

PENGARUH IRADISI BATU TOPAZ DI POSISI IRRADIATION POSITION (IP) REAKTOR RSG-GAS

Sutrisno¹, Purwadi²

Pusat Reaktor Serba Guna-BATAN, kaw. Puspiptek Gdg 31 Serpong

E-mail: soe-tris@batan.go.id

ABSTRAK

Mengingat pelayanan iradiasi batu topaz merupakan salah satu target yang diminati stake holder dari luar negeri, untuk memenuhi batas keselamatan gangguan reaktivitas di reaktor RSG-GAS maka diperlukan analisis keselamatan dari gangguan reaktivitas (ρ) iradiasi batu topaz di 4 posisi Irradiation Position (B-6, D-9, E-4, G-7). Sedangkan gangguan termohidrolika diabaikan karena batu topaz diiradiasi dengan kapsul terbuka yang langsung mendapat aliran endingina dari air pendingin reaktor. Kajian ini adalah kajian lanjutan yang telah dilakukan sebelumnya. Metodologi yang digunakan adalah menganalisis reaktivitas iradiasi topaz pada 4 posisi IP seberat masing-masing 1,5 kg menggunakan program BATAN-2DIFF, pemodelan target topaz yang diiradiasi dibagi 3 bagian yaitu pengarah kapsul, kapsul topaz dan target batu topaz seberat 1,5 kg. Konstanta kelompok difusi dari pemodelan menggunakan program WIMSD-5B dan hasilnya digunakan untuk menghitung reaktivitas dengan program BATAN-2DIFF. Dari hasil perhitungan reaktivitas batu topaz di 4 posisi IP B-6= 0,07%, D-9= 0,04% ,E-4=0,05% dan G-7= 0,08% dan harga ini masih di bawah harga reaktivitas yang dipersyaratkan di Laporan Analisis Keselamatan (LAK) reaktor RSG-GAS yaitu iradiasi satu target maksimum $\pm 0,5\%$.

Kata kunci: analisis, reaktivitas, iradiasi batu topaz, program WIMSD-5B, program BATAN-2DIFF

ABSTRACT

Because of topaz gemstone irradiation is one of the targets in demand by the overseas stake holder, in fulfilling safety limitation of reactivity interference in RSG-GAS reactor, therefore it is needed to do safety analysis of reactivity interference of topaz gemstone irradiation at 4 Irradiation Position (IP). Meanwhile, thermo hydraulic interference can be ignored because topaz gemstones irradiation is held by using opened capsule which directly exposed by the cooling flow from reactor cooling water. This study is an advanced study which already done before. The used methodology is to analyze topaz irradiation reactivity at 4 IP with 1,5 kilograms of toapz gemstone for each by using BATAN-2DIFF program, modelling irradiated topaz target divided into 3 parts which are capsule referrer, topaz capsule and topaz gemstone itself as the target weighing 1,5 kg. The difussion group costant of teh modelling uses WIMSD-5B program and the result is used to count reactivity using BATAN-2DIFF program. From the calculation result of topaz gemstone reactivity at 4 IP, it is B-6=0,07%, D-9=0,04%, E-4=0,05 %, G-7=0,08% and these values are still under reactivity values which required on safety analysis report (LAK) RSG-GAS reactor, where the maximum value for one target is $\pm 0,5\%$.

Key words : analysis, reactivity, topaz gemstone irradiation, WIMSD-5B program, BATAN-2DIFF program

PENDAHULUAN

Reaktor serba Guna GA Siwabessy (RSG-GAS) merupakan reaktor tipe kolam yang digunakan untuk penelitian, pelayanan iradiasi, kegiatan pendidikan dan pelatihan. Fasilitas RSG-GAS dibangun berdasarkan konsep reaktor kolam terbuka dengan menggunakan air sebagai pendingin dan moderator serta menggunakan berilium sebagai reflector.

Dalam menjalankan fungsi pelayanan iradiasi, RSG-GAS menerima sampel yang akan diiradiasi baik di fasilitas iradiasi dalam teras maupun di luar teras. Sampel yang dimasukkan ke dalam fasilitas iradiasi bisa menimbulkan gangguan reaktivitas, baik reaktivitas positif maupun reaktivitas negative. Salah satu sampel yang sering diiradiasi di dalam teras RSG-GAS adalah batu topaz. Topaz merupakan batuan silikat dengan rumus kimia $Al_2SiO_4(FOH)_3$ (*Aluminium silicate fluoride hydroxide*) [1][2]. Masuknya batu topaz ke dalam teras reaktor bisa menimbulkan pengaruh terhadap keselamatan operasi reaktor sehingga perlu dilakukan perhitungan gangguan reaktivitas batu topaz dalam teras reaktor. Batu topaz yang akan dianalisis adalah tempat iradiasi di 4 posisi IP (B-6, D-9, E-4 dan G-7) seperti terlihat pada Gambar 1. Analisis ini adalah lanjutan dari penelitian yang dilakukan sebelumnya [3].

Dalam makalah ini dilakukan tinjauan aspek neutronik terhadap pengaruh kapsul, kapsul batu topaz dan target batu topaz yang dimodelkan dan dilakukan perhitungan dengan program WIMSD-5B [4,5,6] untuk menghasilkan konstanta kelompok difusi target topaz. Konstanta kelompok difusi target topaz kemudian digunakan sebagai pustaka pada perhitungan neutronik dengan program BATAN 2-DIFF untuk menghitung perubahan reaktivitas akibat pemuatan atau pengeluaran batu topaz yang merupakan salah satu yang dipersyaratkan dalam Laporan Analisis Keselamatan RSG-GAS [7,8].

TEORI [7]

Reaktivitas adalah suatu parameter yang sangat berguna untuk memprediksi perubahan populasi neutron dalam suatu reaktor dalam waktu tertentu.

A. Aplikasi Faktor Perlipatan Efektif.

Jika N_0 = jumlah neutron pada generasi ke nol, maka:

Jumlah neutron pada generasi ke satu, $N_1 = N_0 k_{eff}$

Jumlah neutron pada generasi ke dua, $N_2 = N_1 k_{eff} = N_0 k_{eff}^2$

Jumlah neutron pada generasi ke tiga, $N_3 = N_2 k_{eff} = N_0 k_{eff}^3$

Jumlah neutron pada generasi ke n,
 $N_n = N_0 k_{eff}^n$ (1)

B. Reaktivitas

Jika terdapat N_0 neutron pada generasi sebelumnya, kemudian ada $N_0 k_{eff}$ neutron pada generasi saat ini, maka perubahan populasi neutron adalah $(N_0 k_{eff} - N_0)$. Penambahan dan hilangnya populasi neutron $(N_0 k_{eff} - N_0)$ dinyatakan sebagai suatu fraksi generasi saat ini $(N_0 k_{eff})$, seperti ditunjukkan di bawah ini:

$$\rho = \frac{N_0 k_{eff} - N_0}{N_0 k_{eff}} \quad (2)$$

Hubungan yang menyatakan perubahan fraksi populasi neutron setiap generasi dinyatakan sebagai reaktivitas (ρ). Jika pembilang dan penyebut pada persamaan (2) dibagi dengan N_0 , maka reaktivitas dapat dinyatakan sebagai:

$$\rho = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}} \quad (3)$$

Dari persamaan (3), dapat dilihat bahwa nilai ρ dapat bernilai positif, nol, ataupun negatif bergantung pada nilai k_{eff} .

Jika $k_{eff} > 1$ maka $\rho > 0$

$k_{eff} = 1$ maka $\rho = 0$

$k_{eff} < 1$ maka $\rho < 0$

Semakin besar nilai mutlak reaktivitas reaktor, maka semakin jauh pula dari nilai kritis. Oleh karena itu sangat tepat jika reaktivitas dapat dipakai sebagai suatu ukuran untuk menunjukkan seberapa jauh kondisi reaktor dari kondisi kritis.

C. Satuan Reaktivitas

Besaran reaktivitas merupakan besaran tanpa dimensi, karena tidak memiliki dimensi waktu,

panjang dan massa atau kombinasinya. Akan tetapi untuk memudahkan menyatakan nilai reaktivitas maka perlu diberi satuan buatan (*artificial*).

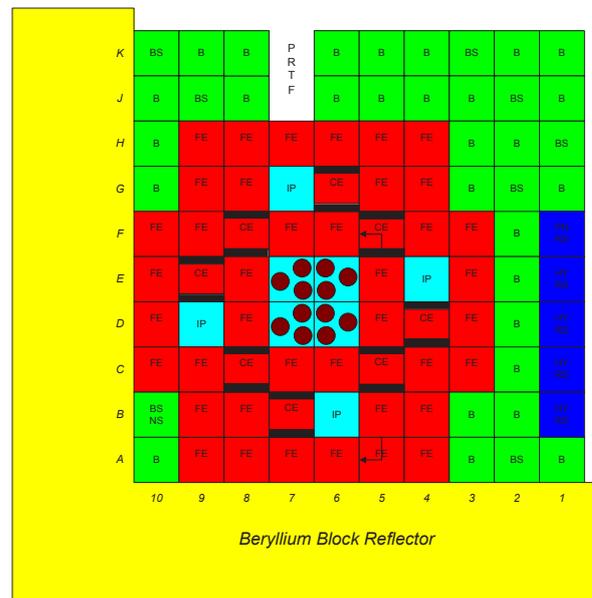
- 1 $\frac{\Delta k}{k}$
- 2 $\% \frac{\Delta k}{k}$ ($1 \% \frac{\Delta k}{k} = 1.10^{-2} \frac{\Delta k}{k}$)
- 3 mk ($1 mk = 1.10^{-3} \frac{\Delta k}{k}$)
- 4 pcm ($1 pcm = 1.10^{-5} \frac{\Delta k}{k}$)
- 5 dollar ($1 dollar = \beta \frac{\Delta k}{k} = 0.0065 \frac{\Delta k}{k}$)

Dalam makalah ini satuan yang digunakan adalah $\% \frac{\Delta k}{k}$.

D. Definisi Koefisien Reaktivitas dan Reactivity Defect

Jumlah reaktivitas suatu reaktor menentukan populasi neutron dan tingkat daya dalam suatu waktu tertentu. Reaktivitas dapat berubah karena beberapa faktor, misal karena berkurangnya atom bahan bakar, temperatur, tekanan, bahan dan lain-lain.

Koefisien reaktivitas digunakan untuk menyatakan kuantitas suatu efek perubahan parameter (misal bertambahnya temperatur, masuknya batang kendali, masuknya bahan atau penambahan racun neutron) sehingga reaktivitas berubah. Perubahan reaktivitas yang diakibatkan penambahan bahan atau material dapat diamati dengan perubahan batang kendali, jika batang kendali mengalami penurunan maka reaktivitas tersebut adalah positif dan sebaliknya jika batang kendali mengalami kenaikan maka reaktivitas yang ditimbulkan adalah reaktivitas negatif. Efek dari perubahan reaktivitas ($\Delta k/k$) tersebut tidak boleh melebihi $\pm 0,5$ % untuk setiap pemasukan bahan/material.



Notes : FE = Standard Fuel Element, CE = Control Fuel Element, BE = Be Reflector Element, BS = Be Reflector Element with plug, IP = Irradiation Position, CIP = Central Irradiation Position, PNRS = Pneumatic Rabbit System, HYRS = Hydraulic Rabbit System (burn-up classes are in the second raw)

Gambar 1. Teras Reaktor RSG-GAS

METODOLOGI

1. Eksperimen

- Menyiapkan 4 buah kapsul, masing-masing diisi target batu topaz dengan massa 1,5 kg
- Mengukur reaktivitas untuk setiap posisi IP dengan cara mencatat selisih batang kendali, meliputi:
 - Memasukkan target dummy aluminium ke posisi iradiasi D-9
 - Memasukkan target dummy aluminium ke posisi iradiasi G-7
 - Memasukkan target dummy aluminium ke posisi iradiasi B-6
 - Memasukkan target dummy aluminium ke posisi iradiasi E-4

2. Perhitungan Neutronik

MENJALANKAN PROGRAM WIMSD-5B

Program WIMSD-5B hanya bisa melakukan perhitungan transport neutron satu dimensi, sehingga perlu dilakukan pemodelan sel teras. Pemodelan sel teras dilakukan untuk membuat konstanta kelompok makroskopik

material teras. Nilai konstanta kelompok yang dihasilkan merupakan nilai konstanta kelompok rerata sel yang diperoleh dengan melakukan homogenisasi material sel. Perhitungan konstanta kelompok dilakukan terhadap material penyusun teras maupun material yang akan dimasukkan ke dalam teras, dalam hal ini adalah pengaruh kapsul, kapsul aluminium dan target batu topaz dengan massa 1,5 kg.

MENJALANKAN PROGRAM BATAN-2DIFF.

Perhitungan teras menggunakan paket program BATAN-2DIFF sehingga teras penuh RSG-GAS, termasuk target dimodelkan dalam model geometri X-Y (2-D) dengan syarat batas vacuum di tiap sisi teras [5]. Parameter teras yang dihitung adalah perubahan reaktivitas lebih teras ($\Delta\rho$), perubahan puncak daya radial maksimum. Nilai batas yang dipakai dalam analisis neutronik adalah:

- Perubahan reaktivitas akibat masuknya batu topaz maksimum $\pm 0,5\% \Delta k/k$
- Masuknya batu topaz di teras memberikan pengaruh nilai faktor puncak daya radial maksimum yaitu sebesar 1,4

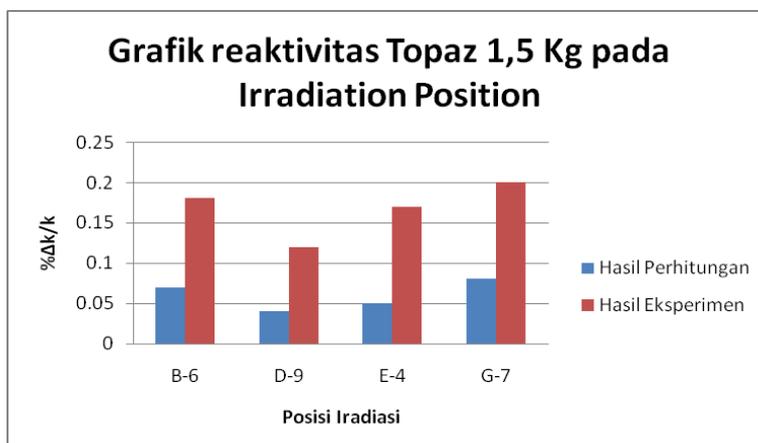
HASIL DAN PEMBAHASAN

Eksperimen pengukuran reaktivitas ($\Delta k/k$) batu topas dengan massa 1,5 kg, dilakukan pada setiap posisi IP yaitu B-6, D-9, E-4 dan G-7. Harga reaktivitas ($\Delta k/k$) setiap posisi terlihat mempunyai harga yang variatif, dimana posisi IP D-9 mempunyai nilai reaktivitas ($\Delta k/k$) yang

paling kecil yaitu 0,12% sedangkan posisi G-7 mempunyai nilai reaktivitas ($\Delta k/k$) yang paling besar yaitu 0,18%. Bila 4 posisi IP diisi semua dengan massa 1,5 kg mempunyai nilai reaktivitas ($\Delta k/k$) sebesar 0,67%, harga yang didapat jauh di bawah harga yang dipersyaratkan maksimal 0,5% per posisi iradiasi atau 2% untuk 4 posisi iradiasi. Sedangkan hasil perhitungan reaktivitas ($\Delta k/k$) dengan program BATAN-2DIFF mempunyai harga yang variatif dimana harga reaktivitas ($\Delta k/k$) terkecil yang dihasilkan dari perhitungan yaitu di posisi D-9 sebesar 0,04% sedangkan harga reaktivitas ($\Delta k/k$) terbesar yaitu di posisi G-7, bila 4 posisi IP diisi semua dengan batu topaz massa 1,5 kg mempunyai nilai reaktivitas ($\Delta k/k$) sebesar 0,24%. Dari hasil eksperimen dan perhitungan harga reaktivitas ($\Delta k/k$) menunjukkan ada selisih harga yang cukup signifikan rata-rata perbedaannya adalah 64,59 % ini diakibatkan kesalahan pada penimbangan dengan timbangan yang tidak sensitif, akan tetapi tren hasil eksperimen dengan perhitungan mempunyai tren yang sama seperti terlihat pada Tabel 1 dan Gambar 2. Dari hasil perhitungan dan eksperimen keduanya mendapatkan hasil yang cukup kecil di bawah batas yang diijinkan maka iradiasi batu topaz dengan massa 1,5 kg diiradiasi di 4 posisi iradiasi aman dilakukan di teras reaktor RSG-GAS.

Tabel 1. Data Hasil Perhitungan Reaktivitas dan Hasil Eksperimen

| Posisi | % $\Delta k/k$ Hasil Perhitungan | % $\Delta k/k$ Hasil Eksperimen | |
|--------|-------------------------------------|------------------------------------|--------|
| B-6 | 0.07 | 0.18 | 61.11% |
| D-9 | 0.04 | 0.12 | 66.67% |
| E-4 | 0.05 | 0.17 | 70.59% |
| G-7 | 0.08 | 0.20 | 60.00% |
| | 0,24 | 0,67 | |
| | | Rata2 perbedaan | 64.59% |



Gambar 2. Reaktivitas Topaz dari posisi 4 IP

Hasil perhitungan teras untuk faktor puncak daya tanpa target adalah 1,2426 akan tetapi efek setiap pemasukan target batu topaz di posisi IP (B-6, D-9, E-4 dan G-7) tidak menunjukkan hasil yang sistematis seperti terlihat pada Tabel 2. Nilai faktor puncak daya yang diakibatkan pemasukan batu topaz di setiap posisi iradiasi berpengaruh pada posisi C-8, akan tetapi semua harga faktor puncak daya

yang dihasilkan dari perhitungan relatif kecil berkisar antara 1,2252-1,2489. Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa iradiasi batu topaz dengan massa 1,5 kg di semua posisi IP tidak mempunyai dampak yang signifikan, dimana semua harga faktor puncak daya dibawah harga yang diijinkan yaitu <1,4, sehingga aman untuk operasi reaktor RSG-GAS.

Tabel 2. Harga PPF dan Reaktivitas Batu Topaz

| | PPF Rad Average | Reaktivitas (%) | $\Delta k/k$ % |
|-------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Tanpa Topaz | C-8 = 1.2426 | 8.74 | 0.00 |
| IP B-6 | C-8 = 1.2252 | 8.81 | 0.07 |
| IP D-9 | C-8 = 1.2489 | 8.78 | 0.04 |
| IP E-4 | C-8 = 1.2280 | 8.79 | 0.05 |
| IP G-7 | C-8 = 1.2261 | 8.82 | 0.08 |

KESIMPULAN

Hasil eksperimen dan perhitungan nilai reaktivitas $\Delta k/k$ masing-masing diperoleh 0,67% dan 0,24%, apabila dibandingkan dengan batasan keselamatan masih dalam keadaan aman yaitu untuk harga reaktivitas $\Delta k/k$ di bawah 0,5% per posisi dan 2% untuk 4 posisi. Sedangkan dari hasil perhitungan harga faktor puncak daya masih di bawah 1,4 sehingga reaktor RSG-GAS aman dioperasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **E. RATNAWATI and M. ARIFHIDAYAT**, "Pengaruh Irradiasi Batu Topaz Terhadap Kualitas Air Pendingin Reaktor Rsg-Gas," *Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir*, 2012, pp. 34–39.
- [2] **F. A. M. SUMARNO YULIUS, ROHIDI**, "Pengaruh iradiasi batu topas terhadap kualitas air pendingin primer dan keselamatan RSG-GAS," *Buletin*

- Pengelolaan Reakt. Nukl.*, vol. XIII, no. 2, pp. 13–18, 2016.
- [3] **SUTRISNO**, “Perhitungan Reaktivitas Batu Topaz 1,5 Kg Posisi D-9 Dengan Program Batan 2-Diff,” *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir*, 2012, pp. 143–149.
- [4] **A.T.ALDAMA, D.LOPEZ, LESZCZYNSKI, F.**, “WIMS-D Library Update,” no. December, 2003.
- [5] **S. PINEM, T. M. SEMBIRING, and P. H. LIEM**, “Neutronic and Thermal-Hydraulic Safety Analysis for the Optimization of the Uranium Foil Target in the RSG-GAS Reactor,” *Atom Indones.*, vol. 42, no. 3, pp. 123–128, 2016.
- [6] **S. PINEM et al.**, “Optimization of Radioisotope Production at RSG-GAS Reactor Using Deterministic Method Optimization of Radioisotope Production at RSG-GAS Reactor Using Deterministic Method,” *Teknol. Indones. LIPI*, no. January, pp. 37–45, 2012.
- [7] **PRSG-BATAN**, “Laporan Analisis Keselamatan (LAK) RSG-GAS Rev.10.1,” vol. 1, 2011.
- [8] **PUSAT REAKTOR SERBA GUNA-BATAN**, “Laporan Analisis Keselamatan Iradiasi Target Fpm-Leu Elektroplating,” *Laporan Analisis Keselamatan*, 1993.