlah inti yang ada dalam target. Jumlah inti dalam target ini tergantung pada *isotopic abundance* dari isotop yang diamati. Sedangkan bilangan Avogadro menyatakan jumlah total atom didalam tiap unsur dengan berat atom tertentu.

## PELAKSANAAN PENELITIAN

Untuk pengujian kinerja peralatan sistem iradiasi (sistem rabbit) digunakan bahan acuan standar bersertifikat produk dari NIST, SRM No. 2702 *In organic marine sediment*. Pengujian hanya dilakukan dengan menggunakan unsur-unsur yang memiliki waktu paruh panjang. Hal ini disebabkan karena, untuk unsur-unsur dengan waktu paruh pendek dan medium, pernah dicoba dilakukan tetapi mengalami kendala untuk menentukan waktu yang tepat/waktu sebenarnya proses iradiasi berlangsung di dalam teras reaktor. Terutama untuk unsur dengan waktu paruh pendek, telah dicoba iradiasi dengan waktu 1 menit, terkadang cuplikan sudah aktif, tetapi dikesempatan lain bahan belum teraktivasi.. Karena fasilitas yang paling tepat untuk iradiasi unsur dengan waktu paruh pendek adalah pada fasilitas Rabbit Pneumatik.. Tetapi dalam kesempatan lain pengujian untuk unsur dengan waktu paruh medium akan dilakukan.. Berat cuplikan sekitar 80 mg, dan sebagai pembanding digunakan standar campuran dengan komposisi hampir sama dengan komposisi cuplikan yang dipakai sebagai bahan penguji. Cuplikan dan standar dibuat rangkap dua. Langkah selanjutnya adalah pengepakan cuplikan dan bahan standar ke dalam *vial* polietylen. Kemudian cuplikan dimasukkan ke dalam kapsul iradiasi dari aluminium. Iradiasi dilakukan secara bersamaan antara cuplikan dan unsur standar, pada saat reaktor beroperasi 15 MW, dan pada saat bersamaan dilakukan pengukuran fluks neutron dengan fluks monitor Au di fasilitas yang diuji . Waktu iradiasi masing-masing 2 jam, pada posisi iradiasi yang akan diuji kinerjanya, yaitu RS1, RS2, RS3 dan RS4. Setelah diiradiasi cuplikan kemudian didinginkan selama 1 minggu, yaitu untuk meluruhkan radionuklida-radionuklida waktu paruh pendek dan medium yang mungkin akan mengganggu pada saat pencacahan. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap data hasil pencacahan. Data hasil analisis yang diperoleh digunakan untuk mengetahui kondisi optimal dari ke-4 sistem rabbit yang diuji.

---

---

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian yang dilakukan terhadap fasilitas iradiasi di Reaktor Serba Guna G.A. Sywabessy, ditunjukkan oleh Tabel 3. Dari tabel ini dapat diketahui bahwa pada posisi RS 1, setelah dilakukan iradiasi dan analisis terhadap cuplikan SRM 2702 menunjukkan bahwa fasilitas ini bekerja cukup baik. Dari hasil analisis dapat terdeteksi unsur-unsur waktu paruh panjang diantaranya adalah Sc yang memiliki tingkat akurasi dan presisi bagus, memiliki nilai konsentrasi yang mendekati nilai sebenarnya (tercantum dalam sertifikat dari NIST). Unsur ini terbentuk dari reaksi  $^{45}\text{Sc}(n, \gamma)^{46}\text{Sc}$ , memiliki *isotop abundance* 1,00 danampang lintang reaksi neutron ( $\sigma_{th}$ ) 26,3 barn ( $26,3 \cdot 10^{-28} \text{m}^2$ ). Demikian juga dengan unsur Cr, Fe, Co, Pa, Ba dan Rb didapat hasil pengujian yang memiliki nilai akurasi dan presisi baik. Sedangkan Sb memiliki nilai akurasi bagus tetapi presisi tidak baik, ini karena pada saat pengulangan pengujian (dilakukan duplo) dihasilkan dua nilai yang agak berjauhan/bervariasi.

Pengujian Rabbit system-2 (RS2) menunjukkan bahwa hasil analisis untuk unsur Sc memberikan nilai konsentrasi di dalam kisaran nilai benar dari nilai yang sebenarnya, demikian juga dengan unsur Cr, Fe, Co, Pa, dan Rb memberikan nilai akurasi dan presisi yang cukup bagus. Sedangkan untuk unsur Ba konsentrasi terukur jauh dibawah nilai sertifikat dan setelah diuji tingkat akurasi dan presisinya tidak bagus. Konsentrasi unsur Sb terukur diatas nilai sertifikat.

Pengujian RS3 memberikan hasil lebih baik dibandingkan RS2. Pada iradiasi dengan fasilitas ini memberikan hasil analisis untuk unsur Sc, Cr, Fe, Co, Pa, Ba, dan Rb dengan tingkat akurasi dan presisi yang baik. Kecuali untuk unsur Sb memberikan hasil yang cukup akurat, tetapi presisinya jelek.

Pengujian RS4 memberikan hasil analisis unsur-unsur yang jelek. Semua unsur yang terdeteksi nilainya jauh dibawah nilai sertifikat, sehingga setelah dilakukan pengujian akurasi, semuanya tidak lolos (ditolak), walaupun pada pengulangan memiliki tingkat presisi yang baik.

Dari pengujian yang telah dilakukan, bila dilihat hasilnya dapat diketahui bahwa pada pengujian RS4 memberikan hasil kinerja aktivasi yang paling jelek, sedangkan pengujian RS1, RS2 dan RS3 memberikan hasil uji yang mendekati nilai standar, sehingga dapat dikatakan bahwa kinerja fasilitas ini baik. Terjadinya perbedaan ini hasil bisa disebabkan karena :

- 
- perbedaan berat sampel yang diaktivasi. Sensitifitas pengujian akan semakin baik dengan adanya kenaikan berat sampel, dan pada pengujian ini berat sampel yang diaktivasi pada RS1, memang paling besar, yaitu rata-rata 108,87 mg, sedangkan RS4 adalah 79,0 mg, dan kisarannya adalah 63,2 – 108,87 mg.
  - Waktu iradiasi, disini waktu iradiasi sampel di RS1, RS2, RS3, dan RS4 adalah sama 2 jam
  - Berat atom, *isotopic abundance* dan tampang lintang tiap unsur target dalam sampel juga berpengaruh terhadap sensitifitas hasil, semakin besar nilainya maka sensitifitas hasil yang diperoleh akan semakin baik.
  - Fluks neutron di lokasi iradiasi dilakukan, semakin besar fluks neutron, maka semakin bagus kecepatan aktivasinya dan ini sebanding pula dengan jumlah inti teraktivasi dalam target. Dari hasil pengukuran yang dilakukan terhadap fluks neutron thermal di RS1, RS2, RS3 dan RS4 (Tabel 2) pada saat penelitian ternyata memberikan nilai kisaran fluks neutron yang hampir sama sekitar  $4,86 \times 10^{13} - 5,45 \times 10^{13} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$

**Tabel 3. Hasil Analisis SRM 2702 pada Pengujian Sistem Rabbit Reaktor.**

Posisi	Unsur	Hasil analisis		Sertifikat <sup>[4]</sup>		Kriteria akurasi <sup>[5]</sup>			Kriteria Presisi		Status akhir	
		Nilai (mg/kg)	U* (±)	Nilai (mg/kg)	U* (±)	$ N_i - N_a $	$1,95 \times \sqrt{U_i^2 + U_a^2}$	Status	$\sqrt{\left(\frac{U_i}{N_i}\right)^2 + \left(\frac{U_a}{N_a}\right)^2} \times 100$	$\sqrt{\left(\frac{U_i}{N_i}\right)^2 + (\sigma_H)^2}$		Status
RS1	Sc	24,4	1,2	25,9	1,1	1,5	3,2	diterima	6,6	32,0	diterima	diterima
	Cr	345,5	20,3	352,0	22,0	6,5	58,4	diterima	8,6	291,4	diterima	diterima
	Fe	77488	4142	79100	0,58	1612	8076	diterima	5,3	28976	diterima	diterima
	Co	27,0	1,7	27,8	0,58	0,8	3,4	diterima	6,5	33,7	diterima	diterima
	Sb	6,4	1,8	5,6	0,24	0,8	3,5	diterima	27,9	9,7	ditolak	ditolak
	Pa	18,6	1,1	20,5	0,96	1,9	2,8	diterima	7,3	26,5	diterima	diterima
	Ba	333	76	397	3,23	64	149	diterima	22,9	322,6	diterima	diterima
	Rb	141,6	25,3	127,7	8,80	13,9	52,3	diterima	19,2	123,3	diterima	diterima
RS2	Sc	25,3	1,3	25,9	1,1	0,6	3,3	diterima	6,6	32,0	diterima	diterima
	Cr	354,7	23,0	352,0	22,0	2,7	62,1	diterima	9,0	291,4	diterima	diterima
	Fe	76955	4112	79100	0,58	2145	8019	diterima	5,3	28976	diterima	diterima
	Co	29,8	2,1	27,8	0,58	2,0	4,3	diterima	7,4	33,7	diterima	diterima
	Sb	8,8	2,4	5,6	0,24	3,2	4,8	diterima	28,2	9,65	ditolak	ditolak
	Pa	21,2	1,3	20,5	0,96	0,67	3,15	diterima	7,72	26,45	diterima	diterima
	Ba	230	84,5	397	3,23	167	165	ditolak	36,7	322,63	diterima	ditolak
	Rb	193,7	42,5	127,7	8,80	66,0	84,5	diterima	22,9	123,3	diterima	diterima
RS3	Sc	24,3	1,2	25,9	1,1	1,6	3,2	diterima	6,7	32,0	diterima	diterima
	Cr	312,6	16,7	352,0	22,0	39,4	53,9	diterima	8,2	291,4	diterima	diterima
	Fe	77163	4417	79100	0,58	1938	8612	diterima	5,7	28976	diterima	diterima
	Co	24,8	2,0	27,8	0,58	3,0	4,1	diterima	8,3	33,7	diterima	diterima
	Sb	4,4	1,2	5,6	0,24	1,2	2,5	diterima	28,6	9,7	ditolak	ditolak
	Pa	20,5	1,3	20,5	0,96	0,01	3,2	diterima	7,9	26,5	diterima	diterima
	Ba	442,5	116,3	397	3,23	45,5	226,8	diterima	26,3	322,6	diterima	diterima
	Rb	131,2	22,6	127,7	8,80	3,5	47,3	diterima	18,6	123,3	diterima	diterima
RS4	Sc	19,1	1,0	25,9	1,1	6,8	2,9	ditolak	6,6	32,0	diterima	ditolak
	Cr	231,6	13,0	352,0	22,0	120,4	49,9	ditolak	8,4	291,4	diterima	ditolak
	Fe	61866	3467	79100	0,58	17234	6761	ditolak	5,6	28976	diterima	ditolak
	Co	22,9	1,6	27,8	0,58	4,9	3,3	ditolak	7,3	33,7	diterima	ditolak
	Sb	10,9	2,1	5,6	0,24	5,3	4,2	ditolak	19,9	9,65	ditolak	ditolak
	Pa	15,5	0,9	20,5	0,96	5,0	2,6	ditolak	7,4	26,45	diterima	ditolak
	Ba	230,8	52,3	397	3,23	166,2	102,1	ditolak	22,7	322,63	diterima	ditolak
	Rb	73,0	7,6	127,7	8,80	54,7	22,7	ditolak	12,5	123,3	diterima	ditolak

---

---

## KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan yaitu pengujian fasilitas system rabbit RS1, RS2, RS3, dan RS4 dengan aktivasi sampel bahan acuan standar SRM 2702 *marine sediment*, maka berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa kinerja RS1, RS3 dan RS2 baik, sedangkan RS4 kurang baik. Tetapi untuk lebih meyakinkan sebaiknya dimasa yang akan datang perlu dilakukan pengujian kembali, karena dua kali percobaan belum dapat mewakili hasil, sehingga agak susah untuk menarik kesimpulan yang valid.

## DAFTAR PUSTAKA

1. ANONIMOUS, "Safety Analysis Report" Vol 1, rev.8 MPR G.A Siwabessy, BATAN.
2. IAEA-TECDOC-564, "Practical Aspects of Operating a Neutron Activation Analysis Laboratory", a technical document issued by the IAEA, Vienna 1990.
3. SUSAN J. P, "Activation Spectrometry in Chemical Analysis" Vol.119, John Wiley & Sons, 1991
4. NIST, "Certificate of Analysis Standard Reference Material 2702 Inorganics in Marine Sediment", Gaithersburg, MD 20899, Certificate Issue date January 07, 2004.
5. TH.RINA M, "Validasi Metode Analisis Aktivasi Netron Sebagai Metode Pengujian di Lab. AAN Serpong" Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir, Tri Dasa Mega, Volume 6, Nomor 1, Pebruari 2004, ISSN 1411-240X