

## EVALUASI KINERJA SISTEM KESELAMATAN REAKTOR RSG-GAS SELAMA BEROPERASI 25 TAHUN

Iman Kuntoro  
Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, BATAN

### ABSTRAK

**EVALUASI KINERJA SISTEM KESELAMATAN OPERASI REAKTOR RSG-GAS SELAMA BEROPERASI 25 TAHUN.** Reaktor Serba Guna RSG GAS sudah memasuki usia ke 26 tahun sejak bulan Agustus 2012 yang lalu. Untuk itu perlu dilakukan evaluasi keselamatan dari segala aspek pengoperasian reaktor agar dapat memberikan data yang cukup bagi para pengambil keputusan sebagai bahan pertimbangan untuk meletakkan kebijakan rencana pengoperasian di masa datang terutama dalam rangka menjamin keamanan dan keselamatan operasi selanjutnya sampai batas usianya sekaligus untuk memenuhi ketentuan dalam Peraturan Kepala BAPETEN NO. 2/Tahun 2011, yang mewajibkan Pengusaha Instalasi melakukan verifikasi keselamatan reaktor paling sedikit dalam tiap kurun waktu 5 tahun. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja sistem keselamatan reaktor RSG-GAS yang meliputi aspek nuklir, termohidraulik dan radiasi, selama reaktor 25 tahun beroperasi. Evaluasi dilakukan dengan cara mengumpulkan semua data pengoperasian reaktor selama 25 tahun dan kemudian dibandingkan dengan batasan dan ketentuan keselamatan operasi reaktor. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa reaktor beroperasi dengan aman. Pada saat operasi normal, parameter keselamatan berharga dibawah batas keselamatan operasi. Pada saat terjadi kegagalan dan gangguan operasi, sistem proteksi raktor berfungsi baik dengan memadamkan reaktor. Sejumlah 27 kejadian operasi telah terjadi selama kurun waktu 25 tahun tergolong dalam skala 1 (anomali) dan nol (deviasi) dari skala INES yang tidak menimbulkan dampak radiologis.

Kata kunci: keselamatan reaktor riset, reaktor RSG-GAS.

### ABSTRACT

***Evaluation on the Performance of Safety Systems of the RSG-GAS Reactor During 25 Years Operation.*** The RSG GAS reactor in Serpong was stepping the age of 26 years since August 2012. It is of necessary to evaluate the safety of all operational aspects in order to provide adequate data for the decision maker to plan the next operation program especially to guarantee the safe operation until the end of its designed age, and to respon the Regulation of BAPETEN NO. 2/2011, by which request a self safety verification by licensee at least once every 5 years. The aim of the researh is to know the performance of safety syatems of the RSG GAS reactor comprising nuclear, thermalhydraulics and radiation aspects, during its 25 years operation. Evaluation was done by collecting all operation data in periode of 25 years and then compared to the safety limits and conditions of reactor operation. The results showed that during the periode the reactor was operated in a safe manner. During normal operations all safety parameters show the values lower than the safety limits. While during incidents or disturbances conditions, the reactor protection system always took actions to shut the reactor

*down. A number of 27 incidents have taken place but in scale 1 (anomaly) and nol (deviation) of the INES Scale which means no radiological impacts occurred.*

*Keywords: research reactor safety, RSG-GAS reactor.*

## **PENDAHULUAN**

Reaktor riset merupakan alat utama BATAN dalam melaksanakan tugas penguasaan teknologi nuklir dan pemanfaatannya bagi masyarakat. Oleh karena itu, BATAN harus selalu mempunyai reaktor riset yang beroperasi secara aman dan efisien. Padahal saat ini tiga buah reaktor riset yang dimiliki BATAN yaitu di Bandung, Yogya dan Serpong sudah berusia tua karena sudah mendekati usia desainnya. Reaktor Serba Guna RSG-GAS di Serpong merupakan reaktor paling muda meskipun sejak bulan Agustus 2012 yang lalu usianya sudah memasuki tahun ke 26 dan dipandang masih layak untuk diperpanjang masa operasinya. Untuk itu perlu dilakukan evaluasi dari segala aspek pengoperasian reaktor agar dapat memberikan data yang cukup bagi para pengambil keputusan sebagai bahan pertimbangan untuk meletakkan kebijakan rencana pengoperasian di masa datang sekaligus untuk memenuhi ketentuan dalam Peraturan Kepala BAPETEN NO. 2/Tahun 2011 Tentang Ketentuan Keselamatan Operasi Reaktor Non Daya, Pasal 14<sup>[1]</sup>, yaitu bahwa PI atau Pemegang Izin harus melakukan penilaian keselamatan secara berkala secara menyeluruh terhadap semua permasalahan pengoperasian dan kegiatan yang berkaitan dengan keselamatan paling sedikit sekali dalam lima tahun. Salah satu aspek yang penting adalah mengetahui status atau kondisi sistem dan kinerja keselamatan operasi reaktor RSG-GAS setelah beroperasi selama 25 tahun yang meliputi unsur manajemen dan kinerja sistem reaktor, baik pada operasi normal, gangguan maupun kecelakaan. Tulisan ini bertujuan untuk mengevaluasi salah satu aspek keselamatan operasi reaktor yaitu kinerja

sistem reaktor. Kinerja sistem reaktor akan ditinjau dari kinerja parameter keselamatan operasional yang meliputi aspek neutronik, termohidrolika dan paparan radiasi.

Penelitian dilakukan dengan cara mengumpulkan data operasi reaktor, data gangguan, kejadian dan kecelakaan operasi reaktor, pengolahan data dan evaluasi parameter keselamatan reaktor RSG-GAS. Evaluasi kinerja sistem reaktor dilakukan dengan membandingkan parameter keselamatannya terhadap harga batas keselamatan yang termuat dalam Laporan Analisis Keselamatan (LAK). Parameter keselamatan yang dipilih adalah reaktivitas stuck rod, suhu masukan sistem pendingin primer ke teras reaktor dan parameter radiasi berupa laju dosis dan konsentrasi radiasi. Hasil evaluasi diharapkan menunjukkan tingkat keselamatan operasional reaktor RSG-GAS selama dua puluh lima tahun beroperasi.

## **METODOLOGI**

Tujuan keselamatan operasi reaktor adalah pengoperasian reaktor secara aman bagi manusia, instalasi dan lingkungan, baik oleh sebab operasi reaktor dalam kondisi normal, gangguan dan kecelakaan maupun oleh pengaruh dari luar instalasi reaktor. Keselamatan reaktor dapat dicapai bila pengoperasian reaktor memenuhi kriteria keselamatan sebagai berikut:

1. Operasi reaktor harus selalu dapat dipantau dan dikendalikan keadaannya dan dipadamkan pada setiap saat dan setiap kondisi.
2. Energi panas yang timbul baik pada operasi normal maupun akibat kecelakaan operasi harus dapat dibuang secara selamat.

3. Paparan radiasi terhadap personil dan lingkungan harus selalu di bawah batas yang diizinkan dan diusahakan sekecil mungkin sesuai dengan prinsip “ALARA”, As Low As Reasonably Achieveable.

Untuk memenuhi kriteria tersebut diatas, parameter yang digunakan untuk mengevaluasi keselamatan reaktor minimal terdiri dari parameter nuklir, parameter termohidraulik dan parameter radiasi. Besaran utama yang diperlukan untuk menjamin terpenuhinya kriteria keselamatan reaktor adalah

1. Parameter nuklir berupa reaktivitas teras pada kondisi stuck rod minimum yaitu sebuah batang kendali dengan harga reaktivitas terbesar gagal masuk

ke teras reaktor. Pemenuhan parameter ini untuk menjamin reaktor dapat dipadamkan kapan saja.

2. Dari segi termohidraulik adalah besaran suhu masukan ke teras reaktor maksimum yang akan menjamin tercukupinya pendinginan bahan bakar reaktor untuk menjaga integritas bahan bakar.

3. Untuk parameter radiasi berupa radioaktivitas alpha, betha, gamma dan neutron serta gas nobel, yang harus dijaga tidak melewati batas yang diizinkan.

Harga batas besaran besaran tersebut disajikan dalam Tabel 1<sup>[2]</sup> yang akan digunakan untuk mengevaluasi kinerja keselamatan reaktor RSG-GAS.

Tabel 1. Harga batas parameter nuklir, termohidraulik dan radiasi.

Parameter	Besaran	Harga Batas
Nuklir	Reaktivitas stuck rod minimum	0,5 %
Termohidraulik	Suhu masuk teras maksimum	42 o C
Radiasi	Paparan radiasi- $\gamma$ lantai 0m, 13 m	2,5 mRad/jam
	Paparan radiasi neutron	2,5 mRad/jam
	Radioaktivitas alpha	$7,03 \cdot 10^{-2} \text{ Ci/m}^3$
	Radioaktivitas beta	$7,03 \cdot 10^{-1} \text{ Ci/m}^3$
	Gas nobel keluar cerobong	$1,9 \cdot 10^4 \text{ Ci/m}^3$

Penelitian dilaksanakan dengan cara pengumpulan data operasi reaktor, pengumpulan data gangguan, kejadian dan kecelakaan operasi reaktor, pengolahan data dan evaluasi parameter keselamatan reaktor RSG-GAS. Kegiatan pengumpulan data dilakukan untuk data desain, data parameter operasi termasuk data gangguan, kejadian dan kecelakaan reaktor selama kurun waktu

25 tahun. Data desain diambil dari dokumen Laporan Analisis Keselamatan RSG-GAS terutama untuk data harga batas keselamatan. Data parameter operasi reaktor diambil dari Laporan Operasi Reaktor mulai teras 1 sampai dengan teras 80<sup>[3]</sup> yang meliputi kurun waktu dari tahun 1987 sampai dengan tahun 2012, dengan periodisasi 5 (lima) tahunan seperti ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 2. Periode Lima Tahunan versus Nomor Teras Reaktor RSG GAS

Periode	5 Tahunan	No Teras
I	1988 – 1992	1 - 7
II	1993 – 1997	8 - 28
III	1998 – 2002	29 - 44
IV	2003 – 2007	45 – 62
V	2008 – 2012	63 – 80

Data tersebut kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan atau grafik. Evaluasi dilakukan dengan cara membandingkannya dengan harga batas keselamatan pada Tabel 1. Keselamatan operasi juga dievaluasi dari

banyaknya gangguan, kejadian dan kecelakaan operasi reaktor kemudian dibandingkan dengan skala INES (*INTERNATIONAL NUCLEAR EVENT SCALE*)<sup>[4]</sup> yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Skala INES

Skala dan nama kejadian	Kriteria atau gejala keselamatan		
	Dampak off site	Dampak on-site	Sistem berlapis
7 ( <i>Kecelakaan Besar</i> )	pelepasan zat r.a. besar berdampak kesehatan dan lingkungan	-	-
6 ( <i>Kecelakaan serius</i> )	Pelepasan zat r.a. cukup besar	-	-
5 ( <i>Kecelakaan beresiko off-site</i> )	Pelepasan zat r.a. terbatas	kerusakan berat pada teras reaktor/sistem penghalang	-
4 ( <i>Kecelakaan tanpa resiko off-site</i> )	Pelepasan zat r.a. kecil, paparan radiasi ke masyarakat tidak terlampaui	kerusakan pada teras reactor/system penghalang/paparan radiasi pekerja besar	-
3 ( <i>Kejadian serius</i> )	Pelepasan zat r.a sangat kecil kepada masyarakat	Kontaminasi tersebar luas /terjadi pengaruh kesehatan akut seorang pekerja	Sistem penghalang keselamatan tidak berfungsi lagi
2 ( <i>Kejadian</i> )	-	kontaminasi atau paparan lebih kepada seorang pekerja.	Kegagalan persyaratan keselamatan
1 ( <i>Anomali</i> )	-	-	Penyimpangan batas operasi
0 ( <i>deviasi</i> )	Tidak mempengaruhi keselamatan		

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Data parameter operasi reaktor RSG-GAS selama 25 tahun dari Teras I sampai

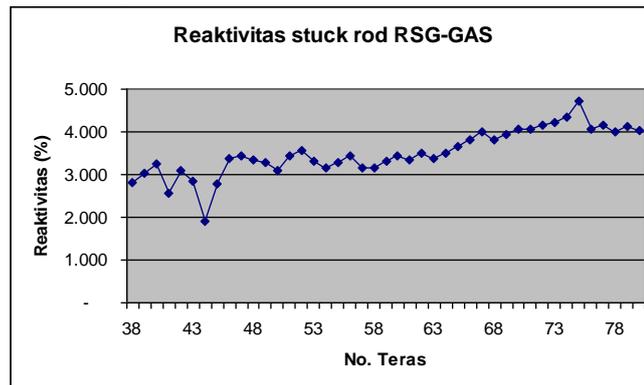
dengan Teras 80, meliputi parameter nuklir, termohidraulik, radiasi, data gangguan, kejadian, kecelakaan operasi reaktor, telah dikumpulkan dari Laporan Operasi Reaktor

RSG-GAS yang kemudian disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 5 dan dalam Tabel 4. Dari gambar dan tabel tersebut dapat disarikan hasilnya seperti dibawah ini.

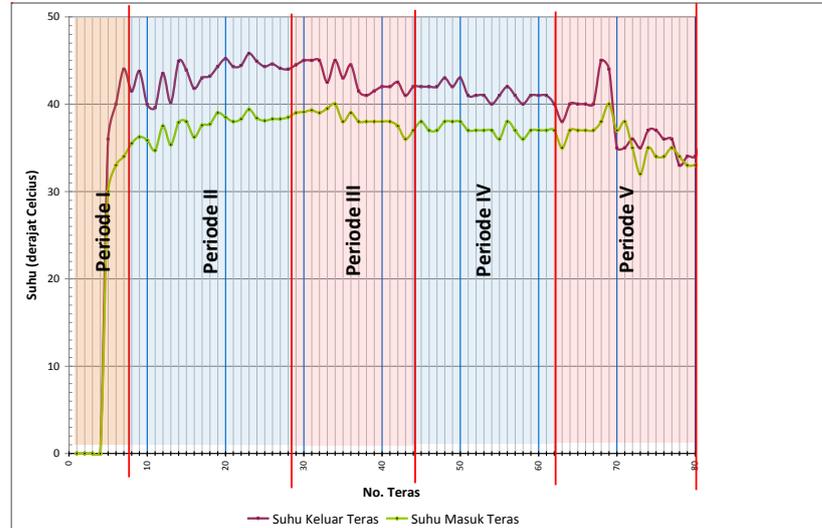
Pada saat operasi reaktor normal, harga parameter keselamatan maksimum selalu berada dibawah batas keselamatan operasi untuk seluruh periode lima tahunan.

Dari aspek nuklir terlihat dari Gambar 1. bahwa reaktivitas teras saat *stuck rod* minimum mempunyai harga sebesar 1,9%

pada teras operasi ke 45. Harga ini berada jauh diatas batas 0,5%, artinya reaktor selalu bisa dipadamkan oleh sistem batang kendali reaktor. Dari Gambar 2. suhu masukan ke teras reaktor maksimum mencapai 40°C pada Teras no.71. Harga ini berada dibawah harga batas 42°C, artinya pendinginan bahan bakar terjamin aman dan selamat dari aspek termohidraulik.



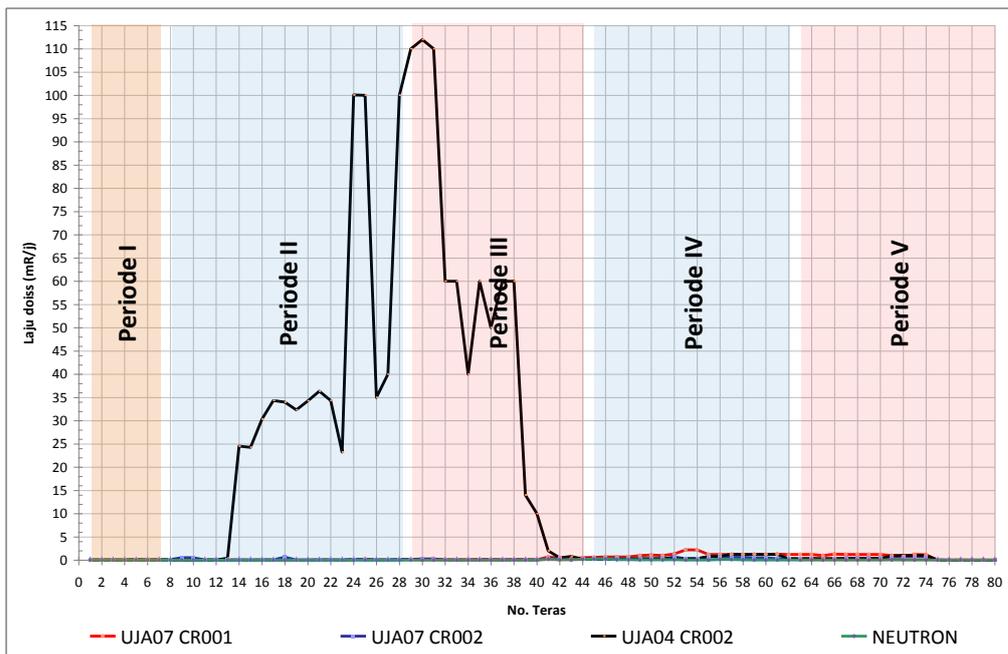
Gambar 1. Reaktivitas stuck rod pada teras operasi no 39 sampai dengan 80



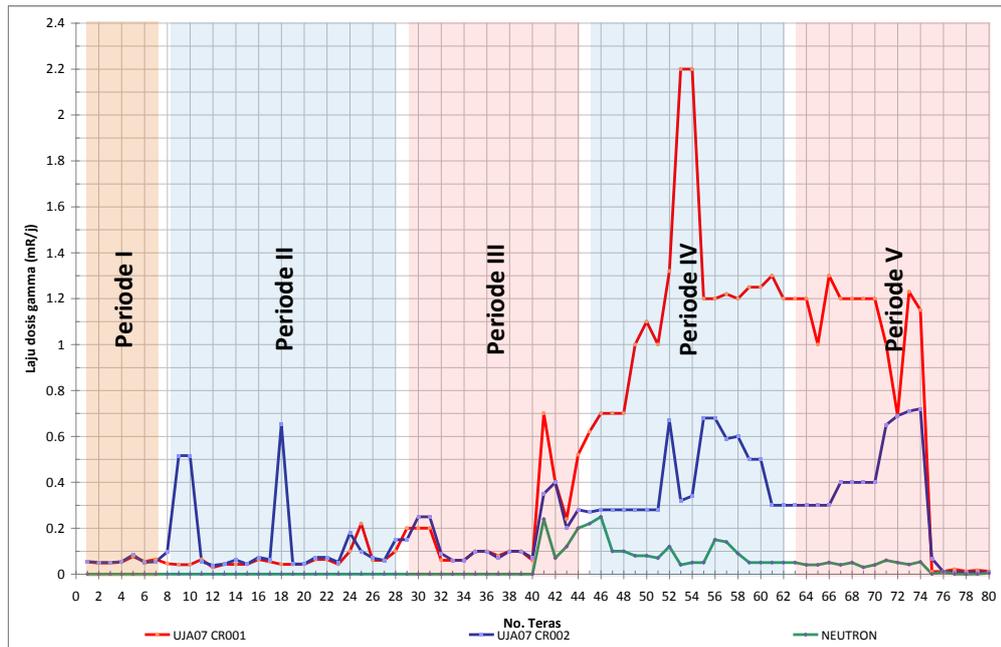
Gambar 2. Suhu keluar dan masuk teras reaktor maksimum pada operasi teras no. 1 sampai dengan 80

Dari aspek radioaktivitas, harga paparan radiasi dan konsentrasi radioaktivitas juga diperoleh dibawah harga batas yang diizinkan, lihat Gambar 3 dan 4, yaitu:

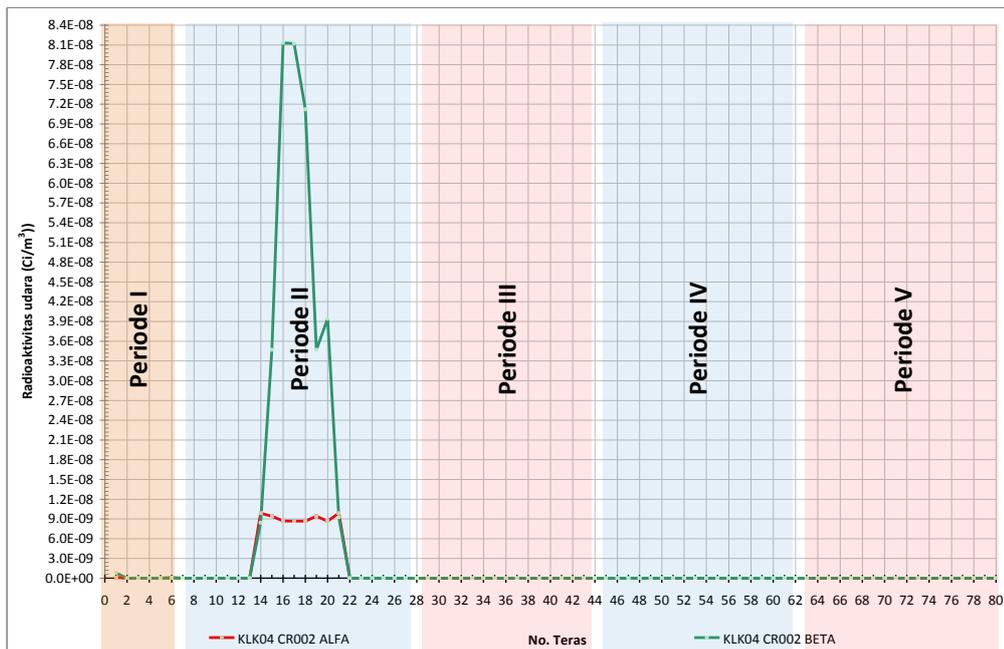
- Pada Gambar 3.a, paparan radiasi gamma di lantai 0 m pada operasi Teras no. 25 sampai dengan Teras No. 38, mempunyai harga yang sangat tinggi sampai mencapai harga maksimum sebesar 112 mRad/jam atau 1,12 mGy/jam. Harga ini melebihi batas keselamatan operasi sebesar 2,5 mRad/jam. Ternyata keadaan ini disebabkan oleh kanal berkas neutron S-5 menuju Gedung Hamburan Neutron (Gedung No. 40) di lantai Balai Eksperimen (0 m) belum memadai. Penyelesaiannya ditambah perisai radiasi dengan parafin pada kanal tersebut dan pada saat operasi daerah tersebut tertutup untuk orang.
- Setelah penambahan perisai parafin, paparan radiasi- $\gamma$  maksimum mencapai 2,2 mRad/jam berada dibawah harga batas maksimumnya 2,5 mRad/jam, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.b.
- Paparan radiasi neutron maksimum adalah 0,0025 di bawah harga batas maksimum sebesar 0,025 mRad/jam
- Radioaktivitas gas nobel yang keluar cerobong gedung reaktor, maksimum mencapai  $6,1 \cdot 10^3 \text{ Ci/m}^3$ , adapun harga batasnya adalah  $1,9 \cdot 10^4 \text{ Ci/m}^3$ .
- Radioaktivitas alpha  $1,0 \cdot 10^{-8}$ , jauh dibawah harga batasnya  $7,03 \cdot 10^{-2} \text{ Ci/m}^3$
- Radioaktivitas beta  $8,0 \cdot 10^{-8}$ , jauh dibawah harga batasnya  $7,03 \cdot 10^{-1} \text{ Ci/m}^3$



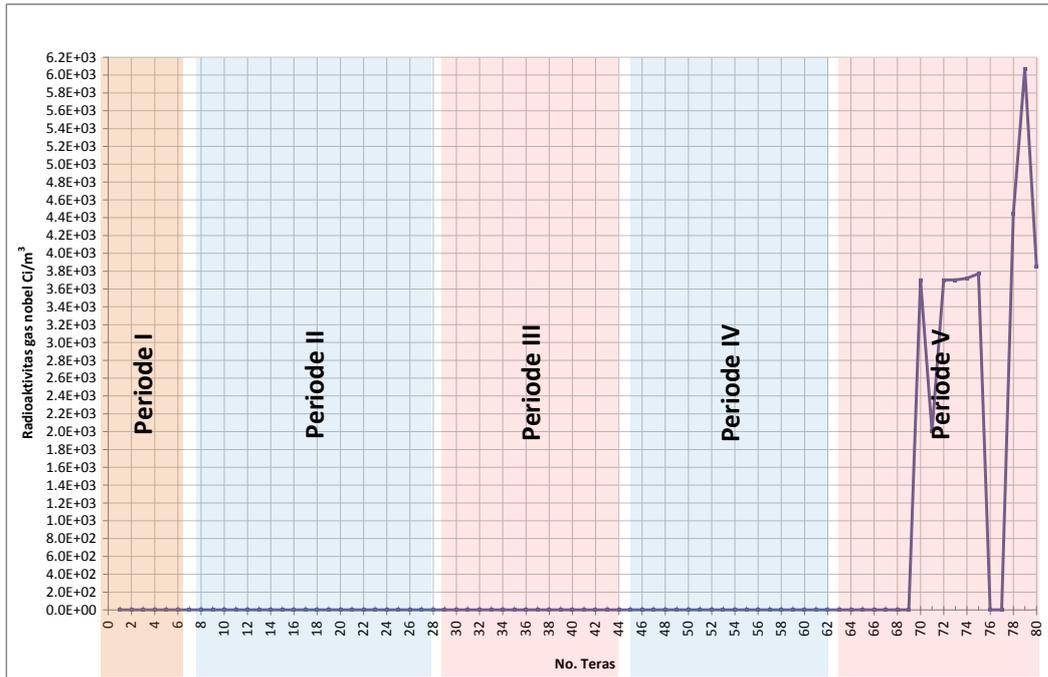
Gambar 3a. Paparan radiasi gamma di lantai 0m (UJA04 CR002) pada operasi teras no. 1 sampai dengan 80



Gambar 3b. Paparan radiasi gamma dan neutron di Balai Operasi Reaktor pada operasi teras no. 1 sampai dengan 80



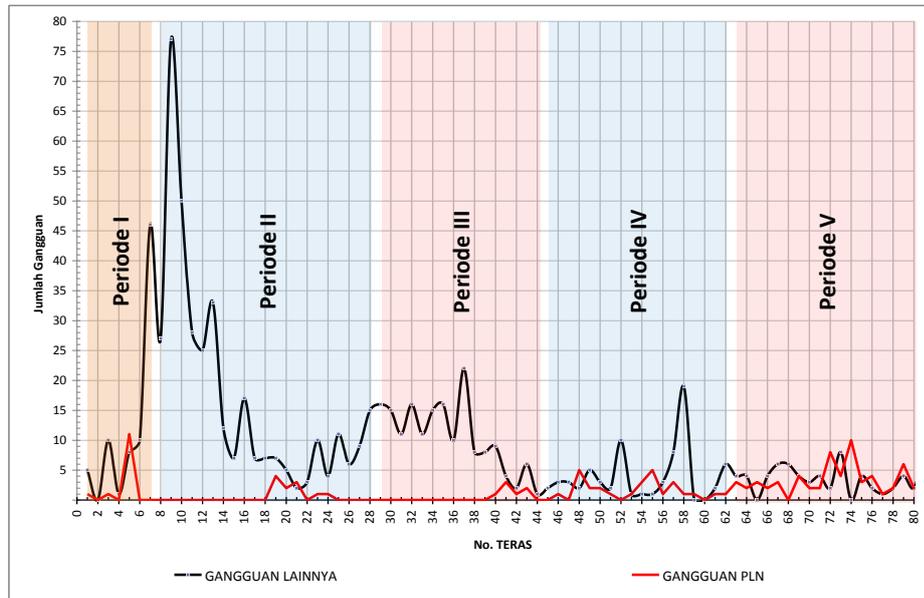
Gambar 4. Radioaktivitas alpha dan beta di lantai 13 m gedung reaktor pada operasi teras no. 1 sampai dengan 80



Gambar 4. Radioaktivitas gas nobel keluar cerobong gedung reaktor pada operasi teras no. 1 sampai dengan 80

Pada saat terjadi operasi tidak normal atau gangguan dan kegagalan operasi, sistem proteksi raktor berfungsi dengan baik yaitu dapat memadamkan reaktor secara otomatis. Jumlah kejadian (insiden) operasi reaktor adalah 27 kali kejadian selama beroperasi 25 tahun seperti terlihat pada Tabel 4. Ditinjau dari skala kecelakaan nuklir INES, semua kejadian tersebut tergolong dalam skala 1

(anomali, dimana hanya terjadi penyimpangan batas operasi) dan skala nol (deviasi, dimana tidak ada dampak atau pengaruh terhadap sistem keselamatan) yang tidak memberi dampak radiologis. Data tersebut menggambarkan bahwa selama kurun waktu 25 tahun reaktor RSG GAS dioperasikan dan digunakan dengan aman.



Gambar 5. Gangguan operasi reaktor pada operasi teras no. 1 sampai dengan 80

Tabel 4. Kejadian Operasi Reaktor pada operasi teras no.1 sampai dengan 80

No	Tanggal	Kejadian	Skala INES
1	15 – 12 – 1989	Tabung pengarah detektor kanal start up, JKT01 CX821 bocor	0
2	23 – 02 – 1993	Kerusakan Trafo BHT03	0
3	05 – 03 – 1997	Terlepasnya kapsul target FPM	0
4	07 – 03 – 1997	Bocor Oli di pompa sekunder PA02 AP01	0
5	13 – 03 – 1993	Kerusakan batang kendali JDA05	0
6	25 – 03 – 1996	Naiknya penunjukan FFD	1
7	30 - 01 – 1997	Terjatuhnya kancing baju di kolam reactor	0
8	07 – 03 – 1997	Pompa Sekunder PA02 AP01	0
9	17 – 03 – 1997	Terjadi gempa bumi	0
10	23 – 04 – 1997	Terjatuhnya stringer pembawa Kapsul	0
11	24 – 04 – 1997	Terjadi kerusakan target HEU	1
12	08 – 05 – 1997	Kotoran benda asing di elemen bakar B-8 (I)	0
13	20 – 07 – 1998	Getaran pada beam tube S-5	0
14	03 – 08 – 1998	Bengkok pada ujung Bahan Bakar RI-219	0
15	18 – 03 – 2000	Seal pompa pendingin primer JE01 AP01 bocor	1

No	Tanggal	Kejadian	Skala INES
16	29 – 09 – 2000	Kerusakan target FPM selama Iradiasi	1
17	25 – 04 – 2001	Pompa Sekunder PA02 AP01 mati	0
18	22 – 12 – 2002	Kebakaran panel listrik distribusi utama jalur A	0
19	30 – 07 – 2003	Kenaikan Suhu Sistem Pendingin	0
20	19 – 12 – 2003	Kegagalan Iradiasi target FPM	1
21	24 – 01 – 2005	Kebocoran kapsul target FPM	1
22	26 – 01 – 2005	Kenaikan radioaktivitas udara di Balai Operasi	1
23	22 – 06 – 2005	Kerusakan Bahan Bakar RI-362	1
24	01 – 03 – 2006	Kenaikan radioaktivitas udara di Balai Operasi	1
25	10 – 03 – 2006	Konduktivitas Air Primer Naik Hingga > 8 $\mu\text{s/cm}$	0
26	09 – 06 – 2006	Pipa pendingin sekunder Jalur PA01 bocor	0
27	14 – 11 – 2011	Kopling JE01 AP03 pecah & pompa PA01 AP01 motor terbakar	0

## KESIMPULAN

Secara teknis dapat disimpulkan bahwa reaktor RSG-GAS selama kurun waktu 25 tahun dioperasikan dan digunakan dengan aman, tidak terjadi kecelakaan nuklir. Sistem keselamatan reaktor menunjukkan kinerja yang baik dan handal sehingga saat terjadi gangguan atau bahkan kegagalan operasi maupun gangguan penggunaan reaktor, reaktor dapat dipadamkan secara otomatis oleh sistem proteksi reaktor. Kejadian operasi reaktor yang terjadi masuk dalam skala level nol dan skala satu dimana tidak menimbulkan dampak radiologis.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Kepala Pusat Reaktor Serba Guna atas izin memperoleh data operasi reaktor RSG-GAS

dan Bapak Sudijono dan Bapak Sigit Haryanto yang telah membantu mengumpulkan data sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Perka BAPETEN No. 2 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Operasi Reaktor Non Daya.
- [2]. LAK RSG - GAS, Rev. 10.1 Tahun 2011.
- [3]. Laporan Operasi Reaktor RSG-GAS Teras ke-1 sampai dengan Teras ke-80, Bidang Operasi Reaktor, Pusat Reaktor Serba Guna, 1987 – 2012.
- [4]. IAEA Safety Standards, Safety of Research Reactors, Safety Requirement No. NS-R-4, Vienna, 2005.