

## PENGARUH POSISI DAN LINEARITAS DETEKTOR *START-UP* DALAM PENGUKURAN FRAKSI BAKAR RSG-GAS PADA KONDISI SUBKRITIS

Purwadi

Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG) – BATAN

### ABSTRAK

**PENGARUH POSISI DAN LINEARITAS DETEKTOR *START-UP* DALAM PENGUKURAN FRAKSI BAKAR RSG-GAS PADA KONDISI SUBKRITIS.** Pengukuran fraksi bakar (*burn-up*) sangat penting untuk keselamatan operasi reaktor. Untuk reaktor riset, salah satu metode yang paling sederhana adalah melakukan pengukuran cacah neutron pada kondisi subkritis dengan detektor neutron yang sudah terpasang pada teras reaktor. Jumlah cacah neutron harus masuk dalam rentang linearitas detektor yang dipengaruhi oleh posisi detektor dari teras. Makalah ini akan menyajikan pengaruh posisi detektor dan linearitas cacah detektor sehingga hasil pengukuran fraksi bakar akan akurat. Reaktor RSG-GAS menggunakan dua detektor *fission chamber* JKT01 CF811 dan CF821 untuk pengukuran kondisi *start-up*. Hasil pengukuran daya terhadap cacah detektor menunjukkan bahwa kedua detektor mempunyai linearitas yang sangat baik. Jumlah cacah masing-masing harus lebih kecil dari 12.150 cps dan 14.110 cps untuk detector JKT01 CX811 dan CX821. Dengan menjaga posisi detektor, detektor memiliki respons yang sangat baik pada berbagai posisi bahan bakar yang hendak diukur. Hasil pengukuran ini menunjukkan bahwa detektor yang terpasang di RSG-GAS dapat digunakan untuk mengukur fraksi bakar dari elemen bahan bakar.

**Kata kunci:** fraksi bakar, linearitas, detektor, RSG-GAS, subkritis

### ABSTRACT

**POSITION AND LINEARITY EFFECT OF *START-UP* DETECTOR FOR *BURN-UP* MEASUREMENT ON RSG-GAS DURING SUBCRITICAL CONDITION.** Measurement of fuel burn-up is very important for the reactor safety operation. For research reactors, one of the simplest methods to measure the burn-up is to perform a neutron counts measurement during the subcritical conditions using an installed neutron detector in the reactor core. The number of neutron counts should be in the linearity range of detector depending on the detector position from the core. This paper describes the effect of the detector position and linearity so that the burn-up measurement results become accurate. The RSG-GAS reactor uses two fission chamber detectors of JKT01- CF811 and CF821 as start-up detectors. The results of the power versus neutron counts measurement indicates that both detectors have excellent linearity. The neutron counts should be less than 12,150 cps and 14,110 cps for JKT01- CX811 and CX821 detectors, respectively. By keeping the detector position, the detectors have a very good response for the various positions of the measured fuel elements. The measurement results showed that the installed detectors can be used to measure the fuel element burn up of the RSG-GAS.

**Keywords:** burn up, linearity, detectors, RSG-GAS, subcritical

## PENDAHULUAN

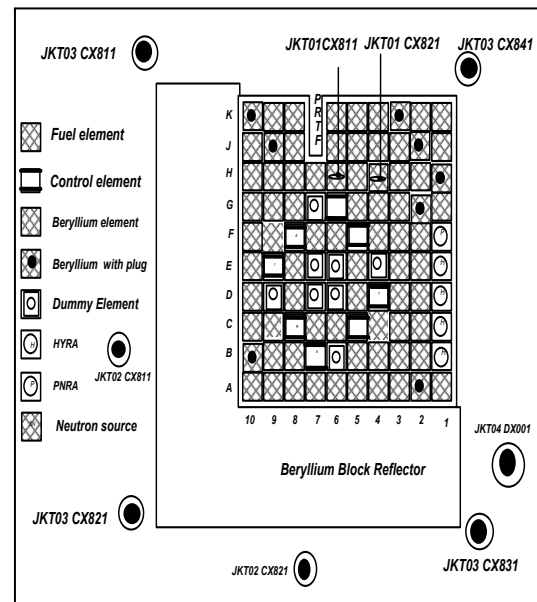
Reaktor RSG-GAS adalah reaktor riset jenis kolam, menggunakan bahan bakar jenis MTR (*Material Testing Reactor*) berpengkayaan  $^{235}\text{U}$  rendah sebesar 19,75% dengan kerapatan uranium sebesar 2,96 g/cc atau setara dengan 250 g U-235 dalam setiap elemen bakar standar. Reaktor RSG-GAS menggunakan reflektor berilium, pendingin dan moderator air ringan dengan daya termal maksimum 30 MW yang mencapai kekeritisan pertama pada 1987<sup>[1]</sup>. Pada daya nominal, reaktor dapat menghasilkan fluks neutron termal rata-rata sebesar  $2.10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>s<sup>[2]</sup>. Awalnya reaktor RSG-GAS menggunakan bahan bakar oksida ( $\text{U}_3\text{O}_8\text{-Al}$ ) dan melalui teras transisi maka pada tahun 2002 menggunakan bahan bakar silisida ( $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ )<sup>[3]</sup>. Reaktor RSG-GAS dioperasikan untuk keperluan penelitian-penelitian bidang ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir serta untuk melayani kegiatan iradiasi nuklir. Penelitian bidang teknologi nuklir dititikberatkan pada penelitian di bidang bahan bakar nuklir, fisika reaktor dan pelatihan teknisi reaktor. Pelayanan kegiatan iradiasi nuklir dilakukan untuk penelitian uji material, produksi isotop dan iradiasi batu topaz<sup>[4]</sup>. Lembaga pengguna fasilitas-fasilitas reaktor RSG-GAS ini datang dari kalangan industri, universitas dan lembaga-lembaga penelitian.

Setelah beroperasi lama, maka perlu dilakukan pengukuran fraksi bakar seluruh bahan bakar sehingga dapat ditentukan perhitungan kekeritisan dengan akurat. Pengukuran dilakukan pada kondisi reaktor subkritis sehingga pengukuran tidak memerlukan

waktu yang begitu lama. Dalam pengukuran fraksi bakar hal yang sangat penting adalah posisi dan linearitas detektor yang digunakan<sup>[5]</sup>. Dalam makalah ini akan dibahas posisi detektor dan linearitas detektor sehingga data yang diperoleh menjadi akurat. RSG-GAS mempunyai dua detektor *fission chamber* yang digunakan sebagai detektor *start-up* yang disebut JKT01-CX811 dan JKT01-CX821 yang terpasang diatas posisi teras H5 dan H6 dan mempunyai sensitivitas neutron  $0,07$  cps/cm<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>.

## METODOLOGI

Pengukuran dilakukan dalam keadaan reaktor subkritis dan dioperasikan tanpa adanya aliran pendingin. Detektor *start-up* JKT01 CX811 dan CX821 serta detektor lainnya berikut posisinya di dalam teras reaktor RSG-GAS ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Posisi detektor JKT01-CX811 dan CX821 dalam teras reaktor RSG-GAS

Kondisi subkritikalitas reaktor diperoleh dengan cara mengatur posisi 8 (delapan) batang kendali dalam keadaan *all bank* (seluruh batang kendali pada ketinggian sama). Pengukuran dilakukan pada konfigurasi Teras 88 seperti ditunjukkan dalam Gambar 2. Untuk melihat linearitas detektor maka dilakukan beberapa kali pengukuran cacah neutron dari detektor dengan berbagai daya reaktor. Dengan menggunakan grafik cacah neutron dari detektor terhadap daya reaktor maka dapat ditentukan linearitas detektor dan cacah jenuh neutron.

JF 02	JF 15	JF 51+85	JF 14	RS 1	RS 2	RS 3	RS 4	RS 5	JF 01	1			
JF 05	JF 52+84	JF 17	JF 37+73	JF 32	JF 34	JF 36	JF 37	JF 11	JF 56+74	2			
JF 60+83	JF 04	JF 19	JF 40	FE RI 569 0	FE RI 555 13.98	FE RI 546 29.38	FE RI 568 0	JF 06	JF 03	3			
JF 08	JF 24	FE RI 566 0	FE RI 533 33.5	FE RI 531 40.64	JD 108	JDA07+15 RI - 540 31.61	FE RI 554 13.78	FE RI 548 20	FE RI 558 6.42	4			
JF 13	JF 23	FE RI 544 28.97	FE RI 532 42.3	JDA04+10 RI - 563 8.31	FE RI 535 34.43	FE RI 549 21.18	JDA05+09 RI - 541 24.21	FE RI 525 46.55	FE RI 552 14.23	5			
JF 20	JF 21	FE RI 547 20.85	JDA02+14 RI - 538 43.34	FE RI 526 46.56	JD 103	JD 106	FE RI 541 33.32	JD 104	FE RI 543 26.64	6			
<b>PRTF</b>										7			
JF 30	JF 22	FE RI 545 27.35	JD 101	FE RI 536 33.39	JD 107	JD 105	FE RI 528 39.34	JDA08+11 RI - 537 31.5	FE RI 550 21.9	8			
JF 29	JF 58+72	FE RI 570 0.00	FE RI 556 14.37	FE RI 557 6.7	JDA03+16 RI - 562 16.21	FE RI 551 21.48	FE RI 524 44.42	JDA01+12 RI - 539 38.84	JD 102	FE RI 529 38.58	FE RI 534 32.91	FE RI 567 0.00	9
JF 59+71	JF 28	JF 26	JF 16	FE RI 565 6.92	FE RI 553 12.83	FE RI 542 27.13	FE RI 560 7.15	JF 54+NS	JF 10	10			
K J H G F E D C B A													

Gambar 2. Konfigurasi Teras 88 reaktor RSG-GAS

Untuk melihat pengaruh posisi dan respon detektor maka dikeluarkan 6 bahan bakar yang akan diukur fraksi bakarnya sehingga jumlah bahan bakar dalam teras sebanyak 34 buah. Bahan bakar yang hendak diukur fraksi bakarnya dimasukkan satu per satu ke *Central Irradiation Position* (CIP) posisi D-6 teras reaktor, sebelum reaktor dioperasikan dalam kondisi subkritis dengan mengatur posisi ba-

tang kendali. Kemudian dicacah dengan detektor JKT01-CX811 dan CX812 kemudian reaktor dipadamkan dan diikuti dengan pengeluaran elemen bakar di *Central Irradiation Position* (CIP). Hal yang sama dilakukan untuk bahan bakar yang lain, sehingga dalam 1 *batch* pengukuran ada 6 bahan bakar yang diukur cacah neutronnya. Jumlah total *batch* pengukuran sebanyak 5 buah sehingga jumlah total bahan bakar yang diukur cacahnya sebanyak 30 buah yang mewakili fraksi bakar kelas 2 sampai 7. Sedangkan untuk tiap *batch* nya dipilih elemen bakar segar dan elemen bakar bekas yang sama yang dipakai sebagai cacah acuan untuk penentuan fraksi bakar. Contoh konfigurasi teras pada saat dicacah untuk *batch* ke-I dan II dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.

JF 02	JF 15	JF 51+85	JF 14	RS 1	RS 2	RS 3	RS 4	RS 5	JF 01	1			
JF 05	JF 52+84	JF 17	JF 37+73	JF 32	JF 34	JF 36	JF 37	JF 11	JF 56+74	2			
JF 60+83	JF 04	JF 19	JF 40	FE RI 569 0	FE RI 555 13.98	FE RI 546 29.38	FE RI 568 0	JF 06	JF 03	3			
JF 08	JF 24	FE RI 566 0	Air	FE RI 531 40.64	JD 108	JDA07+15 RI - 540 31.61	FE RI 554 13.78	FE RI 548 20	FE RI 558 6.42	4			
JF 13	JF 23	FE RI 544 28.97	FE RI 532 42.3	JDA04+10 RI - 563 8.31	FE RI 535 34.43	FE RI 549 21.18	JDA05+09 RI - 541 24.21	FE RI 525 46.55	FE RI 552 14.23	5			
JF 20	JF 21	Air	JDA02+14 RI - 538 43.34	FE RI 526 46.56	JD 103	JD 106	FE RI 541 33.32	JD 104	FE RI 543 26.64	6			
<b>PRTF</b>										7			
JF 30	JF 22	FE RI 545 27.35	JD 101	FE RI 536 33.39	JD 107	JD 105	FE RI 528 39.34	Air	JDA08+11 RI - 537 31.5	FE RI 550 21.9	8		
JF 29	JF 58+72	FE RI 570 0.00	FE RI 556 14.37	FE RI 557 6.7	JDA03+16 RI - 562 16.21	FE RI 551 21.48	FE RI 524 44.42	JDA01+12 RI - 539 38.84	JD 102	FE RI 529 38.58	FE RI 534 32.91	Air	9
JF 59+71	JF 28	JF 26	JF 16	FE RI 565 6.92	FE RI 553 12.83	FE RI 542 27.13	FE RI 560 7.15	JF 54+NS	JF 10	10			
K J H G F E D C B A													

Gambar 3. Konfigurasi *batch* ke-I dengan 6 bahan bakar di luar teras

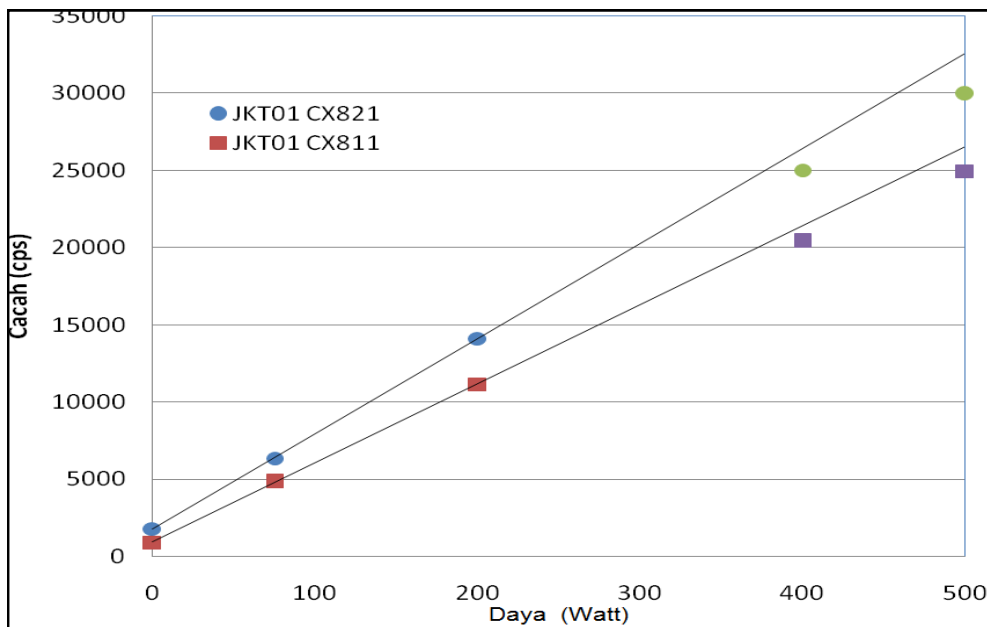
JF 02	JF 15	JF 51+85	JF 14	RS 1	RS 2	RS 3	RS 4	RS 5	JF 01	1
JF 05	JF 52+84	JF 17	JF 37+73	JF 32	JF 34	JF 36	JF 37	JF 11	JF 56+74	2
JF 60+83	JF 04	JF 19	JF 40	FE RI 569 0	FE RI 555 13.98	FE RI 546 29.38	FE RI 568 0	JF 06	JF 03	3
JF 08	JF 24	FE RI 566 0	FE RI 533 33.5	FE RI 531 40.64	JD 108	JDA07+15 RI - 548 31.81	FE RI 554 13.78	FE RI 548 20	FE RI 558 6.42	4
JF 13	JF 23	FE RI 544 28.97	FE RI 532 42.3	JDA04+10 RI - 563 8.31	FE RI 535 34.43	FE RI 549 21.18	JDA05+09 RI - 561 24.21	FE RI 525 46.55	FE RI 552 14.23	5
JF 20	JF 21	FE RI 547 20.85	JDA02+14 RI - 538 45.34	FE RI 526 46.56	JD 103	JD 106	FE RI 541 35.32	JD 104	FE RI 543 26.84	6
<b>PRTF</b>	FE RI 545 27.35	JD 101	<b>Air</b>	JD 107	JD 105	FE RI 528 39.34	JDA08+11 RI - 537 51.5	<b>Air</b>	<b>Air</b>	7
JF 30	JF 22	FE RI 559 7.38	<b>Air</b>	JDA03+16 RI - 562 16.21	FE RI 551 21.48	FE RI 524 44.42	JDA06+13 RI - 564 9.08	FE RI 523 45.72	<b>Air</b>	8
JF 29	JF 58+72	FE RI 570 0.00	FE RI 556 14.37	FE RI 557 6.7	JDA01+12 RI - 539 38.84	JD 102	FE RI 529 38.58	FE RI 534 32.91	<b>Air</b>	9
JF 59+71	JF 28	JF 26	JF 16	FE RI 565 6.92	FE RI 553 12.83	FE RI 542 27.13	<b>Air</b>	JF 54+NS	JF 10	10
K	J	H	G	F	E	D	C	B	A	

Gambar 4. Konfigurasi batch ke-II dengan 6 bahan bakar di luar teras

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Jangkauan linearitas (respon detektor sebanding dengan daya reaktor) detektor diteliti untuk menentukan jumlah cacah neutron per

sekon (cps) yang maksimum pada setiap daya dan batch pengukuran. Untuk itu dilakukan pengukuran cacah neutron dari detektor pada berbagai daya dan laju cacah dicatat setiap langkah untuk kedua detektor neutron JKT01-CX811 dan CX821. Hasil pengukuran laju cacah terhadap daya ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil pada Gambar 5 menunjukkan bahwa karakteristik linear detektor JKT01-CX821 sampai 14.110 cps dan detektor JKT01-CX811 sampai 12.150 cps. Detektor neutron JKT01-CX821 memberikan cacah per sekon yang lebih besar dibandingkan dengan JKT01-CX811.



Gambar 5. Hasil pengukuran cacah per sekon detektor terhadap daya reaktor

Hasil pengukuran untuk konfigurasi *batch* ke-I pada kondisi subkritis dengan posisi batang kendali *all bank* (ketinggian sama) = 365 mm ditunjukkan pada Tabel 1. Sedangkan untuk Tabel 2 menyajikan hasil cacah untuk konfigurasi *batch* ke-II dengan posisi *all bank* pada 340

mm. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa semakin besar fraksi bakar maka semakin kecil cacah yang diperoleh dan cacah JKT01-CX 821 lebih besar dibandingkan dengan JKT01 CX 821. Dari kedua hasil ini terlihat bahwa respon detektor masih cukup baik.

Tabel 1. Hasil cacah neutron dari detektor JKT01-CX811 dan CX821 dengan konfigurasi *batch* ke-I

No.	Elemen Bakar	Posisi	Hasil perhitungan fraksi bakar (%)	Massa U-235 (g)	JKT01-CX 811	JKT01-CX 821
					Cacah (cps)	Cacah (cps)
1.	RI-567	A-9	0.00	249.38	3921.34	6141.62
2.	RI-523	B-8	45.72	249.58	478.20	738.58
3.	RI-533	G-4	33.50	249.79	634.34	989.72
4.	RI-542	D-10	27.17	248.07	735.80	1161.08
5.	RI-552	A-5	14.43	249.72	1100.10	1701.92
6.	RI-566	H-4	0.00	248.62	3956.40	6230.44

Tabel 2. Hasil cacah neutron dari detektor JKT01-CX811 dan JKT01-CX821 dengan konfigurasi

No.	Elemen Bakar	Posisi	Hasil perhitungan fraksi bakar (%)	Massa U-235 (g)	JKT01-CX 811	JKT01-CX 821
					Cacah (cps)	Cacah (cps)
1.	RI-567	A-9	0.00	249.38	2821.16	2411.94
2.	RI-527	G-8	47.85	248.73	515.58	442.72
3.	RI-530	A-8	41.77	249.14	609.78	515.72
4.	RI-536	F-7	33.39	248.44	691.68	582.76
5.	RI-550	A-7	21.00	249.51	986.10	828.18
6.	RI-560	C-10	7.15	248.73	1426.54	1173.96

Dari kedua konfigurasi ini terlihat jelas jumlah cacah neutron untuk konfigurasi I lebih tinggi dibandingkan konfigurasi II. Hal ini karena disebabkan lebih banyak bahan bakar di dekat detektor sehingga jika posisi batang kendali tidak dinaikkan maka jumlah cacah dapat sampai ke batas jenuh yang menyebabkan reaktor dapat mengalami *scram*. Dalam mengoperasikan reaktor harus diperhatikan posisi de-

tektor dan bahan bakar di sekitar detektor untuk menghindari reaktor *scram*.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil awal pengukuran fraksi bakar reaktor RSG-GAS yang telah dilakukan, terlihat bahwa linearitas dan cacah dengan berbagai konfigurasi teras yang diperoleh sangat baik. Linearitas detektor

JKT01-CX821 maksimal pada cacah neutron 14.110 cps dan detektor JKT01-CX811 maksimal 12.150 cps. Hasil pengukuran cacah neutron dari konfigurasi I lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil cacah neutron pada konfigurasi II, hal ini disebabkan karena pada konfigurasi I lebih banyak terdapat bahan bakar di sekitar detektor sehingga mempengaruhi cacah neutron pada detektor namun dari kedua konfigurasi menunjukkan karakteristik yang sama yaitu semakin tinggi fraksi bakar dari bahan bakar yang dicacah maka semakin kecil cacah neutronnya. Dengan hasil ini terlihat bahwa detektor neutron yang terpasang saat ini yaitu JKT01-CX811 dan JKT01-CX821 dapat digunakan untuk mengukur fraksi bakar dari elemen bahan bakar di teras reaktor RSG-GAS.

#### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Surian Pinem, Yusi Eko Yulianto, Tukiran, Tagor MS, Supervisor dan operator reaktor yang telah membantu dalam pelaksanaan eksperimen yang dilakukan.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

1. SRI KUNTJORO, SURIAN PINEM, "Kekritisian Pertama Reaktor G. A. Siwabessy", Prosiding Seminar Teknologi Bahan Bakar dan Keselamatan Nuklir, Bandung, 2-3 Desember 1987.
2. SURIAN PINEM, AMIR HAMZAH, UJU J., "Pengukuran Distribusi Fluks Neutron Termal Aksial pada Elemen Bakar Teras II RSG GA Siwabessy", Seminar Reaktor Nuklir dalam Sains dan Teknologi Nuklir, Bandung Oktober 1989 .
3. TAGOR M.SEMBIRING, TUKIRAN, SURIAN PINEM, FEBRIANTO, "Neutronic Design of Mixed Oxide-Silicide Cores for the Conversion of RSG-GAS Reaktor", Atom Indonesia, Vol 27. No. 2, July 2001
4. SURIAN PINEM, J. SUSILO, TUKIRAN, TAGOR M. SEMBIRING, "Optimization of Radioisotop Production at RSG-GAS Reaktor Deterministic Method", Jurnal Teknologi Indonesia, ISSN 0126-1533, Volume 35, No. 2, 2012
5. OM PAL SINGH, SURIAN PINEM, ARIEF S., LILY SUPARLINA, UJU J., BAKRIE ARBIE, "Period-Reactivity Relationship Measurements for Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy", Atom Indonesia Vol 17. No.12 , Juli 1991.