

EVALUASI KINERJA DETEKTOR PEMANTAU RADIASI AIR PENDINGIN BAHAN BAKAR BEKAS DI RSG-GAS

Yulius Sumarno, Subiharto, Nazly Kurniawan

ABSTRAK

EVALUASI KINERJA DETEKTOR PEMANTAU RADIASI AIR PENDINGIN BAHAN BAKAR BEKAS DI RSG-GAS. Telah dilakukan evaluasi terhadap kinerja detektor pemantau radiasi air pendingin bahan bakar bekas di RSG-GAS. Kajian dilakukan dengan cara melakukan uji fungsi terhadap detektor, dengan menggunakan sumber TKA 04P, yang terdiri dari dua buah sumber Co-60 dengan aktivitas 28,92 μCi dan 37,83 μCi , yang dikalibrasi tanggal 20 Desember 2000. Tahapan uji fungsi detektor FAK01 CR001 dilakukan dengan cara Pemeriksaan pembeda tegangan diskriminasi, Pemeriksaan sumber tegangan tinggi dan Uji fungsi dengan menggunakan sumber TKA 04. Evaluasi terhadap hasil uji fungsi diperoleh bahwa deviasi dari pengukuran tersebut lebih kecil dari 0,26 %. Dengan demikian detektor pemantau air pendingin bahan bakar bekas masih sangat baik dan dapat diandalkan untuk memantau radiasi kolam penyimpanan sementara bahan bakar bekas di RSG-GAS.

Kata Kunci : uji fungsi, sistem FAK01, radiasi

ABSTRACT

PERFORMANCE EVALUATION OF RADIATION MONITORING DETECTOR FOR THE RSG-GAS SPENT FUEL STORAGE POND COOLING WATER. Performance evaluation of radiation monitoring detector for cooling water of spent fuel storage pool of RSG-GAS has been conducted. The evaluation was conducted by detector performance test using TKA 04P standard source, which are consist of 2 Co-60 standard sources and the activities are 28,92 μCi and 37,83 μCi . These standard sources was calibrated on December 20th, 2000. The detector performance test was performed by checking the discriminator voltage. The discriminator voltage examination was done by using TKA 04 standard source. It could be obtained from the performance test that measurement deviation was less than 0,26 %. So, it can be concluded that the radiation monitoring detector of spent fuels cooling water still perform very well and still reliable for monitoring the radiation level at the RSG-GAS spent fuels storage pool

Key Words: test performance, FAK01 system, radiation

PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) merupakan instalasi nuklir yang secara rutin beroperasi dengan daya 15 MW untuk tujuan penelitian, irradiasi bahan dan lainnya. Salah satu akibat yang ditimbulkan dari beroperasinya RSG-GAS, limbah dari bahan bakar bekas yang harus dikelola dengan cara disimpan sementara di tempat yang aman sebelum dikirim ke Pusat Teknologi Limbah Radioaktif.

Untuk menyimpan sementara bahan bakar bekas, kolam reaktor dilengkapi dengan kolam penyimpanan sementara bahan bakar bekas yang terletak bersebelahan dengan kolam reaktor. Kolam penyimpanan sementara bahan bakar bekas menggunakan air bebas mineral dan dilengkapi dengan sistem pemurnian air (FAK01).

Sistem pemurnian dan pendingin kolam penyimpanan sementara bahan bakar bekas mengambil produk aktivasi dan pengotor mekanik dari air kolam penyimpanan, serta mengambil panas peluruhan dari bahan bakar bekas di kolam penyimpanan.

Untuk mengetahui apakah ada produk aktivasi dari bahan bakar bekas yang disimpan di kolam penyimpanan sementara bahan bakar bekas, pada sistem pemurnian air kolam penyimpanan dipasang alat monitor radiasi FAK01 CR001. Bila ada kenaikan tingkat paparan yang signifikan maka alat ini akan memberikan sinyal alarm. Harga batas alarm dari alat ini di-setting berdasarkan nilai perhitungan desain reaktor.

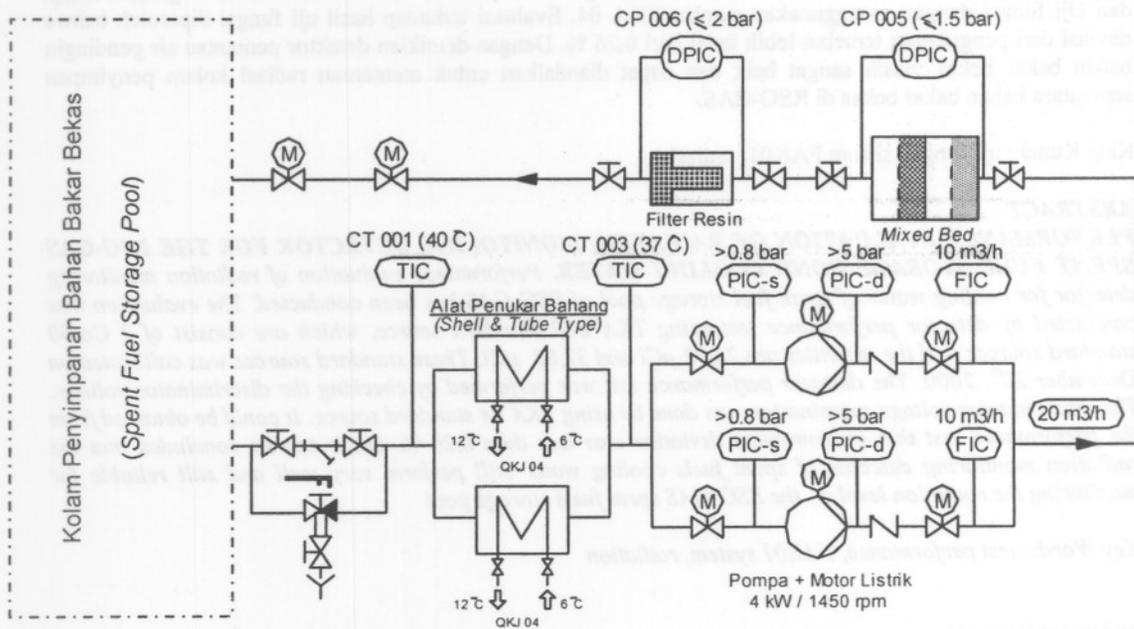
Untuk mengetahui apakah ada penyimpangan nilai batas alarm serta penunjukan pengukuran, dilakukan uji fungsi pada detektor sistem monitor FAK01 CR001 setiap 6 bulan. Uji fungsi dilakukan sesuai dengan *Maintenance Report Manual (MRM)* yang dianjurkan oleh pihak Interatom (Pembuat Reaktor). Pada dokumen tersebut dituliskan bahwa; deviasi maksimum yang diperbolehkan dari tiap – tiap nilai parameter terukur agar hasil uji fungsi dinyatakan baik atau dapat diterima adalah sebesar $\pm 20\%$. Dari hasil uji fungsi dan kalibrasi internal, akan dapat diketahui tingkat kinerja sistem FAK01 CR001.

DESKRIPSI

Sistem pemurnian dan pendingin kolam penyimpanan sementara bahan bakar bekas digunakan untuk menjaga mutu air dan mengendalikan suhu air kolam penyimpanan bahan bakar. Komponen dari sistem ini terbuat dari campuran aluminium dan magnesium (Al-Mg). Kolam penyimpanan bahan bakar berisi ± 150 m³ air bebas mineral, dilengkapi dengan dua rak penyimpanan dengan 300 posisi penyimpanan untuk bahan bakar bekas. Sistem

didesain untuk dapat memindahkan daya termal maksimum sebesar 65 kW.

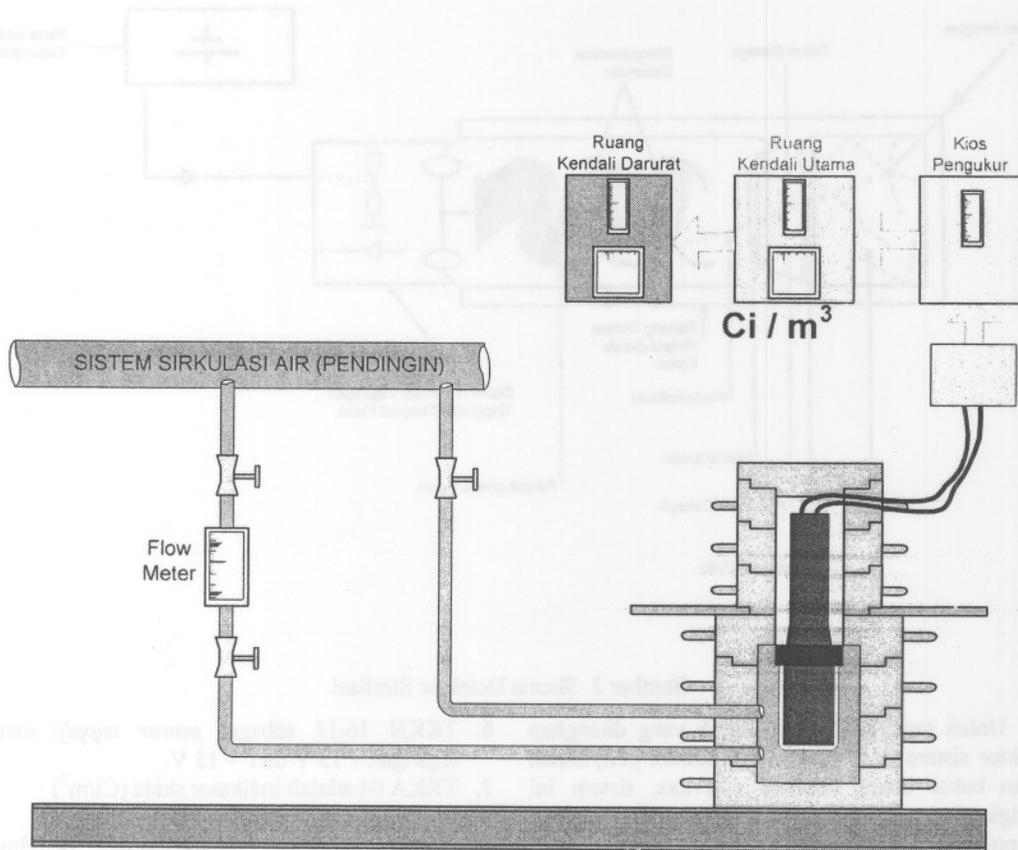
Filter *mix-bed* penukar ion dan filter resin mekanik dengan kapasitas aliran 20 m³/h digunakan untuk menjaga mutu air kolam penyimpanan agar selalu berada pada harga spesifikasi mutu air kolam reaktor. Sistem dioperasikan dari Ruang Kendali Utama. Komponen dari sistem purifikasi dan pendingin kolam penyimpanan elemen bakar teriradiasi terletak pada level - 6,50 m gedung reaktor, dan terbuat dari baja tahan karat.



Gambar 1. Sistem Purifikasi kolam penyimpanan bahan bakar bekas (FAK01)

Untuk mengetahui tingkat radiasi di dalam kolam penyimpanan bahan bakar bekas, pada sistem pemurnian air kolam penyimpanan dipasang alat monitor radiasi FAK01 CR001. Prinsip kerja sistem FAK01 CR001 ini adalah mengambil cuplikan air dari pipa purifikasi FAK01. Air cuplikan kemudian

dialirkan ke dalam *Vessel* yang di atasnya dipasang detektor sintilasi SG 65. *Vessel* dan detektor dikungkung dalam perisai radiasi dari Pb. Untuk lebih jelasnya prinsip kerja FAK01 CR001 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Prinsip kerja FAK01 CR001

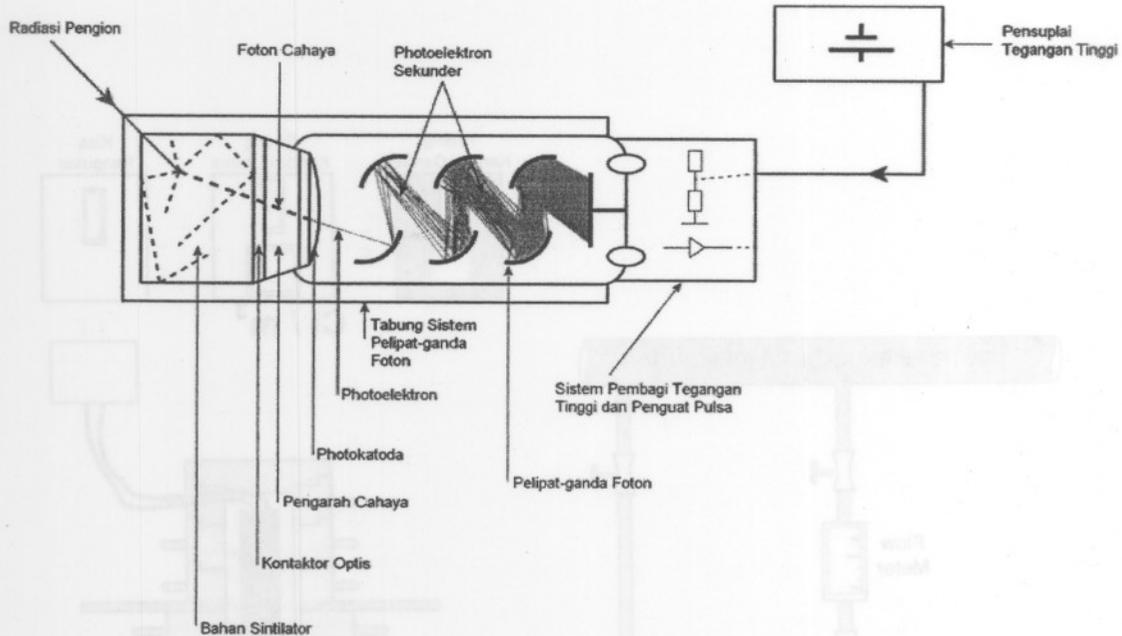
Detektor

Detektor sintilasi menggunakan bahan, yang jika dilewati radiasi akan menimbulkan cahaya, sehingga disebut sintilator. Sifat utama yang dimiliki sintilator ialah intensitas cahaya yang timbul sebanding dengan energi radiasi. Pada umumnya setiap satu tembusan partikel ke dalam sintilator selalu menimbulkan satu pulsa cahaya dengan puncak intensitas yang sebanding lurus (linier) dengan energi radiasi.

Untuk mengubah pulsa cahaya menjadi pulsa listrik digunakan Photo-Multiplier (PMT). Susunan sintilator dan PMT tertera pada Gambar 3.

Sintilator ditutup dengan dinding kedap cahaya tetapi dapat ditembus radiasi. Lapisan dinding

sebelah dalam dibuat bersifat lapisan cermin sehingga cahaya hanya direfleksikan ke arah muka tabung PMT. Agar transmisi cahaya dari bahan sintilator ke muka tabung PMT efisien, maka pada sambungan sintilator dan PMT digunakan minyak silikon. Hal ini diperlukan agar cahaya yang jatuh ke dalam tabung PMT mendekati 100 %. Radiasi pengion yang datang menembus sintilator akan mengakibatkan terjadinya eksitasi dan ionisasi, yang menimbulkan proses konversi energi di dalam sintilator, yang melalui proses luminesensi, yang kemudian menimbulkan cahaya. Panjang gelombang cahaya yang dideteksi berkisar antara 3500 – 5700 Angstrom.



Gambar 3. Skema Detektor Sintilasi

Untuk mengubah pulsa listrik yang ditangkap detektor sistem pemantau radiasi kolam penyimpanan bahan bakar bekas menjadi aktivitas, sistem ini dilengkapi dengan beberapa peralatan bantu yang ditempatkan di kios pengukur:

1. TKKZ 33.21 (*logarithmic DC Amplifier*) berfungsi untuk memperkuat arus yang dihasilkan oleh detektor. Keluaran dari modul ini berupa tegangan 0-10 Vdc.
2. TKKL 34.11 untuk kompensasi dengan cacah latar
3. TKKH 31.51 sebagai pembangkit tegangan tinggi untuk detektor
4. TKKT 31.14 SM untuk mengubah tegangan 0-10 V DC menjadi arus 0-20 mA agar dapat dibaca di *Cabinet*, dari Ruang Kendali Utama, dari Ruang Kendali Darurat dan Komputer.
5. TKKG 35.15 digunakan untuk mengatur tiga buah sinyal alarm, yaitu :
 - *Low Radiation*
 - *High Radiation*
 - *High High Radiation*.
 Tinggi rendahnya sinyal alarm dapat diatur sesuai dengan ketentuan tingkat bahaya yang berlaku

6. TKNK 16.11 sebagai *power supply* dengan tegangan + 15 V dan - 15 V.
7. TKKA 04 adalah indikator skala (Ci/m³)

Sistem pemantau radiasi kolam penyimpanan bahan bakar bekas FAK01 CR001 dirancang untuk mengukur tingkat radiasi gamma di dalam air, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Rancangan Pengukuran	: Aktivitas Gamma
Satuan Pengukuran	: Ci/m ³
Rentang Pengukuran	: 2.10 ⁻⁷ s/d 1.10 ⁻¹
Rentang operasi	: 10 s/d 30 m ³ /jam
Harga batas alarm	: 5.10 ⁻³ Ci/m ³
Tipe Detektor	: NaI(Tl)
Output	: 0-20 mA
Power Supply	: 24 V

Kalibrasi

Sumber Kalibrator	: Co-60
Tanggal beredar	: 20 Desember 2000
Aktivitas	: 28,92 μCi
	: 37,83 μCi

Nilai terhitung untuk Hitung rata-rata, Ua dan Penunjukan Indikator TKKA04 dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1 : Nilai terhitung Co-60 aktivitas 28,92 μCi dan 37,83 μCi

	Nilai terhitung Co-60 28,92 μCi	Nilai terhitung Co-60 37,83 μCi
Hitung rata-rata (k Hz)	107,02	155,20
Ua (V)	-8,87	-9,12
Indikator TKKA 04 (Ci/m ³)	2,22 . 10 ⁻²	3,17 . 10 ⁻²

Aktivitas sumber standar pada saat kalibrasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1)

$$A_t = A_0 \cdot e^{-\frac{0.693 \cdot t}{T_{1/2}}} \dots\dots(1)$$

Dengan

- A_0 = Aktivitas awal sumber (dalam Curie)
- A_t = Aktivitas waktu t (dalam Curie)
- t = rentang waktu (dalam tahun)
- $T_{1/2}$ = Waktu paruh sumber (dalam tahun)

Penunjukkan indikator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2)

Nilai Terhitung saat ini =

$$\frac{A_t}{A_0} \times \text{nilai terhitung 20 Desember 2000} \dots\dots(2)$$

Dengan

- A_t = Aktivitas waktu t (dalam Curie)
- A_0 = Aktivitas awal sumber (dalam Curie)
- Set Point sertifikat (dalam mR/Jam)
- Set Point saat ini (dalam mR/Jam)

Hitung rata-rata dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3)

Hitung rata - rata saat ini =

$$\frac{A_t}{A_0} \times \text{Hitung rata - rata 20 Desember 2000} \dots\dots(3)$$

Tegangan U_a dapat dicari menggunakan Tabel 1

Deviasi dapat dihitung menggunakan persamaan (4)

$$\text{Deviasi} = \frac{\text{Nilai Terukur} - \text{Nilai Terhitung}}{\text{Nilai Terhitung}} \times 100\% \dots\dots(4)$$

TATA KERJA

Tahapan yang harus dikerjakan dalam rangka uji fungsi detektor FAK01 CR001 adalah sebagai berikut:

- a) Pemeriksaan pembeda tegangan diskriminasi
- b) Pemeriksaan sumber tegangan tinggi
- c) Uji fungsi dengan menggunakan sumber TKA 04P, yang terdiri dari sumber Co-60 yang dikalibrasi tanggal 20 Desember 2000 dengan aktivitas 28,92 μCi dan 37,83 μCi .

Cara melakukan uji fungsi:

- Hitung aktivitas sumber menggunakan persamaan (1)
- Hitung Nilai terhitung hitung rata-rata menggunakan persamaan (3)
- Hitung Nilai terhitung Indikator TKKA04 menggunakan persamaan (2)
- Cari Nilai terhitung U_a menggunakan Tabel (2)
- Hitung Deviasi dengan menggunakan persamaan (4)

Alat yang digunakan adalah:

- 1) Multimeter *Digital*
- 2) *Counter*

Tabel 2 : Konversi Penunjukan Indikator TKKA04 dengan tegangan Ua (Ampl.)

Scale destination TKKA04 (Ci/m ³)	Scale mark	Output	
		Ampl. 0 – 10 V	Buff. Ampl. 0 – 20mA
2,1 . 10 ⁻⁷	--	0	0
	--	0,67	1,35
	--	1,07	2,15
	--	1,33	2,65
	--	1,50	3,01
10 ⁻⁶	----	1,64	3,28
	--	2,07	4,14
	--	2,58	5,15
	--	2,87	5,75
	--	3,08	6,17
10 ⁻⁵	----	3,25	6,50
	--	3,76	7,51
	--	4,26	8,53
	--	4,56	9,12
	--	4,77	9,55
10 ⁻⁴	----	4,94	9,87
	--	5,44	10,89
	--	5,95	11,90
	--	6,25	12,50
	--	6,46	12,92
10 ⁻³	----	6,62	13,25
	--	7,13	14,26
	--	7,64	15,28
	--	7,94	15,88
	--	8,15	16,30
10 ⁻²	----	8,31	16,62
	--	8,82	17,64
	--	9,33	18,66
	--	9,63	19,25
	--	9,84	19,67
10 ⁻¹	----	10,00	20,00

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pemeriksaan pembeda tegangan Diskriminasi(U_D)

Nilai terhitung	Nilai terukur
216 mV	216 mV

Perbedaan tegangan diperbolehkan max. ± 2 mV

Pengukuran tegangan diskriminasi dilakukan di modul TKKZ 33.21. Tegangan diskriminasi ini menentukan lebar rentang energi yang diukur. Penyimpangan tegangan diskriminasi melebihi yang diperbolehkan akan sangat mempengaruhi hasil uji fungsi menggunakan sumber C0-60

b. Pemeriksaan sumber tegangan tinggi

Nilai terhitung	Nilai terukur
1000V	996 V

Perbedaan tegangan diperbolehkan max. ± 10 V

Pengukuran sumber tegangan tinggi detektor dilakukan untuk mengetahui penyimpangannya. Penyimpangan melebihi 10 V akan sangat mempengaruhi kerja detektor, sehingga hasil pengukuran kurang dapat dipercaya.

c. Uji fungsi dengan sumber TKA04P

c.1. Pengukuran menggunakan sumber aktivitas

28.92 µCi

Diperbolehkan deviasi tertinggi nilai terukur ± 20 %

Sumber : Co-60

Tanggal beredar : 20 Desember 2000

Aktivitas keluar A₀ : 28,92 µCi

Waktu paruh t_{1/2} : 5,27 tahun

Aktivitas A pengtesan pada periode t = 8 Juni 2011

$$A = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2 \cdot t}{t_{1/2}}} = 7,296 \mu\text{Ci}$$

Nilai terhitung penunjukan indikator dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2) Nilai terhitung

untuk hitung rata-rata dapat dicari dengan terhitung untuk tegangan U_a dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3) Sedangkan Nilai memakai Tabel 2.

Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3 : Hasil kalibrasi dengan sumber aktivitas 7,296 μCi

	Nilai terhitung	Nilai terukur	Deviasi
Hitung rata-rata (k Hz)	27,00	27,00	0 %
U_a (V)	-7,82	7,80	0,26 %
Indikator TKKA 04 (Ci/m^3)	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$	0,18 %

c.2. Pengukuran menggunakan sumber aktivitas 37,83 μCi

Sumber : Co-60
Tanggal beredar : 20 Desember 2000
Aktivitas keluar A_0 : 37,83 μCi
Waktu paruh $t_{1/2}$: 5,27 tahun
Aktivitas A pengetesan pada periode $t = 8$ Juni 2011

$$A = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2 \cdot t}{t_{1/2}}} = 9,543 \mu\text{Ci}$$

Nilai terhitung penunjukan indikator dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2) Nilai terhitung untuk hitung rata-rata dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3) Sedangkan nilai terhitung untuk tegangan U_a dapat dicari dengan memakai Tabel 2.

Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 : Hasil kalibrasi dengan sumber aktivitas 9,543 μCi

	Nilai terhitung	Nilai terukur	Deviasi
Hitung rata-rata (k Hz)	39,15	39,08	0,18 %
U_a (V)	-8,12	-8,10	0,24 %
Indikator TKKA 04 (Ci/m^3)	$8 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	0 %

Jika pemeriksaan pembeda tegangan Diskriminasi (U_d) lebih dari 2 mV, maka perlu dilakukan *ajustment* supaya diperoleh harga yang sama.

Detektor FAK01 CR001 bekerja dengan baik pada tegangan 1000 Volt \pm 10 Volt. Jadi apabila hasil pemeriksaan tegangan kerja detektor berbeda lebih dari 10 Volt, modul penyedia tegangan tinggi detektor harus diperbaiki dan kalibrasi tidak dapat dilaksanakan karena hasilnya pasti tidak akan akurat.

Nilai terhitung dari hitung rata-rata, Tegangan (U_a) dan penunjukan indikator TKKA04 dapat dilihat pada tabel 3 dan 4 pada kolom Nilai terhitung. Sedangkan hasil pengukuran (dengan alat bantu *counter* dan Multimeter *digital*) hitung rata-rata, Tegangan (U_a) dan penunjukan indikator TKKA04 dapat dilihat pada tabel 3 dan 4 pada kolom Nilai terukur.

Dengan menggunakan persamaan 4 deviasi dapat dihitung dan dapat dilihat pada tabel 3 dan 4. Dari hasil perhitungan deviasi yang berkisar antara 0 - 0,26 %, maka detektor pemantau kolam penyimpanan sementara bahan bakar bekas FAK01 CR001 masih baik.

KESIMPULAN

Dengan melihat deviasi hasil pengukuran yang kurang dari 0,26 %, sedangkan deviasi yang diijinkan adalah 20 %, maka detektor pemantau radiasi yang dipasang untuk memonitor air olam penyimpanan sementara bahan bakar bekas masih baik dan layak untuk digunakan di RSG - GAS.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANONIM; Pusat Reaktor Serba Guna - BATAN, "Laporan Analisis Keselamatan Revisi 9", Pusat Reaktor Serba Guna - BATAN, Serpong, 2006.
2. ANONIMOUS; *Maintenance and Reparation Manual : Radiation Monitoring System - γ -Water Activity Monitors*; Interatom; 1987
3. RITTERSDORF, IAN; "Gamma Ray Spectroscopy", Nuclear Engineering and Radiological Sciences, ianrit@umich.edu, 2007.
3. SUSETYO, WISNU, DRS; "Spektrometri Gamma dan Penerapannya Dalam Analisis Pengaktifan Neutron". Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, 1988