

## **MENENTUKAN KECEPATAN SISIPAN TARGET DALAM TERAS REAKTOR SEDANG BEROPERASI DI RSG-GAS**

Kusno, Puryono

### **ABSTRAK**

Salah satu kegunaan Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy adalah sebagai sarana untuk memproduksi bahan radioisotop. Pemasukan dan pengeluaran target pada posisi iradiasi D-6 dan E-7 dilakukan secara manual. Pelaksanaan dapat dilakukan pada saat reaktor operasi, maka akan mengganggu jalannya operasi reaktor. Gangguan tersebut merupakan gangguan reaktivitas. Gangguan tersebut yang harus diperhatikan agar reaktor tetap beroperasi dengan lancar. Tindakan yang dilakukan antara lain, memperkirakan kecepatan gerakan target di dalam teras reaktor dan memperhatikan pengaruh reaktivitas terhadap daya reaktor. Dengan demikian grup operasi akan dapat mengantisipasi kejadian tersebut.

### **ABSTRACT**

One of utilization purposes of Research Reactor GA. Siwabessy is to produce radioisotop. The target insertion or withdrawal on the irradiation position D-6 and E-7 in the core can be done manually, during reactor operation or shut down condition. The problem should be arisen during reactor in operation mode, that is the reactivity accident. The measures must be taken into account are to analyze if the reactor scram, target variety and the reactivity effects to the reactor power so, the operation group should anticipate to sore this problem.

## I. PENDAHULUAN

Salah satu kegunaan Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy adalah sebagai tempat untuk melakukan iradiasi target untuk produksi bahan radioisotop. Bahan/sampel yang akan diiradiasi dimasukkan ke dalam kapsul, kemudian kapsul ditempatkan di dalam target. Target tersebut dapat berisi satu sampel atau beberapa sampel, setelah memenuhi persyaratan untuk diiradiasi, kemudian dimasukan ke dalam teras reaktor mengikuti prosedur yang berlaku. Target diiradiasi di dalam teras reaktor sesuai dengan waktu iradiasi yang diinginkan. Setelah diiradiasi, target yang sudah menjadi aktif tersebut dikeluarkan dari teras reaktor.

Fasilitas iradiasi di RSG-GAS yang dapat dilakukan cara manual berada di teras reaktor pada posisi iradiasi pusat (CIP) pada posisi D-6 dan E-7. Pada posisi ini dipasang pipa pengarah untuk memudahkan memasukkan/mengeluarkan target. Memasukan ataupun mengeluarkan target pada teras reaktor dapat dilakukan pada saat reaktor dalam keadaan tidak operasi (*shut down*) ataupun keadaan operasi. Apabila pemasukan target dilakukan pada saat reaktor beroperasi, perlu diketahui perubahan reaktivitas dan kecepatan sisipan target agar di dalam teras tidak terjadi perubahan sisipan reaktivitas yang melebihi batas maksimum yang diizinkan, karena perubahan reaktivitas dapat mengakibatkan perubahan daya reaktor. Agar daya reaktor tetap stabil maka perubahan reaktivitas di teras reaktor harus dapat dikompensasi dengan batang kendali pengatur, hal ini dapat dilakukan dengan mengatur kecepatan sisipan target di dalam teras reaktor.

## II. TEORI

Untuk memperkirakan reaktivitas sisipan rerata maksimum,  $\rho(t)$  maka diasumsikan sebagai berikut:

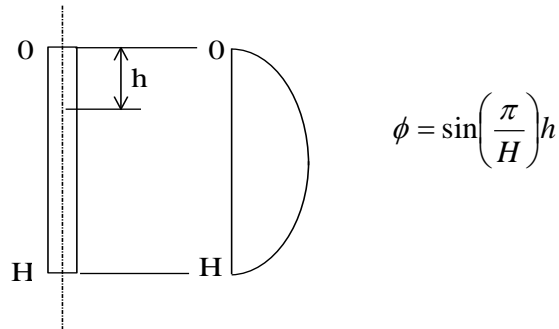
- Energi neutron di dalam teras reaktor merupakan 1 grup.
- Distribusi fluk neutron aksial di dalam posisi iradiasi dalam bentuk “sinus”, yaitu:

$$\phi = \sin\left(\frac{\pi}{H}\right)h \quad (1)$$

dimana  $\phi$  = fluk neutron [ fluk/ cm<sup>2</sup>]

H = posisi dasar tempat radiasi [ mm ]

h = tingginya tempat iradiasi dari atas [ mm ]



Gambar 1 : Distribusi fluk neutron aksial di posisi iradiasi

- Target sebagai bahan homogen untuk serapan neutron berbentuk silinder dengan radius R.
- Reaktivitas sisipan yang berbentuk silinder atas keseimbangan dengan permukaan (s) yang telah dimasukkan dan dengan faktor serapan A (konstan).
- Pengaruh serapan pada reaktivitas seimbang di posisi iradiasi dengan  $\phi^2$ .

Apabila silinder dimasukkan dari posisi h pada posisi h + dh, permukaan silinder di dalam teras bertambah dari s menjadi s + ds, maka reaktivitas negatif  $\rho$  berubah pada  $\rho + d\rho$ .

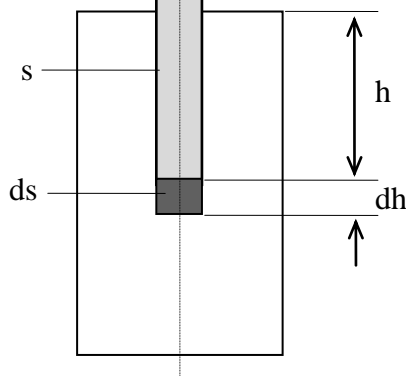
Jika perubahan penyerapan menjadi A.d.s, maka perubahan reaktivitas  $\rho$  dapat dituliskan sebagai :

$$d\rho = A \phi^2 ds \quad (2)$$

dimana :  $\rho$  = reaktivitas serapan [ % dk/ k ]

A = konstanta faktor serapan

$\phi^2$  = reaktivitas di posisi iradiasi [ % dk/ k ]



Gambar 2 : Gerakkan target di teras

s = reaktivitas target [ % dk/ k ]

$$\text{Jika } ds = 2 \pi R dh \dots \dots \dots (3)$$

dari persamaan 3 dan 1, dp dapat ditulis menjadi :

$$d\rho = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot A \sin^2 \left( \frac{\pi}{H} h \right) dh \dots \dots \dots (4)$$

atau 
$$d\rho = \pi \cdot R \cdot A \cdot \left\{ 1 - \cos \left( 2 \frac{\pi}{H} h \right) \right\} \cdot dh \dots \dots \dots (5)$$

Jika persamaan 5 diintegrasikan dengan h antara 0 dan h dan apabila bentuk silinder dimasukkan pada posisi h, maka reaktivitas negatip diperoleh sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \rho(h) &= \pi R A \int_0^h \left\{ 1 - \cos \left( \frac{2\pi}{H} h \right) \right\} dh \\ &= \pi R A \left[ h - \frac{H}{2\pi} \sin \left( \frac{2\pi}{H} h \right) \right] \dots \dots \dots (6) \end{aligned}$$

Jika persamaan 5 diintegrasikan dengan h antara 0 dan H dan reaktivitas negatip apabila silinder dimasukkan pada posisi H maka reaktivitas total adalah :

$$\begin{aligned} \rho(H) &= \pi R A \int_0^H \left\{ 1 - \cos \left( \frac{2\pi}{H} h \right) \right\} dH \\ &= \pi R A \left[ H - \frac{H}{2\pi} \cdot \sin \left( \frac{2\pi}{H} H \right) \right] \\ &= \pi R A H \dots \dots \dots (7) \end{aligned}$$

Perbandingan antara persamaan 6 dan persamaan 7.

$$\begin{aligned} \frac{\rho(h)}{\rho(H)} &= \frac{\pi RA}{\pi RAH} \left[ h - \frac{H}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{H} h\right) \right] \\ &= \frac{1}{H} \left[ h - \frac{H}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{H} h\right) \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

$\rho(H)$  maksimum yang diizinkan untuk satu posisi iradiasi berdasarkan *Safety Analysis Report* adalah 0,5 % dk/k, maka  $\rho(h)$  dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\rho(h) = \frac{\rho(H)}{H} \left[ h - \frac{H}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{H} h\right) \right]. \quad (9)$$

Untuk memperoleh reaktivitas sisipan rerata maksimum, persamaan 9 didefrensialkan terhadap waktu t.

$$\begin{aligned} \frac{d\rho}{dt} &= \frac{\rho(H)}{H} \left[ \frac{dh}{dt} - \frac{H}{2\pi} \cdot \frac{2\pi}{H} \cos\left(\frac{2\pi}{H} h\right) \frac{dh}{dt} \right] \\ &= \frac{\rho(H)}{H} \left[ 1 - \cos\left(\frac{2\pi}{H} h\right) \right] \frac{dh}{dt}. \end{aligned} \quad (10)$$

Reaktivitas sisipan rerata maksimum ( $d\rho/dh$ ) maksimum pada posisi h yang terjadi adalah  $d^2\rho/dt^2 = 0$ . Persamaan 11 didefrensialkan terhadap t lagi maka,

$$\frac{d^2\rho}{dt^2} = \frac{\rho(H)}{H} \left[ \frac{2\pi}{H} \sin\left(\frac{2\pi}{H} h\right) \frac{dh}{dt} + \left\{ 1 - \cos\left(\frac{2\pi}{H} h\right) \right\} \frac{d^2h}{dt^2} \right].$$

dimana  $dh/dt$  adalah kecepatan memasukkan silinder  $Vt$ , karena kecepatannya konstan maka  $d^2\rho/dt^2 = 0$ , kemudian

$$\frac{d^2\rho}{dt^2} = \frac{\rho(H)}{H} \cdot \frac{2\pi}{H} \sin\left(\frac{2\pi}{H} h\right) \frac{dh}{dt}. \quad (11)$$

Diasumsikan  $d^2\rho/dt^2 = 0$  di atas, sehingga;

$$\frac{\rho(H)}{H} \cdot \frac{2\pi}{H} \sin\left(\frac{2\pi}{H}h\right) \frac{dh}{dt} = 0 \quad (12)$$

Karena  $\rho(H)$ ,  $H$ ,  $dh/dt$  tidak 0 maka persamaan 11 menjadi :

$$\sin\left(\frac{2\pi}{H}h\right) = 0 \quad (13)$$

Dalam persamaan 13 dengan  $h$ , dan  $h=0, H/2, H$ , tidak realistik dalam persamaan 13, maka  $h = H/2$  disubstitusikan ke persamaan 10 dan diperoleh harga reaktivitas sisipan rerata maksimum ( $d\rho/dt$ ) maksimum sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \left(\frac{d\rho}{dt}\right)_{maks} &= \frac{\rho(H)}{H} \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi}{H} \cdot \frac{H}{2}\right) \frac{dh}{dt}\right] \\ &= \frac{\rho(H)}{H} (2) \frac{dh}{dt} \\ &= \frac{2\rho(H)}{H} \cdot \frac{dh}{dt} \quad (14) \end{aligned}$$

jika  $dh/dt = V_t$  (kecepatan target) maka persamaan 14 menjadi :

$$\left(\frac{d\rho}{dt}\right)_{maks} = \frac{2V_t}{H} \rho(H) \quad (15)$$

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan dilakukan pada siklus operasi reaktor teras 49, yang beroperasi secara rutin mulai tanggal 05 Maret 2004 sampai dengan tanggal 11 Mei 2004.

Dari hasil kalibrasi batang kendali diperoleh data batang kendali pengatur pada teras tersebut adalah sebagai berikut :

Harga reaktivitas batang kendali pengatur →  $\rho_r = 1,508 \%$ .

Panjang langkah →  $H_r = 600 \text{ mm}$ .

Kecepatan →  $V_r = 0,538 \text{ mm/s}$ .

Reaktivitas target maksimum yang diizinkan untuk satu posisi iradiasi berdasarkan *Safety Analysis Report* adalah  $0,5 \%$ .

Reaktivitas target →  $\rho_t = 0,5 \%$ .

panjang langkah →  $H_t = 600 \text{ mm}$ .

Dari kedua data tersebut di atas dengan serapan setimbang maka setiap detiknya reaktivitas yang timbul sama dengan yang diserap, sehingga

$$\frac{2.V_r}{H_r} \rho_r = \frac{2.V_t}{H_t} \rho_t$$

$$\frac{2 \cdot 0,538}{600} 1,508 = \frac{2.V_t}{600} 0,5$$

$$V_t = \frac{0,538 \times 1,508 \times 600}{0,5 \times 600}$$

$$V_t = 1,622 \text{ mm/s}$$

Jadi kecepatan target maksimum di dalam teras reaktor =  $1,622 \text{ mm/s}$ . Setelah didapat kecepatan target, harga tersebut adalah harga yang kasar dan ini hanya dipergunakan sebagai pedoman bagi personil yang berada di atas kolam reaktor yang sedang melakukan kegiatan memasukkan atau menarik target pada teras reaktor.

$$\left( \frac{d\rho}{dt} \right)_{maks} = \frac{2V_r}{H_r} \rho_r = \frac{2 \times 0,538}{600} \times 1,508$$

$$= 0,002704 \text{ \% dk/k/s.}$$

Diasumsikan bahwa besarnya reaktivitas target adalah (  $\rho_t$  ) = 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1; 0,05 % dk/k, maka akan diperoleh kecepatan target maksimum di teras reaktor seperti tabel 1.

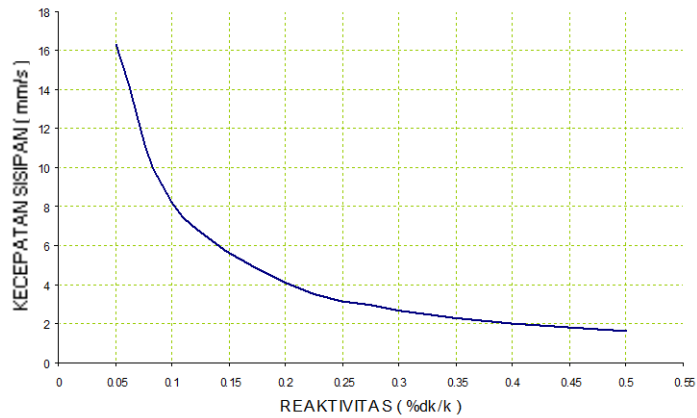
Tabel 1. Hubungan reaktivitas dan kecepatan

Reaktivitas target (% dk/k)	Kecepatan sisipan maksimum (mm/s)
--------------------------------	--------------------------------------

0,5	1,63
0,4	2,04
0,3	2,71
0,2	4,07
0,1	8,15
0,05	16,3

Jika dibuat grafik antara reaktivitas target dan kecepatan sisipan target, maka secara langsung dapat diketahui dengan memakai grafik secara interpolasi, bila diketahui besarnya reaktivitas target. Lihat grafik 1. Kecepatan dan reaktivitas sisipan target.

GRAFIK :1. KECEPATAN SISIPAN TARGET DAN REAKTIVITAS TARGET



Dari grafik 1 akan diperoleh hubungan antara besarnya reaktivitas dan gerakan sisipan target di teras reaktor. Apabila diketahui besarnya reaktivitas target yang akan dimasukkan ke dalam teras reaktor, maka dengan melihat pada grafik 1 pada garis mendatar pada sumbu X kemudian menarik garis tegak sampai memotong garis grafik kemudian menarik garis mendatar ke kiri hingga memotong sumbu Y akan didapat harga kecepatan sisipan target. Dengan demikian dengan grafik 1 tersebut dapat



dipergunakan bagi personil pelaksana untuk pedoman sebelum melakukan pekerjaannya.

#### IV. KESIMPULAN

Dari uraian dan data di atas maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Karena sistem yang manual maka faktor manusia baik kondisi dan pengalaman bagi personil pelaksana sangat berpengaruh terhadap kelancaran pekerjaan ini. Semakin banyak pengalamannya maka resiko gangguan yang ditimbulkan akan semakin kecil;
- 2) Setiap personil pelaksana (regu tugas *shift*) harus mengetahui bahan dan berat sampel sehingga dapat mengetahui jenis dan besar reaktivitasnya. dengan demikian di dalam melaksanakan dapat memperkirakan kecepatan pemasukan atau pengeluaran target dengan aman;
- 3) Target yang mempunyai harga reaktivitas besar mempunyai gerakan sisipan di teras reaktor lebih lambat dan begitu sebaliknya target yang mempunyai reaktivitas kecil gerakan sisipan di teras akan lebih cepat.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

- 1) Anonymous, Safety Analysis Report ( SAR ), BATAN, MPR-30 Revisi 7, 1989;
- 2) Anonymous, Analisis Keselamatan Iradiasi Target Iridium dan FPM di Teras Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy, Pusat Reaktor Serba Guna. 1997;
- 3) Anonymous, Operating Manual ( OM ), Part : III, BATAN, MPR-30,1988;
- 4) HAJIMU SHITOMI, Estimasi Reaktivitas pada saat Loading / Unloading dan Usulan Prosedur Operasi Reaktor, BATAN , PRSG, 1994.