

## EVALUASI PELAKSANAAN IRADIASI SAMPEL DI RSG-GAS PADA TERAS 51 SAMPAI TERAS 60

Abdul Aziz RH, A. Mariatmo<sup>\*)</sup>

### ABSTRAK

**EVALUASI PELAKSANAAN IRADIASI SAMPEL DI RSG-GAS PADA TERAS 51 SAMPAI TERAS 60.** Pelayanan iradiasi sampel merupakan salah satu tugas yang diemban RSG-GAS. Pelaksanaan iradiasi sampel bisa menimbulkan gangguan neutronik dan termohidrolik pada teras. Evaluasi dilakukan untuk mengetahui secara kualitatif pengaruh pelaksanaan iradiasi sampel terhadap keselamatan operasi reaktor. Evaluasi dilakukan dengan memilih lima jenis sampel yang paling sering diiradiasi yaitu  $\text{TeO}_2$ , U-235,  $\text{Sm}_2\text{O}_3$ , Re-m dan  $\text{MoO}_3$ . Parameter yang dievaluasi adalah jenis sampel, volume/berat, reaktivitas dan aspek termohidrolik sampel dalam teras. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan parameter keselamatan untuk setiap sampel dengan batasan-batasan yang diperbolehkan dalam LAK masing-masing sampel dan LAK RSG-GAS. Reaktivitas  $\text{TeO}_2$  -0,0066%, reaktivitas U-235 0,2%, reaktivitas  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  dan Radium 0,031%, reaktivitas  $\text{MoO}_3$  bisa diabaikan. Nilai reaktivitas kelima sampel tersebut masih dibawah batas yang diijinkan LAK RSG-GAS yaitu 0,5%. Integritas kelima sampel masih terjaga karena suhu sampel ketika di dalam teras masih jauh dibawah titik leleh masing-masing sampel. Dari evaluasi ini diperoleh kesimpulan bahwa pelaksanaan iradiasi sampel di dalam teras reaktor tidak membahayakan keselamatan operasi reaktor.

*Kata kunci: iradiasi, sampel, keselamatan, batasan*

### ABSTRACT

**EVALUATION ON IRRADIATION SAMPLES IMPLEMENTATION AT THE RSG-GAS OF 51<sup>st</sup>-60<sup>th</sup> CYCLES.** Samples irradiation service is one of RSG-GAS task. The implementation of samples irradiation can cause interference neutronic and thermohydraulic in the core. The evaluation carried out to qualitatively know the effect of samples irradiation to the safety of reactor operation. The evaluation was done by selecting the five most frequent type of samples, they are  $\text{TeO}_2$ , U-235,  $\text{Sm}_2\text{O}_3$ , Re-m and  $\text{MoO}_3$ . Parameters evaluated were irradiated samples types, volume / weight, reactivity and thermohydraulic aspects of a sample in the core. The evaluation was done by comparing the safety parameters for each sample with the limits allowed in each SAR sample and RSG-GAS SAR.  $\text{TeO}_2$  reactivity is -0.0066%, U-235 reactivity is 0.2%,  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  and Re-m reactivity are 0.031% and  $\text{MoO}_3$  reactivity is ignored. The five samples reactivity values are still below the allowable limit of RSG-GAS SAR of 0.5%. The five samples integrity is preserved because the samples temperature is still below the melting point. From this evaluation concluded that the implementation of irradiation samples in the reactor core does not endanger the safety of reactor operation.

*Keywords : irradiation, the sample, safety, limits*

<sup>\*)</sup> Staf Subbid Keselamatan Operasi, Bidang Keselamatan PRSG-BATAN

## PENDAHULUAN

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

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 dalam teras bisa menimbulkan gangguan reaktivitas, baik reaktivitas positif maupun reaktivitas negatif. Iradiasi sampel juga berpotensi menimbulkan gangguan kemurnian air kolam reaktor terutama apabila terjadi kerusakan sampel iradiasi. Sehingga pelaksanaan iradiasi sampel perlu mendapat perhatian karena dapat mempengaruhi keselamatan operasi reaktor.

Evaluasi pelaksanaan iradiasi sampel pada teras 51 sampai teras 60 perlu dilakukan untuk mengetahui secara kualitatif pengaruh iradiasi terhadap keselamatan operasi. Evaluasi dilakukan dengan menentukan lima sampel yang paling sering diiradiasi dan kemudian data kelima sampel tersebut dibandingkan dengan persyaratan iradiasi yang diijinkan LAK RSG-GAS. Dari evaluasi ini diharapkan didapatkan kesimpulan tentang pengaruh pelaksanaan iradiasi sampel terhadap keselamatan operasi RSG-GAS.

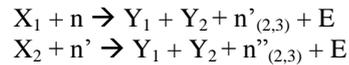
## I. TEORI

### Iradiasi

Iradiasi adalah proses pemaparan suatu sampel/target ke daerah radiasi pengion. Sampel iradiasi adalah bahan yang menjadi sasaran iradiasi sehingga menjadi bahan radioaktif. Di reaktor

nuklir terjadi proses rekasi fisi dan aktivasi neutron. Rekasi fisi berantai yang terkendali di dalam teras reaktor menghasilkan nuklida baru, neutron cepat dan radiasi foton gama.

Skema reaksi fisi berantai digambarkan sebagai berikut<sup>[1]</sup>:



Keterangan :

X : radionuklida (bahan) fisil  
Y : radionuklida hasil fisi  
n, n', n'' : neutron (pertama, kedua, dst)  
E : energi yang dibebaskan saat pembelahan

### Fasilitas Iradiasi di RSG-GAS

Fasilitas iradiasi yang ada di RSG-GAS ditinjau dari posisinya dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu: fasilitas iradiasi dalam teras dan fasilitas iradiasi luar teras. Yang termasuk fasilitas iradiasi dalam teras adalah Rig Pin Bahan Bakar(Kapsul Cyrano), Peralatan Iradiasi Creep(Kapsul Chouca), Posisi Iradiasi Sentral(PIS), Posisi Iradiasi(PI). Sedangkan yang fasilitas iradiasi luar teras adalah Fasilitas Uji Kenaikan Daya(FUKD), Tabung Berkas Eksperimental(S), Sistem Rabbit Cepat(SRC), Sistem Rabbit Normal(SRN), Radiografi Neutron(RN), Doping Transmutasi Neutron (DTN)<sup>[2]</sup>.

### Aspek Termohidrolik Sampel Iradiasi

Aspek termohidrolik dari sampel iradiasi dan kapsul wadah sampel perlu dianalisis. Analisis ini bertujuan untuk menghitung perpindahan panas dari sampel dan kapsul ke air pendingin dalam teras. Perhitungan ini juga diperlukan untuk mengetahui secara analisis titik pelelehan maupun pendidihan sampel kapsul. Dengan mengetahui aspek termohidrolik dari sampel dan kapsul

maka keberadaan sampel dalam teras bisa dikendalikan sehingga tetap menjamin keselamatan operasi reaktor.

### Aspek Neutronik Sampel Iradiasi

Aspek neutronik dari sampel iradiasi dan kapsul perlu dianalisis. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui besarnya perubahan reaktivitas akibat pemasukan sampel iradiasi ke dalam teras. Dari analisis neutronik bisa diketahui apakah pemasukan sampel iradiasi menyebabkan keadaan reaktor menjadi superkritis atau subkritis. Kondisi kekritisan reaktor akibat pemasukan sampel iradiasi harus diketahui dan dikendalikan agar keselamatan operasi reaktor tetap terjamin.

### Persyaratan Sampel dan Kapsul Iradiasi<sup>[2]</sup>

- Reaktivitas yang ditimbulkan oleh sampel bergerak tidak boleh lebih dari -0,5% Harus dilakukan perhitungan kesetimbangan antara pembentukan dan pembuangan panas di dalam sampel maupun kapsul selama iradiasi terutama bila sampel iradiasi merupakan bahan fisil
- Harus menggunakan kapsul atau pembungkus yang teruji ketahanannya terhadap pengaruh radiasi tinggi dan integritas kapsul tetap selama iradiasi
- Bahan yang berpotensi ledakan pada suhu tinggi tidak boleh diiradiasi di ters reaktor
- Bahan kimia yang dapat membahayakan struktur reaktor tidak boleh dimasukkan ke kolam reaktor kecuali dengan penanganan khusus
- perlu dibuat analisis keselamatan sebagai bahan pendukung ijin iradiasi yang menjamin bahwa iradiasi sampel tidak membahayakan reaktor maupun personil pelaksana

## II. METODOLOGI

Bahan-Bahan Evaluasi:

1. Laporan Operasi RSG-GAS dari teras 51 sampai teras 60
2. Laporan Analisis Keselamatan Teknis Sampel Iradiasi
3. Laporan Analisis Keselamatan RSG-GAS

Langkah-Langkah Evaluasi:

1. Mengumpulkan data tentang pelaksanaan iradiasi sampel pada operasi RSG-GAS dari teras 51 sampai teras 60
2. Pengkajian tentang sampel yang diiradiasi selama operasi RSG-GAS dari teras 51 sampai teras 60
3. Menentukan lima sampel yang paling sering diiradiasi di RSG-GAS
4. Membandingkan data sampel iradiasi dengan persyaratan iradiasi yang diijinkan LAK RSG-GAS
5. Menyimpulkan hasil perbandingan data serta memberikan rekomendasi tentang keselamatan operasi RSG-GAS

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Laporan Analisis Keselamatan teknis beberapa sampel yang paling sering diiradiasi dan yang menimbulkan reaktivitas signifikan di dalam teras antara lain:<sup>[3]</sup>

1. Laporan Analisis Keselamatan iradiasi sampel  $\text{TeO}_2$   
Massa  $\text{TeO}_2$  yang diiradiasi 100 gram, target diiradiasi selama 7 x 24 jam, suhu target pada bagian tengah  $156,3^{\circ}\text{C}$  dan bagian dinding luar kapsul  $51,1^{\circ}\text{C}$ , reaktivitas yang ditimbulkan -0,0066%
2. Laporan Analisis Keselamatan iradiasi sampel FPM-LEU (U-235)  
Iradiasi target yang mempunyai kadar pengkayaan rendah 19,75% dan berat total Uranium 5 gram dapat dilaksanakan, tetapi yang diijinkan

untuk diiradiasi seberat 3 gram. Dalam stringer dapat ditempatkan dua buah kapsul. Reaktivitas teras menjadi lebih besar 0,2% dari keadaan awal 9,2% menjadi 9,4% dan secara neutronik kenaikan ini diijinkan oleh SAR. Sedangkan dari segi termohidrolika diperoleh ketidakstabilan aliran sebesar 4,24, jadi masih sesuai dengan LAK 3,24 dan aman secara termohirolik.

3. Laporan Analisis Keselamatan iradiasi sampel  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  dan  $\text{ReO}_3$   
Titik leleh masing-masing sampel adalah  $1072^\circ\text{C}$  dan  $297^\circ\text{C}$ . Suhu di pusat sampel adalah  $264^\circ\text{C}$  dan  $128^\circ\text{C}$ . Reaktivitas yang ditimbulkan oleh berat sampel 2,511 g sebesar 0,031%
4. Laporan Analisis Keselamatan iradiasi sampel  $\text{MoO}_3$   
Iradiasi target  $\text{MoO}_3$  sebanyak 100 g yang di kemas dalam dua lapisan kapsul yaitu kapsul kuarsa dan kapsul Al didapatkan bahwa suhu pusat target sebesar  $488,3^\circ\text{C}$  dan suhu inner kapsul kuarsa  $435,6^\circ\text{C}$  sedangkan suhu inner kapsul Al  $54,0^\circ\text{C}$ . Dari data hasil perhitungan ini disimpulkan bahwa integritas tabung kuarsa dan tabung Al masih terjaga karena kuarsa mempunyai titik leleh  $1425^\circ\text{C}$  dan titik

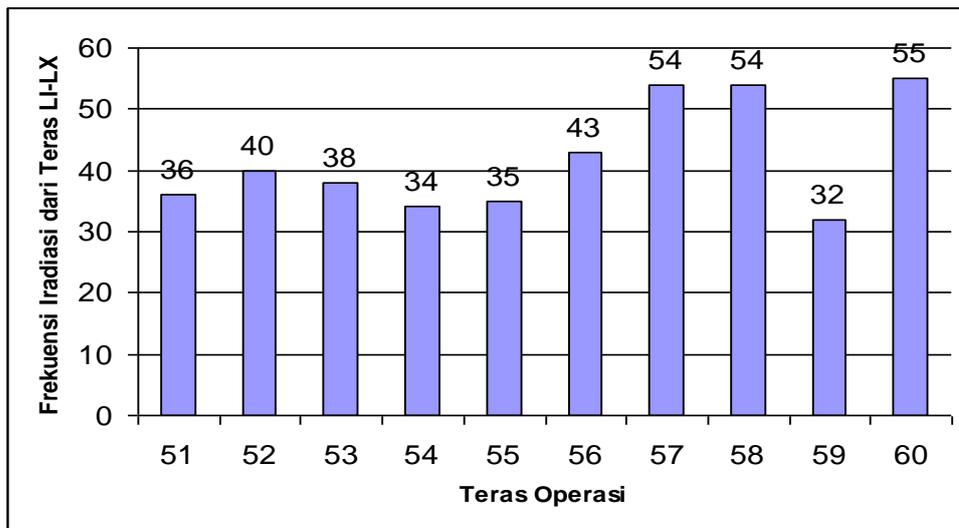
leleh Al  $660^\circ\text{C}$ . Sedangkan target  $\text{MoO}_3$  juga belum meleleh karena titik leleh  $\text{MoO}_3$   $759^\circ\text{C}$ . Perubahan reaktivitas akibat iradiasi  $\text{MoO}_3$  dapat diabaikan karena serapan neutron oleh target kecil.

5. Laporan Analisis Keselamatan iradiasi sampel Argon(Ar-40)  
Argon dikemas dalam kapsul kwarsa yang memiliki titik leleh  $1425^\circ\text{C}$ . Suhu gelas kwarsa saat iradiasi sebesar  $689^\circ\text{C}$ . Reaktivitas yang ditimbulkan kurang dari 0,5%.
6. Laporan Analisis Keselamatan iradiasi sampel Iridium(Ir-191)  
Iridium memiliki titik leleh  $2454^\circ\text{C}$ . Suhu sampel iridium saat iradiasi sebesar  $150^\circ\text{C}$ . Iradiasi 16 g sampel iridium menimbulkan reaktivitas - 0,46% dan hal ini bisa dikompensasi dengan dua sampel FPM.
7. Laporan Analisis Keselamatan iradiasi sampel Topaz ( $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{FOH})_3$ )  
Hasil perhitungan dengan program Batan-2D, sampel topaz menimbulkan reaktivitas -0,07%. Suhu pembangkitan panas dalam sampel topaz sebesar  $387,64^\circ\text{C}$ , sedangkan titik leleh topaz  $1425^\circ\text{C}$ .  
Dari laporan operasi RSG-GAS teras 51 sampai teras 60 didapatkan data sebagai berikut<sup>[4]</sup>:

**Tabel 1.** Data iradiasi sampel

| Teras | Sampel Iradiasi   | Jumlah    |
|-------|---|-----------|
| 51    | U-235,TeO <sub>2</sub> ,Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Re-m,Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,MoO <sub>3</sub> ,Sedimen,Batuan,PU, Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,S,Zr,AnAl,Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,CrO <sub>3</sub> ,filter,partikulat udara,CuO,rambut,Zn-metal,PIL,SRM,dan Darah                                   | 36 target |
| 52    | U-235,TeO <sub>2</sub> ,Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Re-m,Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,MoO <sub>3</sub> ,Sedimen,S,Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,CuO, Sr(NO <sub>3</sub> ),Ir-191,Zn-metal,NIST 15666,NIES 9,NIES 73.2,Darah, Standar,Udara,Obat Peluluh,Kosmetik dan Kerak Sekunder                                  | 40 target |
| 53    | U-235,TeO <sub>2</sub> ,Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Re-m,Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,MoO <sub>3</sub> ,Al-Au,Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,S,Zr,Al,Nr, Co-59,Xe-124,Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Os-Logam, Mo LEU,Zn-foil, Darah dan Pakan Ternak | 38 target |
| 54    | U-235,TeO <sub>2</sub> ,Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Re-m,Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,OS <sub>02</sub> ,Darah,Obat Peluluh,Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Xenon,CRM NIES,CRM NMIJ,SRM NIST,Lumpur,Biota,Pasir Sedimen,Zn-foil,SRM-SL,SRM-819,Tanaman dan Tanah  | 34 target |
| 55    | U-235,TeO <sub>2</sub> ,Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Re-m,Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,S-32,Co-59,Xe-gas,Fe-foil, KBr,Mo LEU,Zr,Au,Al,Sc,Zn-foil,Sulfur,Sedimen,Darah,  | 35 target |
| 56    | U-235,TeO <sub>2</sub> ,Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Re-m, Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,MoO <sub>3</sub> ,LEU,CU,Zr,Al,Au,SS-316, SrO,Cu-Pht,Air,Sulfur,Tumbuhan,Sedimen,Pakan,Tanah   | 43 target |

|    |   |               |
|----|---|---------------|
| 57 | U-235,TeO <sub>2</sub> ,Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Re-m,Pd-m, Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Ir-191, Mo <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,NiO,Cu-Pht,Hg-o,S,Au-Al,Zn-foil,Zr,Au-Al,SRM,AAN, Batuan,Dummy,Lumpur,Rumput,Endapan,Prod.Ternak dan Topaz   | 54 target     |
| 58 | U-235,TeO <sub>2</sub> ,Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Re-m, Mo <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,CdO,Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Os-mo,WO <sub>3</sub> ,Cs <sub>2</sub> Co <sub>3</sub> , Se <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,NiO,Xenon,Ir-single,Cu-Pht,Zn-64, 60,Au,Al,Fe,Ni,SRM,Batuan,Tanaman,Lumpur,Sedimen,Topaz | Zn- 54 target |
| 59 | U-235,TeO <sub>2</sub> ,Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Re-m,Mo <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,S,Au-Al,Zr,Au, Al,Co,Zn-64,Batuan,SRM 1648,SRM 1646, BCR 279,Probiotik Darah,Sayuran,Ikan,Kosmetik,Kapsul Polithelin,CRM 6,Tanaman Kering,Sedimen dan Topaz  | 32 target     |
| 60 | TeO <sub>2</sub> ,U-235,Mo <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,S,HgO,Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,SrO,Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Re-m,Ir,Xe-90,Zn-64,CdO,SRM,Au,Darah,Udara,Ijuk,Sabuk,Ikan Serbuk,Makanan,Serum,Kamlut,Kerang,Kangkung,Sedimen, Abu dan Topaz   | 55 target     |



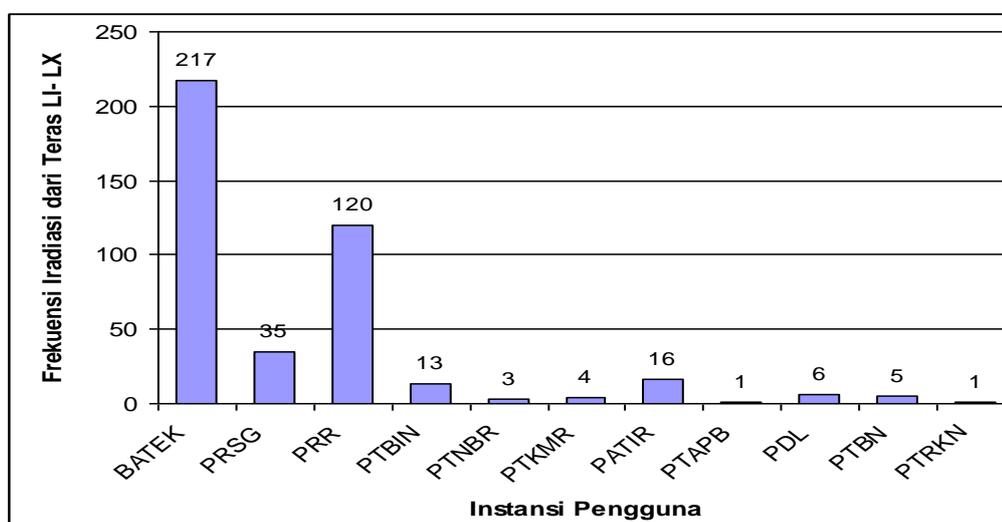
Gambar 1. Grafik frekuensi iradiasi setiap siklus pada teras 51 sampai teras 60

Frekuensi iradiasi sampel di RSG-GAS berkisar antara 30 kali sampai 55 kali pada tiap teras operasi. Frekuensi iradiasi tidak merata pada setiap teras karena iradiasi sampel tidak bisa dipastikan pada setiap teras akan tetapi tergantung permintaan iradiasi dari instansi pengguna fasilitas. Bila instansi-instansi sedang mengadakan penelitian dan menggunakan objek yang perlu diiradiasi atau kebutuhan akan bahan sampel teriradiasi bertambah

maka permintaan iradiasi sampel ke RSG-GAS bertambah. Permintaan iradiasi paling sedikit terjadi pada teras operasi ke-59 dan paling banyak pada teras operasi ke-60. Permintaan iradiasi sampel rata-rata sebesar 42 permintaan. Walaupun permintaan iradiasi terjadi secara fluktuatif, tetapi permintaan iradiasi sampel secara umum terus meningkat setiap tahun.

**Tabel 2.** Daftar Instansi Pengguna Fasilitas Iradiasi RSG-GAS

| Instansi | T- 51 | T-52 | T-53 | T-54 | T-55 | T-56 | T-57 | T-58 | T-59 | T-60 | Total |
|----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| BATEK    | 15    | 18   | 17   | 17   | 20   | 23   | 33   | 28   | 15   | 31   | 217   |
| PRSG     | 2     | 3    | 3    | 4    | 2    | 1    | 2    | 4    | 8    | 6    | 35    |
| PRR      | 11    | 17   | 14   | 8    | 9    | 13   | 14   | 19   | 4    | 11   | 120   |
| PTBIN    | 4     | 1    | 2    | 1    | -    | 1    | -    | -    | 3    | 1    | 13    |
| PTNBR    | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 3    | 3     |
| PTKMR    | -     | -    | -    | -    | -    | 1    | 1    | -    | -    | 2    | 4     |
| PATIR    | 2     | 1    | 1    | 3    | 1    | 2    | 2    | 1    | 2    | 1    | 16    |
| PTAPB    | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 1    | -    | -    | 1     |
| PDL      | 2     | -    | -    | 1    | 1    | -    | 1    | 1    | -    | -    | 6     |
| PTBN     | -     | -    | 1    | -    | 2    | 2    | -    | -    | -    | -    | 5     |
| PTRKN    | -     | -    | -    | -    | -    | -    | 1    | -    | -    | -    | 1     |
| Total    | 36    | 40   | 38   | 34   | 35   | 43   | 54   | 54   | 32   | 55   |       |



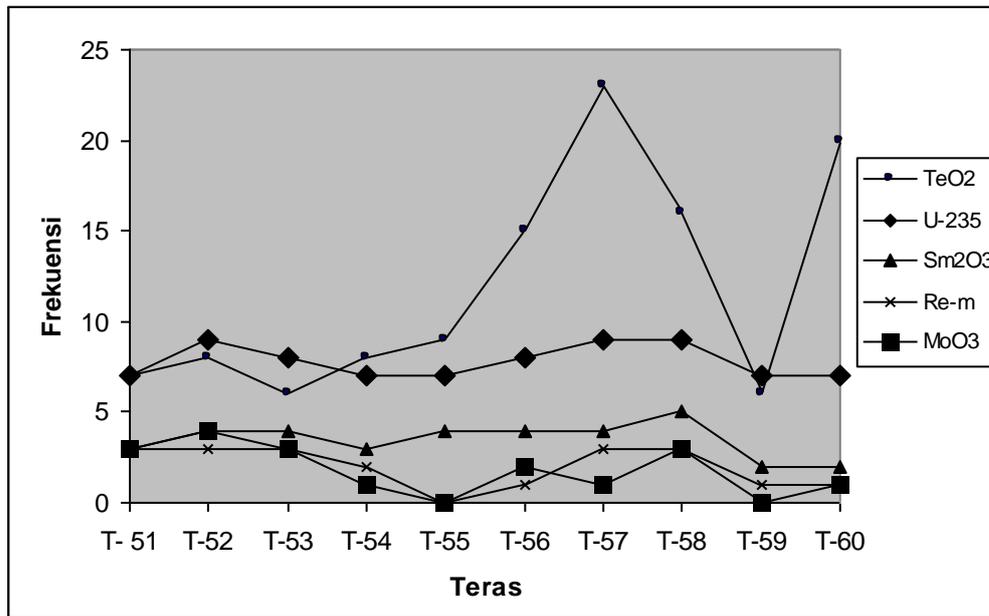
**Gambar 2.** Grafik instansi pengguna fasilitas iradiasi RSG-GAS

Instansi yang memanfaatkan fasilitas iradiasi pada teras operasi 51 sampai teras operasi 60 ditunjukkan gambar di atas. Instansi yang paling sering mengajukan permintaan iradiasi secara urut adalah PT. BATEK, PRR dan PRSG. Komposisi pengguna fasilitas iradiasi di RSG-GAS tidak berubah dari tahun ke tahun, hal ini disebabkan fungsi masing-masing instansi

yang berbeda dan kebutuhan terhadap iradiasi sampel juga berbeda tiap-tiap instansi. Penggunaan fasilitas iradiasi bisa ditingkatkan lagi dengan lebih terencana apabila rencana penelitian di instansi-instansi/pusat penelitian di lingkungan BATAN juga direncanakan dengan baik dan berjangka serta berkelanjutan.

**Tabel 3.** Daftar lima sampel yang paling sering diiradiasi pada teras 51 sampai teras 60

| Sampel                         | T- 51 | T-52 | T-53 | T-54 | T-55 | T-56 | T-57 | T-58 | T-59 | T-60 | Total |
|--------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| TeO <sub>2</sub>               | 7     | 8    | 6    | 8    | 9    | 15   | 23   | 16   | 6    | 20   | 118   |
| U-235                          | 7     | 9    | 8    | 7    | 7    | 8    | 9    | 9    | 7    | 7    | 78    |
| Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3     | 4    | 4    | 3    | 4    | 4    | 4    | 5    | 2    | 2    | 35    |
| Re-m                           | 3     | 3    | 3    | 2    | 0    | 1    | 3    | 3    | 1    | 1    | 20    |
| MoO <sub>3</sub>               | 3     | 4    | 3    | 1    | 0    | 2    | 1    | 3    | 0    | 1    | 18    |
| Total                          | 36    | 40   | 38   | 34   | 35   | 43   | 54   | 54   | 32   | 55   | 421   |



**Gambar 3.** Grafik lima sampel yang dominan diiradiasi pada teras 51 sampai teras 60

Sampel yang paling sering diiradiasi di RSG-GAS secara terurut adalah TeO<sub>2</sub>, U-235, Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Re-m dan MoO<sub>3</sub>. Sampel-sampel lain juga diiradiasi, akan tetapi frekuensinya jarang bahkan tidak pasti ada setiap teras sedangkan sampel topaz diiradiasi setiap siklus dalam semua teras operasi.

**Tabel 4.** Daftar nilai reaktivitas lima sampel yang paling sering diiradiasi

| Sampel                         | Reaktivitas(%) |
|--------------------------------|----------------|
| TeO <sub>2</sub>               | -0,0066        |
| U-235                          | 0,2000         |
| Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,0310         |
| Re-m                           | 0,0310         |
| MoO <sub>3</sub>               | diabaikan      |

Sampel  $\text{TeO}_2$  merupakan sampel yang paling sering diiradiasi yaitu 118 kali. Sampel  $\text{TeO}_2$  di dalam teras reaktor menimbulkan reaktivitas  $-0,0066\%$ . Nilai ini sangat kecil dan tidak menimbulkan gangguan reaktivitas dalam teras. Massa sampel yang diiradiasi sebesar 125 g. Nilai ini lebih besar dibanding batasan pada LAK teknis yaitu 100 g. FPM atau U-235 diiradiasi sebanyak 78 kali. Hasil perhitungan menunjukkan FPM menimbulkan reaktivitas positif sebesar  $0,2\%$ , nilai ini sangat signifikan meskipun masih berada di bawah batas reaktivitas yang diijinkan  $0,5\%$ .

Pada kenyataannya, FPM dalam teras menimbulkan gangguan reaktivitas sebesar  $0,028\%$ , nilai ini jauh lebih kecil dibanding nilai batas yang diijinkan dan sepuluh kali lipat lebih kecil dari hasil perhitungan. Keberadaan FPM di dalam teras perlu mendapatkan perhatian, karena selain menimbulkan reaktivitas positif, FPM merupakan bahan fisil yang dapat menghasilkan bahan hasil fisi yang dapat mengganggu keselamatan operasi reaktor. Oleh sebab itu, aspek mekanik kapsul FPM perlu diperhatikan dengan melakukan *witness* untuk menguji kebocoran kapsul FPM. Massa sampel FPM yang diiradiasi berkisar 2,00 g sampai 3,00 g, nilai ini berada di bawah batas yang diijinkan yaitu 3,00 g.

Sampel  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  dan Renuim diiradiasi masing masing 35 dan 20 kali. Kedua sampel ini menimbulkan reaktivitas positif  $0,031\%$ . Nilai reaktivitas ini relatif kecil sehingga tidak menimbulkan gangguan reaktivitas yang signifikan di dalam teras. Sampel  $\text{MoO}_3$  diiradiasi sebanyak 18 kali. Reaktivitas akibat iradiasi  $\text{MoO}_3$  dapat diabaikan karena serapan neutron oleh target kecil.

Selain kelima sampel di atas, ada beberapa sampel yang perlu mendapat perhatian dalam keselamatan operasi yaitu Argon, Iridium dan Topaz. Sampel Argon-40 menimbulkan reaktivitas positif

meskipun reaktivitasnya kurang dari  $0,5\%$  dan jarang diiradiasi. Sampel Iridium-191 menimbulkan reaktivitas  $-0,46\%$ . Nilai ini signifikan karena Iridium diiradiasi selama satu teras. Reaktivitas negatif Iridium bisa dikompensasi dengan reaktivitas positif 2 sampel FPM. Sampel Topaz menimbulkan reaktivitas  $-0,07\%$ . Hal ini perlu mendapatkan perhatian karena sampel topaz diiradiasi sepanjang teras dengan mode *online* teras.

Beberapa sampel yang diiradiasi tidak disertai LAK akan tetapi tetap diijinkan untuk diiradiasi, hal ini didasarkan atas pertimbangan bahwa sampel tersebut bukanlah sampel fisil dan tidak menimbulkan gangguan reaktivitas pada teras. Sampel tersebut diiradiasi di luar teras.

Dari data di atas, diketahui bahwa volume sampel  $\text{TeO}_2$  yang diiradiasi lebih besar dari batasan dalam LAK teknis sampel. Pada saat ini, LAK teknis  $\text{TeO}_2$  sedang dalam penyempurnaan dan perhitungan ulang. Sedangkan sampel lain tidak membahayakan keselamatan operasi reaktor, baik dari segi jenis, volum, neutronik dan termohidrolik. Pelaksanaan iradiasi dalam teras reaktor dapat berjalan secara aman baik untuk keselamatan operasi reaktor maupun keselamatan pekerja dan lingkungan sekitar kawasan reaktor.

#### IV. KESIMPULAN

1. Tidak ada sampel yang membahayakan keselamatan operasi reaktor, baik dari segi jenis sampel, efek reaktivitas dan termohidrolik
2. Pelaksanaan iradiasi sampel di dalam teras reaktor dapat berjalan secara aman baik untuk keselamatan operasi reaktor maupun keselamatan pekerja dan lingkungan sekitar kawasan reaktor

## **V. PUSTAKA**

1. Dasar Fisika Radiasi, Diktat Pelatihan Proteksi Radiasi Bagi Pegawai Baru, Pusdiklat BATAN.
2. Laporan Analisis Keselamatan RSG-GAS Rev.9, PRSG, 2006.
3. Laporan Analisis Keselamatan Teknis Target di RSG-GAS.
4. Laporan Operasi Reaktor RSG-GAS dari Teras 51 sampai Teras 60, Bidang Operasi Reaktor, PRSG, 2004-2007.