

## ANALISIS DATA LINGKUNGAN SELAMA PENGOPERASIAN REAKTOR TRIGA 2000 PTNBR-BATAN BANDUNG

Zulfakhri

Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri – BATAN  
Jl. Tamansari No. 71, Bandung, 40132, email : oetih@batan-bdg.go.id

### ABSTRAK.

**ANALISIS DATA LINGKUNGAN SELAMA PENGOPERASIAN REAKTOR TRIGA 2000 PTNBR-BATAN BANDUNG.** Telah dilakukan analisis secara kualitatif dan kuantitatif terhadap data radioaktivitas rumput dan tanah hasil pemantauan lingkungan tahun 2000-2008. Data dianalisis menggunakan metode statistik uji homogenitas varians populasi dan uji kesamaan beberapa rata-rata. Analisis kualitatif dilakukan menggunakan spektrometri sinar gamma. Berdasarkan pengujian homogenitas varians (uji  $X^2$ ) dan uji kesamaan beberapa rata-rata (uji  $F$ ) diperoleh harga  $X^2_{hitung} > X^2_{tabel}$ ,  $F_{hitung} > F_{tabel}$ , sehingga dapat dikatakan dampak pengoperasian reaktor TRIGA 2000 tidak terlihat. Data hasil analisis kualitatif sampel rumput dan tanah tidak memperlihatkan puncak-puncak energi sinar gamma dari hasil belah atau aktivasi yang keluar dari reaktor, tetapi yang terdeteksi adalah  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{212}\text{Bi}$ , dan  $^{40}\text{K}$  yang berasal dari alam. Hal ini juga bukti bahwa dampak pengoperasian reaktor TRIGA 2000 PTNBR – BATAN Bandung tidak terlihat selama tahun 2000-2008.

**Kata kunci :** analisis, data, lingkungan, pengoperasian reaktor

### ABSTRACT.

**ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL DATA DURING TRIGA 2000 REACTOR OPERATION IN PTNBR-BATAN BANDUNG.** The radioactivity data of grass and soil obtained from environmental monitoring during 2000-2008 have been quantitatively and qualitatively analyzed. The data were analyzed using statistical method of the population homogeneity varians test and the average equality test, whereas qualitative analysis have been carried out by gamma spectrometry. From the data analysis, using homogeneity varians test ( $X^2$  test) and average equality test ( $F$  test) it was obtained that  $X^2_{calculation} > X^2_{table}$ ,  $F_{calculation} > F_{table}$ , so it can be assumed that operation of Triga 2000 reactor has no effect to the radioactivity of the environment. The qualitative analysis of grass and soil samples shows no visible peak of gamma ray from fission or activation products from the reactor, but the natural radionuclide such as  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{212}\text{Bi}$ , and  $^{40}\text{K}$  were detected. It can be concluded that reactor operation have no effect to the environmental radioactivity.

**Key words:** analysis, data, environment, reactor operation

### 1. PENDAHULUAN

Peningkatan daya reaktor dari 1 MW menjadi 2 MW dapat memberikan dampak kepada komponen lingkungan. Berdasarkan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) reaktor Triga 2000, diketahui bahwa

terindikasinya dampak dan sumber dampak penting dapat mempengaruhi kualitas lingkungan yang merupakan tanggungjawab pihak pemrakarsa yaitu Kepala Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri (PTNBR), yaitu dampak terhadap kualitas udara, air, tanah, flora dan fauna. Penurunan kualitas lingkungan

sangat berpengaruh dan merugikan masyarakat luas, dan dapat merugikan pihak pemrakarsa dipandang dari segi penerimaan publik terhadap keberadaan instalasi nuklir. Untuk itu diperlukan suatu sistem pemantauan lingkungan instalasi nuklir dalam hal pelaksanaan pengelolaan lingkungan pada saat peningkatan daya, pengoperasian dan dekomisioning reaktor Triga 2000 PTNBR [1].

Pemantauan lingkungan bertujuan untuk memperoleh informasi dan data lingkungan sedini mungkin, sehingga dapat dilakukan pencegahan dan penanggulangan yang diperlukan apabila terjadi perubahan kondisi lingkungan. Termasuk di dalamnya dapat diketahui apakah prosedur keselamatan kerja dan petunjuk pelaksanaan telah ditaati secara penuh atau belum. Dengan demikian tingkat kualitas lingkungan, keselamatan lingkungan dan pelestarian lingkungan tetap terjamin sesuai dengan undang-undang dan ketentuan yang berlaku. Instalasi nuklir dapat memberikan kontribusi positif terhadap lingkungannya.

Hasil pemantauan lingkungan dapat digunakan untuk membuktikan bahwa pelaksanaan Rencana Pengelolaan Lingkungan (RKL) dan Rencana Pemantauan Lingkungan (RPL) reaktor Triga 2000 PTNBR berjalan sesuai dengan yang direncanakan dan juga merupakan bukti bahwa kegiatan peningkatan daya sampai pengoperasian telah memenuhi ketentuan pokok dalam pengelolaan lingkungan hidup.

Data-data lingkungan, baik yang bersifat kualitatif maupun kuantitatif yang telah didokumentasikan sejak sebelum pembangunan reaktor, perlu dianalisis secara statistik setelah peningkatan daya mengingat jumlah sampel yang banyak dan beragam. Analisis data

dilakukan dengan cara uji homogenitas varians populasi dan uji kesamaan beberapa rata-rata untuk sampel rumput dan tanah dari tahun 2000-2008 [2]. Uji juga dilakukan untuk sampel rumput dan tanah hasil pemantauan sebelum reaktor berdiri. Selain data-data kuantitatif, data kualitatif hasil pengukuran sampel lingkungan menggunakan spektrometer sinar gamma juga dianalisis untuk mengetahui jenis radionuklidanya menggunakan program *Fiztpeaks gamma analysis* [4]. Dari hasil analisis ini diharapkan dapat diketahui dan dipastikan dampak pengoperasian reaktor Triga 2000.

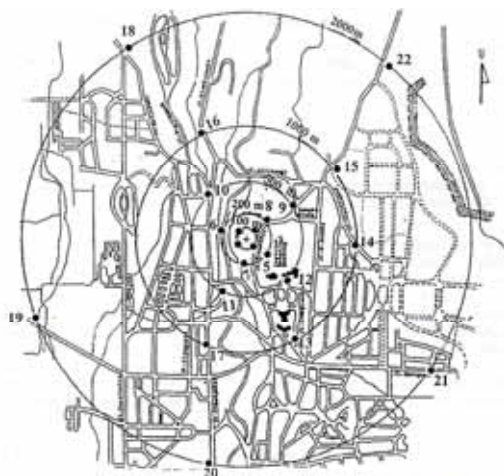
## 2. TATA KERJA

### 2.1. Pengumpulan data radioaktivitas rumput dan tanah

Data radioaktivitas total sampel rumput dan tanah diperoleh dari hasil pengukuran sampel dari 22 titik sampling pada tahun 2000-2008 yang diambil setiap bulan. Lokasi titik sampling dapat dilihat pada Gambar 1.

### 2.2. Uji homogenitas varians populasi

Untuk menguji homogenitas varians populasi dilakukan uji kesamaan  $k$  buah ( $k \geq 2$ ) varians bila populasinya berdistribusi normal, dengan varians  $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_k^2$ . Yang akan diuji adalah hipotesis  $H: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$  berdasarkan sampel-sampel acak yang masing-masing diambil dari setiap populasi dengan metode uji Bartlett.



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan cuplikan di sekitar reaktor TRIGA 2000 PTNBR-BATAN

Variansi untuk tiap sampel dihitung menggunakan persamaan (1), sedangkan variansi gabungan dari sampel dihitung menggunakan persamaan (2).

$$s_i^2 = \frac{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{n(n-1)} \quad (1)$$

$$s^2 = \frac{\sum (n_i - 1) s_i^2}{\sum (n_i - 1)} \quad (2)$$

$$\chi^2 = 2,3036 \left[ (\log s^2) \sum (n_i - 1) - \sum (n_i - 1) \log s_i^2 \right] \quad (3)$$

**Tabel 1. Uji homogenitas varians**

Sampel ke	dk	$s_i^2$	$\log s_i^2$	$(dk) \log s_i^2$
1	$n_1 - 1$	$s_1^2$	$\log s_1^2$	$n_1 - 1 \log s_1^2$
2	$n_2 - 1$	$s_2^2$	$\log s_2^2$	$n_2 - 1 \log s_2^2$
k		$s_k^2$	$\log s_k^2$	$n_k - 1 \log s_k^2$
Jumlah	$\sum (n_i - 1)$			$\sum (n_i - 1) \log s_i^2$

Chi-kuadrat ( $\chi^2$ ) dihitung menggunakan persamaan (3) untuk mengetahui distribusi data apakah normal atau tidak normal sebab kalau berdistribusi normal kemungkinan tidak ada yang mempengaruhi data tersebut.

Dengan taraf nyata  $\alpha$ , hipotesis H ditolak jika  $\chi^2 \geq \chi^2_{(1-\alpha)(k-1)}$ , dimana  $\chi^2_{(1-\alpha)(k-1)}$  didapat dari daftar distribusi chi-kuadrat dengan peluang  $(1-\alpha)$  dan  $dk = (k-1)$ .

### 2.3. Uji kesamaan beberapa rata-rata

Uji kesamaan beberapa rata-rata dilakukan terhadap populasi berdistribusi normal dengan k buah rata-rata populasi. Populasi mempunyai k ( $k > 2$ ) buah populasi yang masing-masing berdistribusi normal dengan rata-rata  $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$ ,  $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_k^2$  dan simpangan baku berturut-turut  $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k$ . Yang akan diuji adalah hipotesis H:  $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$

Selain asumsi normalitas tentang populasi, pada pengujian ini dimisalkan bahwa populasi bersifat homogen yaitu  $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_k^2$ . Dari tiap populasi diambil sebuah sampel acak, berukuran  $n_i$  dari populasi kesatu,  $n_2$  dari

populasi kedua dan seterusnya berukuran  $n_k$  dari populasi ke k. Untuk menguji homogenitas dapat disusun daftar analisis varians (ANAVA) seperti terlihat pada Tabel 2.

$R_y, A_y, D_y$  dan  $\sum Y^2$  merupakan jumlah kuadrat-kuadrat (JK) yang berturut-turut berdasarkan sumber-sumber variasi rata-rata, antar kelompok, dalam kelompok dan total, serta akan didapatkan harga  $F = \frac{A}{D} (\sum n_i - 1)$ . Hipotesis

ditolak jika F yang diperoleh terlalu besar. Untuk memudahkan analisis, satuan-satuan di atas disusun dalam daftar ANAVA.

Pengujian homogenitas varians populasi dan kesamaan beberapa rata-rata dilakukan terhadap data sampel rumput dan tanah dari tahun 2000-2008 dan sebelum reaktor berdiri.

**Tabel 2. Uji kesamaan beberapa rata-rata**

Sumber Variasi	dk	JK	RJK	F
Rata-rata	1	$R_y$	$R = R_y/1$	
Antar Kelompok	$k-1$	$A_y$	$A = A_y/(k-1)$	$A/D$
Dalam Kelompok	$\sum (n_i - 1)$	$D_y$	$D = D_y / \sum (n_i - 1)$	
Total	$\sum n_i$	$\sum Y^2$		

Keterangan:

$$R_y = J^2 / \sum n_i$$

$$\text{dengan } J = J_1 + J_2 + \dots + J_k$$

$$A_y = \sum (J_i^2 / n_i) - R_y$$

$$\sum Y^2 = \text{jumlah kuadrat-kuadrat (JK)}$$

$$D_y = \sum Y^2 - R_y - A_y$$

### 2.4. Analisis kualitatif

Analisis kualitatif sampel dilakukan dengan mengukur sampel lingkungan menggunakan spektrometer sinar gamma dengan detector *High Efficiency Purity Germanium* (HPGe) dilengkapi dengan *Multichannel Analyzer* (MCA). Data hasil pengukuran dianalisis dengan program *Fiztpeaks gamma analisis*.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

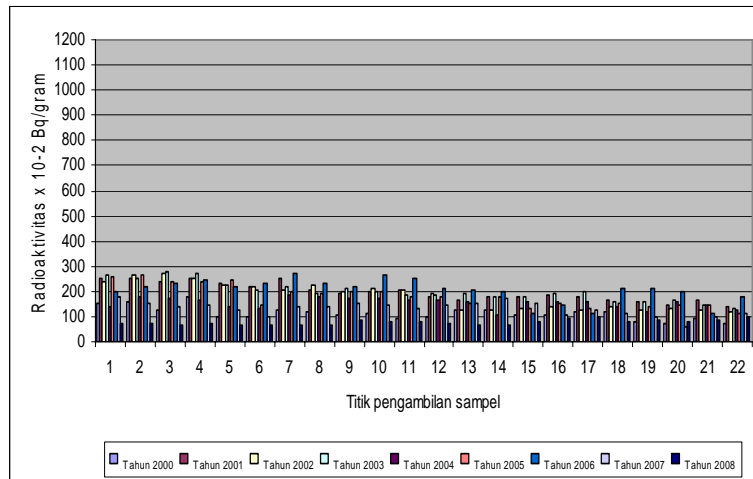
Data radioaktivitas rumput dan tanah diperoleh dari pengukuran sampel menggunakan GM counter. Data radioaktivitas yang diperoleh pada tahun 2000-2008 untuk rumput dapat dilihat pada Gambar 2 dan radioaktivitas tanah pada Gambar 3.

Dapat dilihat pada Gambar 2, data hasil pengukuran sangat bervariasi dengan kisaran antara 0,62 Bq/gram – 2,92 Bq/gram. Hal ini mungkin disebabkan adanya dampak pengoperasian reaktor Triga 2000 atau kemungkinan kandungan radioaktivitas alaminya berbeda-beda pada tiap titik sampling, akibatnya penyerapan unsur radioaktif alam berbeda.

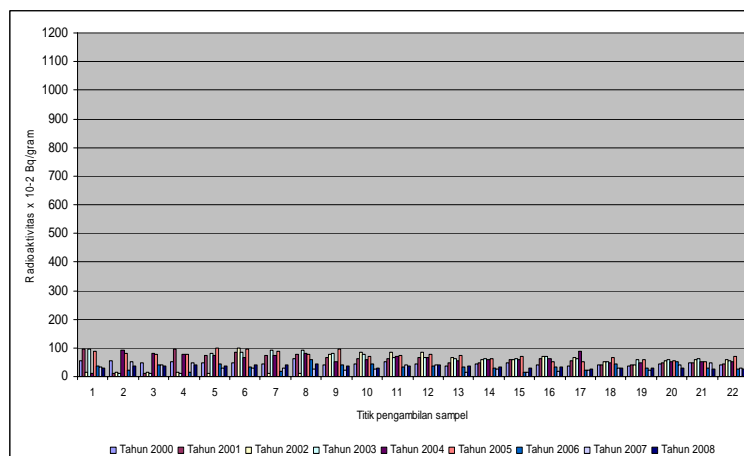
Data pada Gambar 3 juga memperlihatkan hasil pengukuran yang bervariasi dengan kisaran antara 0,1 Bq/gram – 0,9 Bq/gram dan ini mungkin disebabkan adanya dampak pengoperasian reaktor Triga 2000 atau kemungkinan kandungan radioaktivitas alaminya berbeda-beda dari satu titik ke titik lain.

Gambar 4 dan 5 memperlihatkan data hasil pengukuran radioaktivitas sebelum pengoperasian reaktor Triga 2000.

Data hasil pengukuran pada Gambar 4 juga bervariasi dengan kisaran antara 0 Bq/gram – 11,59 Bq/gram dan ini mungkin disebabkan kandungan radioaktivitas alaminya berbeda-beda dari satu titik ke titik lain, akibatnya penyerapannya juga berbeda yang disebabkan oleh kandungannya dalam tanah berbeda. Pada Gambar 5 terlihat hasil pengukuran yang juga sangat bervariasi sekali dengan kisaran antara 0 Bq/gram – 0,34 Bq/gram dan ini mungkin disebabkan kandungan radioaktivitas alaminya berbeda-beda dari satu titik ke titik lain.



Gambar 2. Data radioaktivitas rumput dari tahun 2000-2008



Gambar 3. Data radioaktivitas tanah dari tahun 2000-2008

### 3.1. Uji homogenitas varians populasi

Homogenitas varians populasi sampel rumput dan tanah diuji dengan metode uji Bartlett dapat dilihat pada Tabel 3. Dari hasil pengujian homogenitas populasi terlihat harga chi-kuadrat hasil perhitungan lebih besar dari chi-kuadrat tabel, ini berarti hipotesis ditolak. Jadi populasi data tidak homogen untuk hasil pengukuran selama tahun 2000-2008 dan juga untuk sampel sebelum reaktor berdiri.

**Tabel 3. Hasil uji homogenitas varians sampel rumput dan tanah**

No.	Sampel	$X^2_{hitung}$	$X^2_{tabel}$
1.	Rumput tahun 2000-2008	59,67	15,50
2.	Tanah tahun 2000-2008	94,59	15,50
3.	Rumput pra operasi	8,20	3,84
4.	Tanah pra operasi	12,98	3,84

### 3.2. Uji kesamaan beberapa rata-rata

Hasil uji kesamaan rata-rata radioaktivitas rumput dan tanah disusun dalam Tabel 4.

Dari hasil pengujian kesamaan beberapa rata-rata terlihat harga F hasil perhitungan lebih besar dari F tabel untuk sampel rumput dan tanah dari tahun 2000-2008 dan sebelum reaktor beroperasi, ini berarti hipotesis ditolak. Jadi populasi data tidak homogen untuk selama tahun 2000-2008 dan sebelum beroperasi. Secara umum data selama operasi sama-sama berbeda dengan sebelum operasi yang mungkin

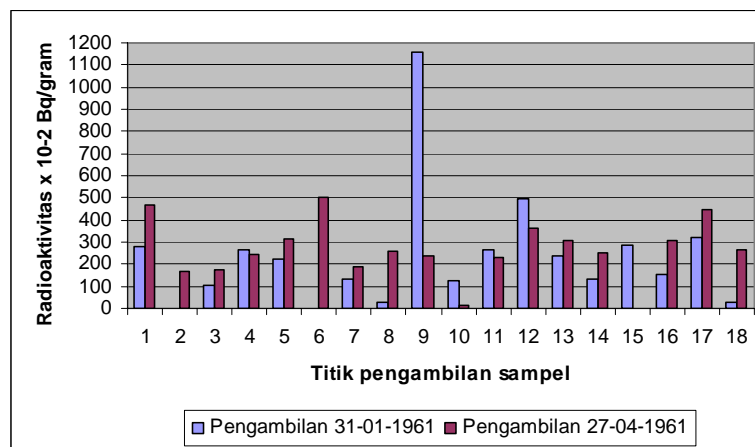
disebabkan oleh perbedaan kandungan radionuklida didalam sampel rumput dan tanah. Berdasarkan perhitungan limit deteksi alat diketahui bahwa limit deteksi lebih besar dari data pengukuran, ini membuktikan data berada di daerah latar belakang, sehingga dapat dikatakan bahwa pengoperasian reaktor tidak memberikan dampak terhadap lingkungan..

**Tabel 4. Hasil uji kesamaan beberapa rata-rata sampel rumput dan tanah**

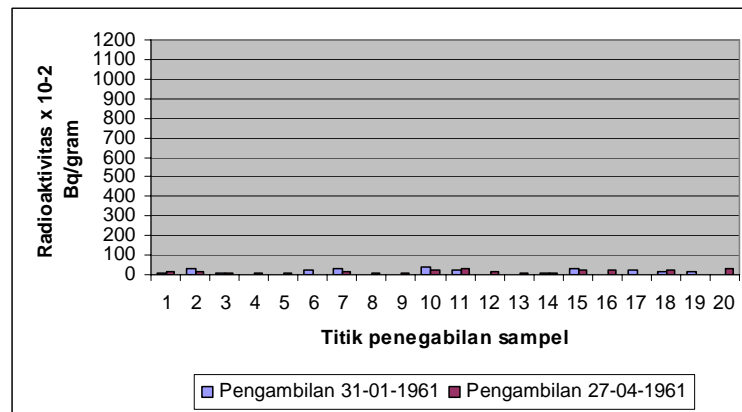
No.	Sampel	$F_{hitung}$	$F_{tabel}$
1.	Rumput tahun 2000-2008	316,28	1,98
2.	Tanah tahun 2000-2008	7,50	1,98
3.	Rumput pra operasi	6,6	4,13
4.	Tanah pra operasi	8,7	4,10

Untuk membuktikan lebih lanjut tidak adanya dampak pengoperasian reaktor terhadap lingkungan juga dilakukan analisis kualitatif dari sampel-sampel yang diukur dan salah satu hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6.

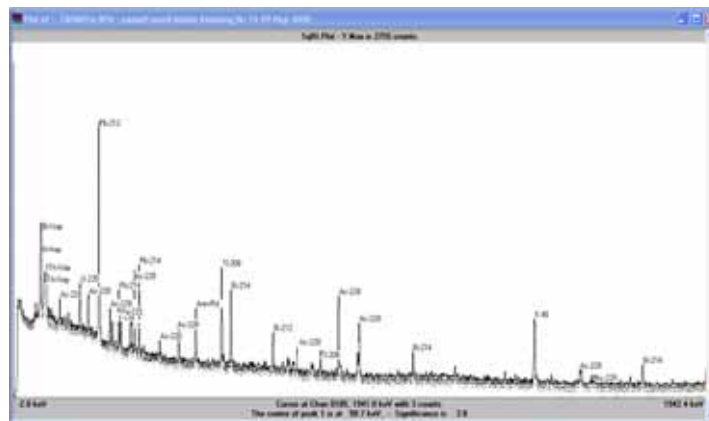
Dari hasil pengukuran sampel rumput dan tanah dengan spektrometri sinar gamma terlihat puncak-puncak energi dengan nilai 63,29 keV sampai 1728,97 keV yang berasal dari radioaktivitas alam yang terdiri dari  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  dengan anak luruhnya seperti  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{212}\text{Bi}$ . Dari spektrum yang diperoleh untuk semua sampel tidak terlihat puncak-puncak energi sinar gamma yang berasal dari radionuklida hasil belah atau aktivasi yang mungkin ke luar dari reaktor.



**Gambar 4. Data radioaktivitas rumput sebelum reaktor berdiri**



Gambar 5. Data radioaktivitas tanah sebelum reaktor berdiri



Gambar 6. Hasil analisis kualitatif menggunakan MCA

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dan analisis data dapat disimpulkan bahwa pengoperasian reaktor Triga 2000 selama tahun 2000-2008 dengan pengujian homogenitas varians (uji  $X^2$ ) dan uji kesamaan beberapa rata-rata (uji F) tidak menimbulkan dampak terhadap lingkungan. Hal ini diperkuat dengan hasil pengukuran sampel rumput dan tanah dengan spektrometri sinar gamma yang menunjukkan adanya radionuklida alam saja seperti  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  yang mempunyai anak luruh  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{212}\text{Bi}$ , dan  $^{40}\text{K}$  serta tidak terlihatnya puncak-puncak energi sinar gamma dari hasil belah atau aktivasi yang mungkin keluar dari reaktor.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

1. ANONIM, Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (Amdal) P3Tkn-Batan Bandung, 2000
2. SUDJANA, DR, MA, M.SN, Metoda Statistika, Penerbit- TARSITO-Bandung, 1982
3. WIRYOSIMIN, S., Environmental Radioactivity In Bandung Area, (Proceedings Madjalah Institut Teknologi Bandung), ITB, Bandung (1961) 52-64
4. RASITO, ZULFAKHRI, RINI H. OETAMI, CAYADI, ZAENAL ARIFIN, dan SOLEH SOFYAN, Konsentrasi uranium, thorium dan kalium dalam produk pasir yang dipasarkan di Bandung, (Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Pengembangan Teknologi Nuklir III, Jakarta, 16 Desember 2008), 61-73.